ЭР-2024
ER-2024

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

35-й Международной научно-технической конференции

"ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА"

ABSTRACTS

of the 35th International Scientific and Technological Conference

"EXTREME ROBOTICS"

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

РОБОТОТЕХНИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Включен в базу Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science

Подписной индекс в каталоге «Роспечать» - **59896**

Уважаемые коллеги!

Хорошая новость для наших авторов

Журнал «Робототехника и техническая кибернетика» включен в базу данных Russian Science Citation Index (RSCI) на платформе Web of Science. Цель RSCI - создать базу научных статей из лучших и авторитетных российских журналов на платформе Web of Science. Научные журналы, принятые в эту базу по результатам экспертизы, а также статьи российских учёных, опубликованные в журналах, индексируемых в Web of Science Core Collection и Scopus, и составляют ядро РИНЦ.

Данные об издании публикуются в реферативном журнале Всероссийского института научной и технической информации Российской академии наук (ВИНИТИ РАН) (серия «Машиностроение», выпуск «Робототехника»). Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, утвержденный приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 29.05.2017 г. Журнал «Робототехинка и техническая кибернетика» входит во вторую категорию (К2) журналов, входящих в Перечень рецензируемых изданий ВАК.

Коды специальностей: 1.2.1., 1.2.2., 2.3.5., 2.3.6., 2.5.4., 2.5.9., 2.5.13.

ISSN 2310-5305 (Print)
ISSN 2312-6612 (Online)

Издатель

РТК

Журнал издается Государственным научным центром Российской Федерации федеральным государственным автономным научным учреждением «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ЦНИИ РТК)

Адрес редакции: Россия, 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., 21, тел.: +7(812)552-13-25, zheleznyakov@rtc.ru, www.rusrobotics.ru t.me/journal_RTC (новости робототехники)

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

35-й Международной научно-технической конференции

«ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

29-30 октября 2024 года,
Санкт-Петербург, Россия

ABSTRACTS

of the 35th International Scientific and Technological Conference

«EXTREME ROBOTICS»

October 29-30, 2024,
Saint Petersburg, Russia

er.rtc.ru

УДК 004.896:007.5
ББК 32.813
Э41

Э41 «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА», международная научно-техническая конференция. Сборник тезисов 35-й Международной научно-технической конференции. – Санкт-Петербург: ООО «Типография Фурсова», 2024. – 568 с.: ил.

Сборник тезисов отражает круг актуальных проблем и задач в сфере робототехнических систем и средств безопасности, представленных на 35-й Международной научно-технической конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА».

УДК 004.896:007.5
ББК 32.813

Тезисы опубликованы в авторской редакции

Дизайн и верстка Ирины Купцовой, kuptzova@rtc.ru

Abstracts of the 35th International Scientific and Technological Conference «EXTREME ROBOTICS». – Saint Petersburg: Company «Tipografiya Fursova», 2024. – 568 p.

Collection of abstracts highlights an array of challenging issues and tasks in the sphere of robotic systems and safety facilities discussed at the 35th International Scientific and Technological Conference «EXTREME ROBOTICS».

Abstracts are published with author's edition

Design by Irina Kuptzova, kuptzova@rtc.ru

ISBN 978-5-6052641-2-5

©ЦНИИ робототехники
и технической кибернетики,
2024

ОРГАНИЗАТОРЫ

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Государственный научный центр Российской Федерации
«Центральный научно-исследовательский и опытно-
конструкторский институт робототехники и технической
кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ

- Военно-промышленной комиссии Российской Федерации
- Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий
- Российской академии наук
- Ассоциации государственных научных центров «Наука»
- Союза промышленников и предпринимателей Санкт-Петербурга
- Правительства Санкт-Петербурга
- Комитета по науке и высшей школе

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА

- Журнал «Труды СПИИРАН», Санкт-Петербург
- Научно-технический журнал «Робототехника и техническая кибернетика», Санкт-Петербург
- Национальная Ассоциация Участников Рынка Робототехники (НАУРР)
- Научный совет по робототехнике и мехатронике РАН

Александр Витальевич
Лопота
Директор-главный конструктор
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

Уважаемые коллеги!

Я рад приветствовать участников юбилейной 35-й Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника», организатором которой традиционно является Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Робототехника, предназначенная для использования в экстремальных условиях и ситуациях, является одним из передовых междисциплинарных направлений в науке и технике, нацеленным на создание автономных киберфизических устройств для проведения исследований и манипуляций с физическими объектами в неструктурированных средах, быстро и непредсказуемо меняющихся во времени, которые характеризуются неблагоприятными условиями для жизни и деятельности человека.

Стремительный рост количества и сложности разработок, постоянное совершенствование способов использования средств робототехники во многом обусловлены достижениями науки и техники в области микроэлектроники и электротехники, а также компьютерных и информационных технологий, включая технологии искусственного интеллекта.

Однако развитие робототехники и её внедрение в ключевые отрасли народного хозяйства невозможны без разработки и реализации государственных инициатив, направленных на поддержку робототехники. Президент Российской Федерации В.В. Путин на Петербургском международном экономическом форуме поставил амбициозную задачу за короткий срок войти в топ-25 стран мира по плотности роботизации. А это значит, необходимо решить целый ряд проблемных вопросов развития робототехники, начиная с подготовки инженерных кадров, расширения финансирования отраслевых НИОКР и разработке мер по повышению уровня применения робототехнических комплексов на промышленных предприятиях. Сегодня экстремальная робототехника относится к наиболее перспективному и востребованному направлению науки и техники.

В этом году тематика конференции посвящена практическим вопросам развития и применения робототехнических средств нового поколения для решения задач по освоению космоса, глубин Мирового океана, ресурсов Арктической зоны, медицины, атомной энергетики, производства, а также подготовке квалифицированных инженерных кадров в области робототехники. В ходе работы конференции планируется заслушать и обсудить более 170 докладов по различным тематическим направлениям.

В рамках секции «Наземная робототехника» предполагается обсудить ряд вопросов, связанных с проблемами навигации наземных роботов с использованием глобальной и локальной навигационных систем, визуальных искусственных маркеров-ориентиров, детектированием отклонений от намеченной траектории и корректировкой текущего положения. Будут рассмотрены конструкции и перспективы применения логистических роботов, роботов для обследования помещений, внутритрубных роботов, полевых сельскохозяйственных роботов, а также ряда узлов и модулей общего назначения.

Физические особенности водной среды, наряду с естественными ограничениями, препятствующими освоению ресурсов Мирового океана, создают предпосылки к расширению использования морской робототехники в перевозках грузов, исследованиях и картографировании дна, разведке месторождений полезных ископаемых и их последующем освоении, рыбоводстве и рыболовстве, а также проведении поисково-спасательных операций. На секции «Морской робототехники» будут рассмотрены актуальные вопросы создания и функционирования подводных многозвенных манипуляторов, задачи навигации и управления необитаемых подводных аппаратов, биоморфные подводные роботы, безэкипажные надводные аппараты.

Международные программы по изучению объектов Солнечной системы предполагают создание напланетных баз, в первую очередь на поверхности Луны и Марса, которые в ближайшем будущем будут являться опорными пунктами для полномасштабных исследований их поверхности, проведения геологоразведки и картографирования, организации добычи и переработки полезных ископаемых, возможного складирования и организации доставки материалов на Землю. Вопросам перспективных разработок и созданию отечественных робототехнических комплексов и манипуляционных систем для инспекции космических аппаратов, обслуживания космических станций и развёртывания лунных баз посвящены доклады на секции «Космическая робототехника».

Синтез и синергия робототехники с технологиями искусственного интеллекта, позволяющими производить периферийные облачные вычисления и осуществлять машинное обучение роботов в совокупности с компьютерным зрением, являются мощным драйвером для качественного и взаимовыгодного развития этих направлений науки и техники.

Прогресс во взаимодействии человека и робота, обусловленный развитием искусственных нейронных сетей и больших языковых моделей, открывает возможности для роботизированных систем в выполнении широкого спектра задач на основе распознавания естественного человеческого языка. Вопросы, связанные с применением технологий искусственного интеллекта, компьютерного зрения, распознаванием сцен, применением аппаратных импульсных нейронных сетей, обучением систем управления робототехнических комплексов, а также применения технологий искусственного интеллекта в автономных роботах будут рассмотрены на секции «Технологии искусственного интеллекта и цифровые технологии разработки в робототехнике».

Одним из направлений современной робототехники, возникшем в ходе ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, является применение роботизированных систем для обеспечения безопасного обращения с радиоактивными материалами при эксплуатации и демонтаже объектов использования атомной энергии. На секции «Роботизация атомной отрасли» будет рассмотрен ряд вопросов, посвященных разработке копирующих манипуляторов и их систем управления для «горячих» камер, использованию робототехнических систем в защитных камерах и боксах, перспективам практического применения средств робототехники при производстве, хранении, регенерации и утилизации ядерного топлива, разработке современных блоков детектирования ионизирующего излучения.

Особенно бурно в последние годы развиваются беспилотные летательные аппараты различного назначения. БЛА находят широкое применение в сферах, связанных с научной и производственной деятельностью в реальных секторах экономики. Вопросы практического применения БЛА, подготовки квалифицированного персонала для их эксплуатации, а также биоморфные летательные аппараты будут рассмотрены на секции «Беспилотные авиационные системы».

На секции «Промышленная и логистическая робототехника» будет рассмотрен широкий круг вопросов, включая применение промышленных экзоскелетов и коллаборативных роботов.

Дальнейшее развитие робототехники требует глубокого анализа и системных мер поддержки развивающейся индустрии, которые взаимосвяжут разработку технологий, производство, подготовку кадров и формирование рынков.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «НАЗЕМНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Моделирование мобильного робота «ЛИРС-ArtBul-2» в симуляторе Gazebo
А.А. Апурин, Е.А. Магид 27

Перспективы создания и применения мобильных робототехнических комплексов мониторинга состояния технических систем объектов критической инфраструктуры
И.О. Прутчиков, В.В. Камлюк, С.А. Терентьев, И.В. Гречушкин 30

Роботизированный комплекс безопасности жизнеобеспечения пунктов временного размещения населения в чрезвычайных ситуациях
И.О. Прутчиков, В.В. Камлюк, С.А. Терентьев, И.В. Гречушкин 35

Система управления многофункциональной машиной на колесном/гусеничном шасси
В.И. Нарыжнов 40

Автономный наземный робот для доставки грузов вне помещения
А.В. Бянкина, М.В. Тарачков, А.И. Кошелев, К.В. Маракулин 41

Поиск технических решений для погрузочно-разгрузочных работ с применением роботизации
С.Г. Ласточкин 44

Контроль эффективности и надежности системы комплексной безопасности для обеспечения защищенности доверенных иммерсивных интерфейсов взаимодействия робота и оператора
В.А. Саяркин, В.Р. Виноградов, И.Б. Паращук 47

Требования к аварийно-спасательной робототехнике для оценки соответствия Техническому регламенту ТР ЕАЭС 050/2021
С.С. Носков 49

Автоматическое обнаружение и захват заранее заданных объектов манипулятором мобильного робота
С.А. Собольников, Н.А. Куликов, Д.Д. Подколзин 51

О формировании траектории движения мобильного робота с вращающимися внутренними телами
Д.В. Бордюгов, Е.С. Брискин, Н.Г. Шаронов 53

Планирование движения мобильного робота со смещением исходного центра потенциального поля статичного препятствия
А.М. Кошман, А.С. Быков, А.В. Леонард, В.А. Шурыгин 55

Классификация препятствий и способы их аппроксимации для задачи обхода статичных препятствий на основе модифицированного метода потенциальных полей
А.С. Быков, А.М. Кошман, А.В. Леонард 57

Особенности радиолинии управления роботом-водителем на автомобиле-мишени
С.С. Мырзажанов, А.Ю. Гетманцев, Т.В. Меньшакова 60

Роботизация сельскохозяйственных операций в поле
И.В. Гурин, Е.О. Гаранин, К.А. Николаев 64

Система навигации для испытаний беспилотных наземных робототехнических комплексов
Г.М. Исраелян, Е.О. Гаранин, А.А. Назаров 67

Управление с использованием скользящего режима для мобильной платформы в экстремальных условиях
Ч.А. Фам, С.И. Неделчев 71

Расширение функциональных возможностей мобильных сервисных роботов на гусеничной платформе
В.Е. Пряничников, А.А. Арыскин, Ю.С. Колесов, А.Я. Ксензенко, С.В. Кувшинов, К.Ю. Начинкин, А.В. Плотников, А.В. Снопков, М.Д. Соловьёва, А.И. Телегин, Д.С. Тележкин, А.Н. Тихомиров, Д.К. Федотов, К.В. Харин, Р.В. Хелемендик, Е.В. Хрисанфов, В.В. Ястребов 73

Обработка доплеровских сигналов от движущихся объектов на малых расстояниях
А.Я. Ксензенко, В.Е. Пряничников, В.В. Ястребов 77

Применение кинетостатического анализа при прогнозировании результатов движения мобильного робота
А.В. Плотников, В.И. Пряничников, К.Ю. Начинкин 80

Алгоритмы навигации мобильных роботов по визуальным искусственным маркерам-ориентирам
В.Е. Пряничников, Д.К. Федотов 83

Оценивание параметров трения в шагающих многозвенных роботах методом динамического расширения и смешивания
Н.В. Михальков, А.А. Пыркин 85

Определение требований к вычислительному контуру БТС со стороны сенсорной периферии траекторного оценивания
Д.Е. Чикрин, Б.А. Тимершин 89

Разработка системы управления комфортом пассажиров с учетом скорости на основе данных наблюдений для общественного транспорта
Язан Вассуф, Г.В. Цокуренко, К.Г. Мещерин, В.В. Серебренный 93

Исследование влияния электрохимических характеристик аккумуляторов тяговой аккумуляторной батареи на параметры колёсного электротранспорта с применением цифровых моделей
Д.К. Гребцов, М.К. Кубасов 95

Бесшовная навигация для наземных роботов с использованием глобальной и локальной навигационных систем
В.Б. Пудловский, А.П. Малышев, А.А. Чугунов, С.В. Черных, А.О. Кожевникова 97

Детектирование отклонений и корректировка движения лесной техники
С.Д. Яскеляйнен, Г.Э. Рего, Е.М. Гурылева, В.А. Красный, Д.С. Мельников 99

Робототехнические стартапы в России: основные направления, проблемы и возможности
М.М. Миронов 102

Создание системы управления для мобильных роботов
В.Г. Дыгало, А.П. Семенков 104

Построение карты глубины сцены на основе данных стереопары
А.А. Жиленков, О.С. Крупинин, Д.М. Пимонов 107

Дистанционно управляемый робототехнический гусеничный аппарат для обследования помещений при пожаре
В.А. Ложкин, Т.А. Писарев 110

Сервисный робот как информационный агент
для массовых мероприятий
Т.А. Писарев, В.А. Ложкин 114

Разработка мобильной роботизированной платформы botANNIC
С.А. Сенкевич, Д.А. Бобров, В.А. Бугров 117

Обзор путей повышения энергоэффективности движения
колесной робототехники по различным опорным поверхностям
В.Г. Дыгало, И.А. Бадиков 120

Использование токовых энергозатрат в мобильных роботах,
движущихся по разным подстилающим поверхностям
А.С. Беляев, О.Ю. Кушнарев, О.А. Брылев 124

Аспекты формирования двухконтурной системы
управления преобразователя напряжений мобильных
робототехнических систем
А.В. Вынгра, В.А. Кучеренко, С.Г. Черный, А.П. Шляхов 126

Алгоритм адаптивного управления четвероногими роботами
в условиях неизвестной высокогорной местности
В.С. Соболев, А.С. Соболев, А.С. Кустов, А.В. Дегтярев 128

Разработка многокомпонентного датчика
усилия мобильного робота
М.Т. Коротких, И.И. Саитов 130

Об особенностях управления мобильными
роботами в сценариях экстремальной робототехники
Б.А. Спасский 134

Устройство и особенности работы транспортного модуля
внутритрубного робототехнического диагностического
комплекса высокой проходимости
В.А. Волков, Д.Д. Филиппов 136

СЕКЦИЯ «МОРСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Интеллектуальная подводная транспортная система
или путь к пятой транспортной моде
*В.И. Комашинский, В.И. Поленин, Д.Ф. Ткачев,
В.И. Татаринов* 140

Система управления необитаемыми подводными аппаратами, оснащенными многозвенными манипуляторами, для автономного выполнения силовых манипуляционных операций
Н.А. Красавин, А.Ю. Коноплин 141

Подход к идентификации параметров взаимодействия многозвенных манипуляторов с вязкой средой
В.Ф. Филаретов, А.В. Зуев, А.А. Тимошенко 143

Маневренная подводная платформа для детектирования утечек в водопроводных трубах
Н.В. Михалькова, А.С. Прутский 146

Распознавание объектов в задачах навигации подводного аппарата с использованием системы технического зрения
Г.К. Тевяшов 149

Модели миграционного и территориального поведения рыб для задачи распределения роботов по акватории
М.А. Ровбо, Н.А. Гревцова, В.В. Воробьёв 151

Система технического зрения автономного подводного аппарата
В.В. Сергеев, Ю.С. Прибылов, О.К. Пшеничная, В.А. Соколов 154

Рыбоподобный робот с карангиформным типом локомоции
Н.А. Алемпьев, И.В. Митин, В.Б. Казанцев 155

Мониторинг относительного положения автономных подводных аппаратов в группе на основе анализа больших уклонений
С.А. Дубовик, А.А. Кабанов, И.Ю. Липко 158

Опыт практического применения морских роботов, разработанных в СКБ СПбГМТУ
Ю.А. Счетчиков, Н.В. Торопов, М.С. Маршалов, Д.С. Скопцов, А.А. Синишин, М.Н. Чемоданов 160

Анализ современных пультов управления морских роботизированных платформ и тенденции развития
Н.В. Торопов, М.С. Маршалов, Д.С. Скопцов, Ю.А. Счетчиков, А.А. Синишин, М.Н. Чемоданов 163

Надводный автономный дрон для информационно-навигационного обеспечения водолаза
А.А. Тузова, А.Г. Кузнецов, А.М. Назаров, С.С. Гойман, И.В. Кожемякин 167

Симулятор управления безэкипажным катером
А.А. Халутин, Д.В. Егоров 170

Трёхмерное численное моделирование обтекания подводного аппарата струёй в бассейне с целью набора обучающих данных для нейросети
Н.А. Щур, А.А. Пожилов 173

Перспективы развития морских робототехнических комплексов с учётом группового применения
А.С. Проценюк, И.Б. Калинин 175

Построение стабилизированных систем в условиях подвижных оснований
С.А. Дмитриев, И.Б. Калинин, А.С. Проценюк 178

Математическое моделирование управляемого движения подводного манипулятора при перемещении груза
В.А. Леонтьев 181

Формирование сценариев действий робототехнических средств на отладочно-моделирующем комплексе
И.С. Бунар, А.Г. Любимов, И.К. Петушок 184

Разработка технологии сопряженных расчетов динамики подводного реконфигурируемого змееподобного аппарата и гидродинамики обтекающей его жидкости
К.К. Забелло, Н.А. Щур 187

Исследование влияния особенностей аддитивного производства пластиковых элементов конструкции на ресурс роборыбы
Г.В. Казанцев 189

Исследование и разработка системы стабилизации длиннофокусной камеры мобильного робота
А.В. Мымрин, В.В. Варлашин 192

Трёхмерное численное моделирование движущихся рядом подводных аппаратов
Н.А. Щур, А.А. Пожилов 194

Синтез алгоритмов управления биоморфным подводным роботом с использованием концепции вложенных моделей
Д.К. Серов, Н.П. Коренко, Е.Ю. Смирнова 196

Опыт проведения экспериментальных исследований для проверки эффективности системы управления движением необитаемого подводного аппарата в режиме позиционирования
С.А. Половко, Д.К. Серов, В.В. Горюнов, И.А. Бондаренко, В.Л. Вартанов 199

Численное моделирование плавания рыбоподобного робота с двухплавниковым движителем
С.Т. Шекелашвили, Н.А. Щур 201

Обоснование архитектурного облика системы группового управления роботами-спасателями
П.К. Шубин, М.В. Кулешова, Е.В. Павлов 203

Подход к отладке алгоритмов управления автономного необитаемого подводного аппарата при высокоточном приведении в порт по данным глубоководных телевизионных камер
А.А. Павлов 206

Перспективная модель применения автономного необитаемого подводного аппарата с использованием управляемого изменения крена
Л.А. Мартынова, И.В. Пашкевич 209

СЕКЦИЯ «РОБОТИЗАЦИЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ»

Цифровизация экспериментов на стендах для критических сборок
С.Ю. Касьянов, С.А. Андреев 213

Системы управления электроприводами копирующего манипулятора
Д.Е. Мирославский 214

Адаптивные режимы и системы управления внутрикамерными манипуляторами
М.В. Носиков, И.В. Войнов, Б.А. Морозов 217

Спектрометрический метод дистанционного измерения мощности дозы гамма-излучения с помощью сцинтилляционных детекторов для авиационного радиационного мониторинга поверхности Земли
И.Э. Новиков 219

Опыт применения РТК по отработке технологии демонтажа конструкций остановленного уран-графитового реактора
А.О. Павлюк, Е.В. Беспала, С.Г. Котляревский, Р.И. Кан, Е.С. Падерин, А.А. Шешин, А.Э. Риф 221

Применение виртуальных инструментов для управления робототехническими системами в защитных камерах и боксах
А.В. Сергеев 223

Перспективы применения генеративного искусственного интеллекта в человеко-машинных интерфейсах робототехнических систем
С.Ф. Сергеев, А.В. Сергеев, А.О. Плешаков 226

Перспективы применения картриджных конструкций блоков детектирования гамма-излучения
О.В. Вольпяс, Ю.Ю. Буньков 228

Перспективы создания полупроводникового гамма-спектрометра на основе особо чистого германия
П.В. Семенихин, А.В. Васильев, М.В. Ремизов 230

Применение роботизированного оборудования для диагностики и ремонта облицовки бассейнов выдержки
А.В. Горбунов 231

Автоматизация технологического процесса отбора и разбавления проб теплоносителя первого контура ядерного реактора
А.В. Шайтанов 234

СЕКЦИЯ «ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ В РОБОТОТЕХНИКЕ»

Перспективы использования виртуальной среды для первичного тестирования технологий ИИ и алгоритмов автономного управления робототехнических комплексов

различного базирования
М.Е. Данилин, О.П. Меньшиков, И.И. Инин, К.Р. Ахтямов, К.Н. Юсупова 238

Экспериментальная оценка нейронных сетей в единой технологический среде
Е.С. Чичков, В.С. Авраменко 240

Возможности применения игрового имитационного моделирования для обучения нейронных сетей
В.Е. Иванов, Н.Г. Яковенко 242

Создание виртуальной среды для удаленной разработки автономного мобильного робота
В.Е. Пряничников, Д.С. Тележкин 244

Компьютерные модули на базе процессоров с интегрированными ядрами NPU и TPU для построения перспективных робототехнических комплексов
А.В. Медведев, П.Б. Чучкалов 247

Система управления мобильными роботами при поиске аномалий поля концентрации
И.В. Бычков, А.В. Давыдов, М.Ю. Кензин, Н.В. Нагул, А.А. Толстихин 250

Гибридный алгоритм распознавания объекта в системе компьютерного зрения
С.О. Власов, А.А. Богуславский, С.М. Соколов 253

Программная система для решения задач понимания изображений в реальном времени
К.И. Кий 257

Применение архитектуры CLIP в задаче распознавания сцен для локализации мобильного робота
А.Д. Московский 259

Пространственно-визуальная локализация в карте ключевых кадров
И.С. Фомин 262

Искусственный разум робота: функциональность и средства реализации
Л.А. Станкевич 264

Концепция робосферы
В.Е. Вавилов 266

Способ нейроуправления мехатронным устройством на примере андроидного робота
А.А. Новиков, Ю.О. Лобода, А.П. Калиткин 269

Увеличение скорости вычислений при компьютерном моделировании движения механической системы
И.М. Портнов, А.А. Медведева 272

Определение геометрических параметров препятствия на пути мобильного робота с использованием системы технического зрения
В.А. Кравчук, А.Е. Архипов 277

Управление роботом с волнообразными движителями для отслеживания подводного трубопровода с применением НС в виртуальной среде
Авс Ахмад, А.С. Ющенко 279

Правило обучения для спайковых нейронных сетей, основанное на регуляции аксональных задержек
К.А. Гарамов, С.А. Лобов 282

Фазовое кодирование, хранение и распознавание информации в спайковых нейронных сетях
Н.Д. Ефимова, В.Б. Казанцев 284

Модель спайковой нейронной сети центрального генератора ритма шагающего робота
Н.А. Ковалев, А.В. Губа, В.Б. Казанцев 287

Нейроморфный механизм управления заданием по результатам анализа ситуации
В.В. Иванова, А.А. Демчева, А.М. Корсаков 290

Синхронизация в спайковой нейронной сети модели оливо-мозжечковой системы формирования моторных паттернов
Е.М. Смагина, В.Б. Казанцев 292

Мультимодальные нейросетевые модели в разуме робота
С.Ф. Сергеев, А.В. Сергеев, Е.П. Екшина 294

Автоматизация процесса подготовки данных
для обучения нейронных сетей классификации
гиперспектральных данных объектов
В.А. Юдаев, А.А. Комиссаров, А.С. Егоров.....296

Анализ современного состояния проблемы
проектирования программно-аппаратных ускорителей
А.А. Жиленков, С.Г. Черный 299

Классификация сегментированных областей
на основе векторов признаков
В.Д. Матвеев, А.Е. Архипов, И.С. Фомин 302

Глубокое обучение с подкреплением с помощью спайковой
нейронной сети на фреймворках Pybullet и snnTorch
Ф.Р. Хабибуллин, В.Б. Казанцев 304

Идентификация возмущений в линейных системах
на основе оптимального астатического наблюдателя
А.А. Кабанов, А.В. Зуев, А.А. Проценко 307

Экспериментальные исследования применения
искусственного интеллекта в автономных роботах
В.Е. Вавилов, А.А. Хусаинова 309

Методика определения поправки геодезической высоты
в движении для инерциальных навигационных систем
на основе технологии нейронных сетей
П.Г. Третьяков.....314

Разработка системы управления многозвенными
манипуляторами с использованием технологий
виртуальной реальности
А.А. Кацурин, В.Е. Усков.....318

СЕКЦИЯ «МЕДИЦИНСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Применение манипулятора с удаленным центром вращения для
работы с медицинским эндоскопом
В.А. Глазунов, Г.С. Филиппов, К.А. Шалюхин 321

Роботизированная система для сердечно-сосудистых
вмешательств
Д.Ю. Колпащиков, О.М. Гергет 323

Уменьшение возмущающего воздействия тремора культей у людей без кисти с помощью инновационной реабилитационной системы
С. Берро, А.Н. Тимофеев 324

Киберфизическая система мониторинга функциональной надежности парашютистов-спасателей
А.А. Матвийчук 327

СЕКЦИЯ «КОСМИЧЕСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Инструментальная кинематическая калибровка гексапода космического назначения
Ю.А. Жуков, А.А. Киселев, Е.Б. Коротков 329

Опыт проектирования типоразмерного ряда исполнительных приводов для космической робототехники
В.О. Гончаров, Н.С. Слободзян, К.Н. Михайлов, А.В. Генералов, А.С. Титова, С.А. Комаров, С.А. Кузнецов..... 331

Автономные орбитальные роботизированные станции для сбора космического мусора на основе технологий искусственного интеллекта
Е.С. Квас, А.-А.В. Мельницкая, В.В. Назаренко, М.В. Бутусов, А.В. Степанов 334

Качественная оценка управляемой адгезии исполнительных элементов космических микророботов
К.Н. Люсина, А.А. Жуков, А.С. Дмитриев 335

Разностно-долготный метод прогнозирования результатов применения многоспутниковой системы наблюдения за морскими объектами
М.И. Калинов, В.А. Родионов..... 338

Результаты анализа эффекта снижения проходимости шасси планетохода при движении по слабосвязанному грунту в условиях пониженной гравитации
А.И. Быков, А.В. Артемьев 340

Применение метода наименьших квадратов для нахождения взаиморасположения осей вращения двухосной поворотной платформы
Т.П. Романенко, В.В. Варлашин, Н.В. Заруцкий..... 343

Исследование влияния оптимизации регулируемой физической жёсткости шарниров манипулятора
И.В. Шардыко, В.В. Титов 346

Интерфейс дополненной реальности для совместных операций космонавтов и автономных мобильных роботов на лунной поверхности
И.Н. Куликов, Б.И. Крючков, В.М. Усов..... 349

Исследования особенностей выполнения космонавтами совместной операторской деятельности по применению антропоморфного робота, совмещенного с мобильной платформой в режиме телеуправления в длительных космических экспедициях
В.А. Дикарев, А.Н. Симбаев, А.Ю. Кикина, Ю.С. Чеботарев, И.А. Буковская, Э.В. Никитов..... 351

Разработка проектного облика луноходов на основе унифицированных интеллектуальных мобильных платформ
М.И. Маленков, В.А. Волов, А.Н. Богачев, Н.К. Гусева, Е.А. Лазарев 353

Использование собственных инерционных движений при построении управления для роботизированного космического модуля
П.П. Белоножко..... 356

СЕКЦИЯ «ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Методическое обеспечение образовательной деятельности в области робототехники и БПЛА: современный подход
М.Е. Данилин, О.П. Меньшиков, К.Н. Юсупова, К.Р. Ахтямов, И.И. Инин 360

Особенности подготовки операторов к работе со сложной техникой
В.И. Бегун, П.Н. Балахонов..... 362

Определение уровня подготовки специалистов к работе с техникой в различных условиях
В.В. Акимов, В.И. Бегун, А.В. Бегун, П.Н. Балахонов, С.Л. Емельдяжева, А.Л. Калинин..... 365

Многопользовательская игровая платформа для формирования интереса у молодежи к робототехнике
А.Н. Богданов, Д.И. Шайхезадин, Н.С. Шаронов 368

Обучающий VR-тренажёр по обработке информации на физических носителях
Э.И. Хаерова, Б.И. Гатауллин 371

Имитационное тестирование системы динамического мониторинга загрязнения воздуха в рамках профориентационной и проектной деятельности школьников и студентов
С.Ю. Калинин, О.А. Алексеев, А.А. Жуков, А.Н. Лямин 374

Учебная платформа повышенной проходимости для лесного хозяйства
Ю.В. Суханов, О.Н. Галактионов, А.С. Васильев 377

Опыт подготовки школьной команды для участия в соревнованиях подводных аппаратов
Ю.А. Вебер 380

От фабрики-конструктора к реальному производству: комплексное обучение робототехнике для школьников
О.Б. Сенацкая, М.В. Загорин 383

Организация кружка робототехники с детьми, оказавшимися в трудной жизненной ситуации
А.А. Борисова, И.А. Муртазин 386

Многоцелевой малый квадрокоптер «Снежинка»
Ю.М. Виноградов, А.М. Алсуфьев 389

Образовательный робототехнический комплекс для студентов
Е.В. Лебедева, В.А. Ложкин, М.С. Моисеенко 392

Виртуальная реальность как инструмент для подготовки операторов беспилотных летательных аппаратов
М.Ю. Серебряков 395

Многофункциональный лабораторный стенд для исследования сенсорных и управляющих систем роботов
В.П. Андреев, В.В. Майоров 397

Умный социальный робот – координатор маршрута, консультант
А.В. Мекаев 399

Обучение робототехнике служит единой цели:
целостному развитию личности
Н.Ю. Евтиков 403

Робототехника и образование: школа, университет,
производство
А.В. Ащеулова 407

Опыт разработки робототехнического МоСар-полигона
для проведения профориентационной и научно-
исследовательской работы школьников и студентов
А.Г. Ефромеев, Э.А. Гейс, А.В. Козырь 412

Подготовка и проведение робототехнической
олимпиады в виртуальной среде
А.Ю. Овсянников, И.А. Статкевич, А.В. Малолетов 414

Конкурсное движение в сфере образовательной робототехники
как средство развития технологического образования
Ю.А. Скрипник 417

Робототехника для школьников: профориентация и возможности
дополнительного образования
Л.А. Зыкова 420

СЕКЦИЯ «БЕСПИЛОТНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ»

Альтернативные способы автономной навигации БАС
в условиях отсутствия сигналов спутниковых
навигационных систем
*М.Е. Данилин, О.П. Меньшиков, К.Р. Ахтямов,
И.И. Инин, К.Н. Юсупова* 423

Обоснование структуры и средств комплекса метрологического
обеспечения навигационных систем беспилотных летальных
аппаратов
*В.Б. Пудловский, А.М. Каверин, А.В. Гребенников,
А.А. Фролов* 426

Применение локальных навигационных систем,
использующих сверхширополосные сигналы
для координатного обеспечения БПЛА
*С.В. Оробченко, А.П. Малышев, А.А. Чугунов,
С.В. Черных, А.Д. Евсеев, И.Б. Галуев* 429

Арена дронов – лабораторный высокопроизводительный измерительный комплекс
А.М. Бойко, П.Ю. Шамрай, Т.Ю. Мельников, А.А. Будза, П.В. Костырин, К.А. Максимов, Д.В. Ткаченко 431

Поиск нестационарного объекта роевой системой летательных аппаратов
А.В. Козырь, Э.А. Гейс 434

Технический симулятор для подготовки операторов дронов «ИРИС-К»
Д.В. Егоров, А.А. Жиленков, М.Ю. Серебряков 437

Применение роботизированного комплекса в управлении дорожным движением
Д.С. Букатов, А.Ю. Недякин 439

Траектории поиска косяков промысловых рыб при помощи БПЛА
Ф.М. Бельченко, И.Л. Ермолов, Г.Н. Нагайцев, П.П. Остриков 442

Методы визуального поиска рыбных косяков с БПЛА
Ф.М. Бельченко, И.Л. Ермолов, Г.Н. Нагайцев, А.Н. Суханов, П.П. Остриков 445

Многоцелевой малый квадрокоптер «Снежинка Б»
Ю.М. Виноградов, А.М. Алсуфьев 448

Сенсоры технического зрения для малоразмерных БПЛА
С.Р. Кнышев 450

Коррекция показаний магнитометра беспилотного летательного аппарата методом динамического расширения регрессора и смешивания
Н.В. Михальков, А.А. Пыркин 454

Разработка микроэлектронного сенсора давления на основе терморезистивных структур для систем измерения высоты
Н.А. Дюжев, Г.И. Орешкин, М.Ю. Чиненков, В.В. Парамонов 457

Разработка сенсоров на основе магниторезистивных тонкопленочных структур для систем ориентирования в пространстве
Н.А. Дюжев, Г.И. Орешкин, М.Ю. Чиненков, В.В. Парамонов 459

Разработка архитектуры и определение оптимальных сценариев работы гибридных накопителей энергии для электрических беспилотных авиационных систем с применением цифровых моделей
М.К. Кубасов, Д.К. Гребцов 461

Математическая модель взмахового движителя
Н.А. Исмаилов, В. Халид 463

Кинематика полёта птиц, разработка и оптимизация робототехнических систем
Е.А. Гладышева, И.А. Кастальский, В.Б. Казанцев 466

Метод динамических сеток и параметрическое исследование кинематики крыльев комара
Валил Халид, Е.А. Гладышева, В.Б. Казанцев 468

Разработка беспилотного биоморфного робота с машущим крылом
И.А. Кастальский, Ф.Р. Хабибуллин, Н.А. Ковалев, А.В. Губа, Е.А. Гладышева, Н.А. Щур, В.С. Щапин, В.Б. Казанцев 472

Влияние угла атаки на подъемную силу роботов с машущими крыльями: экспериментальное исследование
А.В. Губа, Н.А. Ковалев, И.А. Кастальский, В.Б. Казанцев 475

Моделирование динамики беспилотного планера и аэродинамики потока при удержании в набегающем потоке над клином
Н.А. Щур 477

Вариант решения задачи визуальной навигации БЛА в условиях априорной неопределенности
С.В. Кулешов, А.А. Зайцева, А.Ю. Аксенов, К.Д. Коновалов 480

Заряд беспилотных летательных аппаратов через двунаправленные беспроводные зарядные станции
Г.А. Райко, А.А. Силкин, В.С. Соболев, А.В. Дегтярев 485

Орнитоптер с независимыми машущими крыльями и регулируемой площадью крыла
И.В. Митин, И.А. Кастальский, В.Б. Казанцев 488

Перспективные исследования в области применения БПЛА для промысловой рыборазведки
И.Л. Ермолов 491

СЕКЦИЯ «ПРОМЫШЛЕННАЯ И ЛОГИСТИЧЕСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Реализация оптимального управления электроприводом захватного устройства
М.Ю. Ветлицын 494

Математическая модель динамики движений манипулятора гибридной структуры
А.В. Нелюбова, В.В. Жога 496

Новые вызовы горной промышленности в связи с переходом подземных рудников к добыче полезных ископаемых в условиях экстремальных сред
В.С. Федотенко, Д.Н. Радченко, Н.А. Федотенко, В.О. Васильев 499

Шестистепенной робот параллельной структуры на параллельных рельсах
Г.Н. Нагайцев 502

Совместная работа: технологии обеспечения взаимодействия коллаборативного робота и оператора
Д.Е. Чикрин, К.Р. Смольникова 503

Экзоскелет для производственных и складских работ
Г.В. Савинков, А.С. Попов 506

Алгоритм распределения задач в последовательной производственной цепочке на основе диффузионного алгоритма
Д.Н. Воронцов 508

Траекторное планирование движения при резервировании контуров управления пятизвенным манипулятором параллельной структуры
К.В. Гриценко 511

Разработка оптической системы с вынесенным входным зрачком для высокотемпературной камеры технического зрения
Т.Н. Шемигон, А.И. Михайловский, Б.Н. Добряков 515

Использование оптической обратной связи для увеличения точности робота-манипулятора
Ю.С. Шарыченкова 517

Вопросы проектирования электроприводов робототехнических систем
В.Е. Вавилов, Р.Р. Уразбахтин 521

Топологическая оптимизация экзоскелетного каркаса
И.С. Барынкин 524

Проектирование захватного устройства с силовым очувствлением
Д.О. Дохов, Н.В. Заруцкий, Е.В. Касимцева 526

Реверсионное конструирование оптимальных управлений движением объектов
А.И. Бохонский, Н.И. Варминская 529

Особенность взаимодействия информационных систем на предприятии по разработке и производству наземных роботехнических комплексов
И.Б. Прямицын, А.В. Ермолаев 531

Интеллектуальные методы управления коллаборативным роботом манипулятором
А.П. Сотникова 535

Мехатронные привода в тормозной и рулевой системах электротранспорта
М.А. Малкин, А.С. Переладов, А.М. Щербин 538

Проблемы разработки интеллектуальных систем управления двигателями переменного тока
А.К. Голубев, В.М. Фомин, А.К. Иванов 541

СЕКЦИЯ «РОБОТОТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ»

Порядок испытания робототехнических комплексов, предназначенных для гуманитарной очистки местности от взрывоопасных предметов
А.Ю. Баранник, А.В. Лагутина, Д.В. Спицин 543

Организация мониторинга технического состояния электроаппаратуры робототехнических комплексов военного назначения с использованием технологий искусственного интеллекта
М.Е. Данилин, О.П. Меньшиков 546

О возможности голосового управления мобильным робототехническим комплексом транспортного назначения
М.Е. Данилин, О.П. Меньшиков, К.Н. Юсупова, К.Р. Ахтямов, И.И. Инин 548

Образ современного многофункционального комплекса с малым БПЛА и решаемые им задачи с учётом опыта специальной военной операции
В.А. Скиба, К.В. Быков 553

Особенности восстановления техники группой робототехнических комплексов
А.А. Воробьев, В.В. Сергеев 555

Расширение функционала поисковых роботов для обнаружения необходимого пользователям контента на информационных ресурсах систем хранения и обработки данных специального назначения
Е.С. Крюкова, Л.А. Саяркин, И.Б. Паращук 557

Технические решения по составу системы противодействия беспилотным летательным аппаратам
М.С. Андрющенко, А.М. Голик, С.А. Сахнов 559

Направления цифровизации полигонных испытаний робототехники специального назначения
С.Е. Симанов, Р.В. Мещеряков 562

Научно-практический опыт разработки и применения систем доверительного искусственного интеллекта в решении задач обеспечения пожарной безопасности кораблей ВМФ
И.В. Образцов 565

СЕКЦИЯ «НАЗЕМНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Моделирование мобильного робота «ЛИРС-ArtBul-2» в симуляторе Gazebo

А.А. Апурин✉, Е.А. Магид
Казанский федеральный университет (КФУ), г. Казань, Россия, aaa@it.kfu.ru

Благодарности
Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета.

«LIRS-Artbul-2» mobile robot modelling for Gazebo simulator

Artem A. Apurin✉, Evgeny A. Magid
Kazan Federal University, Kazan, Russia, aaa@it.kfu.ru

Acknowledgements
This paper has been supported by the Kazan Federal University Strategic Academic Leadership Program («PRIORITY-2030»).

За последнее десятилетие мобильные роботы с возможностями всенаправленного движения стали широко распространены в различных областях человеческой жизнедеятельности [1]. Всенаправленное движение – это способность подвижного объекта перемещаться в любом желаемом направлении и с любой пространственной ориентацией [2]. Для такого передвижения робот может использовать специальные колеса, называемые колёсами Илона [3], которые обеспечивают роботу преимущество с точки зрения маневренности в узких пространствах [4].

Перед этапом сборки физического прототипа нового робота важно воспроизвести поведение робота в виртуальной среде, чтобы принять решение о его эффективности или попытаться улучшить физические и механические характеристики. Предпочтение отдается стандартным симуляторам (например, Gazebo [5], Webots [6] или CoppeliaSim [7]), в то время как использование симуляторов с

высоким уровнем абстракции или разработка собственного симуляторов уже считаются устаревшими подходами.

В данной статье представлена разработка виртуальной модели мобильного робота с четырьмя колёсами Илона «ЛИРС-АртБул-2» (рис. 1) в симуляторе Gazebo под робототехническую операционную систему ROS, созданного на базе всенаправленного шасси, которое ранее было представлено в нашей работе [8]. В каждой модели колеса Илона – восемь свободно вращающихся роликов цилиндрической формы, которые обеспечивают возможность всенаправленного движения. Управление движением модели робота в Gazebo осуществляется с помощью программного механизма ROS controller_manager и разработанного нами плагина mecanum_drive_controller, который конфигурируется для различных задач. Для создания модели использовалось программное обеспечение Blender.

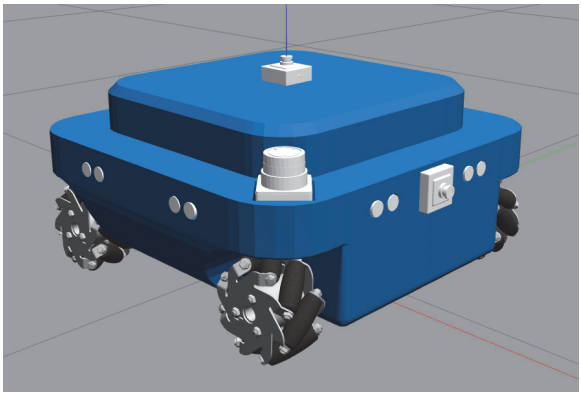


Рисунок 1 — Модель робота

Для управления роботом в Gazebo был разработан контроллер, который подходит для всех мобильных роботов с четырьмя колёсами Илона. Управление роботом осуществляется с помощью публикации в ROS-топик /cmd_vel сообщений с линейными скоростями по осям X и Y, и угловой скоростью по оси Z.

Схема получаемых и отправляемых контроллером сообщений представлена на рисунке 2. Для правильного функционирования контроллеру необходимо задать топик команд и одометрии, фрейм одометрии, базовый фрейм робота, частоту обновления данных, и указать названия сочленений колес, радиус колеса, расстояние между передними и задними, правыми и левыми колесами.

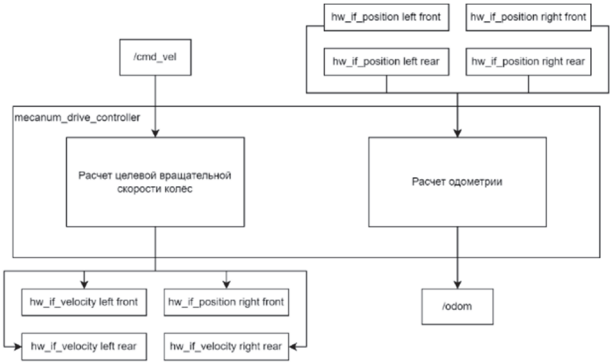


Рисунок 2 — Схема обмена сообщениями

Литература

1. Rubio F., Valero F., Llopis-Albert C. A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications //International Journal of Advanced Robotic Systems. – 2019. – Т. 16. – №. 2. – С. 1729881419839596.

2. Watanabe K. Control of an omnidirectional mobile robot //1998 Second International Conference. Knowledge-Based Intelligent Electronic Systems. – IEEE, 1998. – Т. 1. – С. 51-60.

3. Gfrerrer A. Geometry and kinematics of the Mecanum wheel //Comp. Aided Geom. Design. – 2008. – Т. 25. – №. 9. – С. 784-791.

4. Shabalina K., Sagitov A., Magid E. Comparative analysis of mobile robot wheels design //2018 11th International Conference on Developments in esystems Engineering. – IEEE, 2018. – С. 175-179.

5. Chikurtev D. Mobile robot simulation and navigation in ROS and Gazebo // International Conference Automatics and Informatics. – IEEE, 2020. – С. 1-6.

6. Zailan N. Z. et al. Obstacle Avoidance of a 3WD Omni-Wheel Mobile Robot in Webots Environment // International Conference on System Engineering and Technology. – IEEE, 2021. – С. 143-146.

7. Zamfirescu I., Pascal C. Modelling and simulation of an omnidirectional mobile platform with robotic arm in CoppeliaSim //International Conference on System Theory, Control and Computing. – IEEE, 2020. – С. 667-672.

8. Apurin A. et al. LIRS-ArtBul: design, modelling and construction of an omnidirectional chassis for a modular multipurpose robotic platform //International Conference on Interactive Collaborative Robotics. – Cham : Springer International Publishing, 2022. – С. 70-80.

Перспективы создания и применения мобильных робототехнических комплексов мониторинга состояния технических систем объектов критической инфраструктуры

И.О. Прутчиков[1]✉, В.В. Камлюк[1], С.А. Терентьев[1], И.В. Гречушкин[2]

[1]Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная ордена Жукова академия войск национальной гвардии Российской Федерации» (Академия войск национальной гвардии), Санкт-Петербург, Россия, vpio277254@mail.ru

[2]Общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственное объединение 122 Управление монтажных работ» (ООО «НПО 122 УМР)», Санкт-Петербург, Россия

Благодарности

Финансирующая организация: Академия войск национальной гвардии.

Prospects for the creation and application of mobile robotic complexes for monitoring the condition of technical systems of critical infrastructure facilities

Igor O. Prutchikov[1]✉, Vasily V. Kamluk[1], Sergey A. Terentyev[1], Igor V. Grechushkin[2]

[1]The Petersburg Federal State-owned Military Educational Institution of Higher Education «Military Order of Zhukov Academy of National Guard Troops of the Russian Federation» (Academy of National Guard Troops), St. Petersburg, Russia, vpio277254@mail.ru

[2]Limited Liability Company «Research and Production Association 122 Management of installation works» (LLC «NPO 122 UMR»), St. Petersburg, Russia

Acknowledgements

Funding organization: Academy of National Guard Troops.

Развитие компьютерных и информационных технологий позволило автоматизировать процессы мониторинга, контроля и управления системами жизнеобеспечения и безопасности объектов критической инфраструктуры. При этом, как показано в работах [1-4], наиболее эффективно использование комплексного подхода по монито-

рингу, контролю и управлению различных систем. В целях повышения эффективности функционирования подобных систем и области их применения разработаны новые технические решения [5, 6].

Вместе с тем, в разработанных автоматизированных системах отсутствуют возможности по активному мониторингу и противоаварийному управлению внешними системами жизнеобеспечения и безопасности, что ограничивает их функциональные возможности и область применения. Дополнительно к этому отсутствуют возможности по оперативному, достоверному и удалённому контролю за состоянием внешних систем жизнеобеспечения и безопасности, особенно в условиях угроз и возникновения чрезвычайных, аварийных ситуаций различного характера, что снижает эффективность функционирования систем.

В целях устранения указанных недостатков предлагается создание и применение мобильных робототехнических комплексов мониторинга состояния технических систем объектов критической инфраструктуры. Мобильный робототехнический комплекс мониторинга состояния технических систем жизнеобеспечения и безопасности автономных объектов (см. рис. 1) содержит, по крайней мере, один мобильный модуль наблюдения за состоянием внешних систем жизнеобеспечения и безопасности (1), и модуль удалённого мониторинга внешних систем жизнеобеспечения и безопасности (2). При этом модуль наблюдения за состоянием внешних систем жизнеобеспечения и безопасности (1) связан каналами обнаружения и распознавания событий с внешними системами жизнеобеспечения и безопасности и каналами связи с модулем удалённого мониторинга внешних систем жизнеобеспечения и безопасности (2), который подсоединён к комплексной системе мониторинга, контроля и управления техническими системами автономных объектов.

Мобильный модуль комплексного наблюдения за состоянием внешних систем жизнеобеспечения и безопасности (1) предназначен для дистанционного, автоматизированного сбора, обработки и передачи информации о состоянии внешних систем жизнеобеспечения и безопасности и содержит комплекс средств обнаружения и распознавания событий с собственной системой управления и передачи данных, смонтированных на мобильном робототехническом средстве передвижения (беспилотном летательном аппарате, наземном робототехническом комплексе и др.)

В настоящее время для создания мобильного модуля комплексного наблюдения на базе наземного робототехнического комплекса предлагается использовать научно-технический задел по созданию

наземных робототехнических комплексов [7-12], а для создания мобильного модуля комплексного наблюдения на базе беспилотного летательного аппарата (БЛА) предлагается использовать научно-технический задел по созданию разведывательных БЛА, в том числе, предназначенных для технической разведки повреждённых образцов техники [13, 14].

Комплекс средств обнаружения и распознавания событий, который установлен на мобильный модуль комплексного наблюдения (1), может включать в свой состав комбинированные оптико-электронные средства, видеокамеры, тепловизионные приборы, приборы ночного видения, анализаторы спектра электромагнитного и радиационного состава и термодинамических параметров окружающей среды.

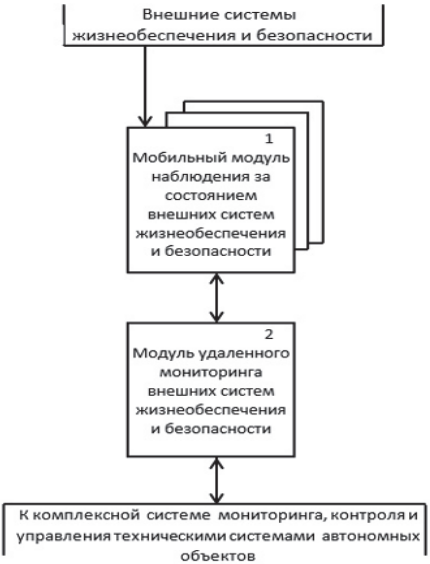


Рисунок 1 — Структурная схема мобильной робототехнической системы мониторинга состояния технических систем жизнеобеспечения и безопасности автономных объектов

Модуль удалённого мониторинга внешних систем жизнеобеспечения и безопасности 2 предназначен для управления движением мобильного модуля комплексного наблюдения 1 и комплексом средств обнаружения и распознавания событий, приёма, обработки, отображения и передачи информации о

состоянии внешних систем жизнеобеспечения и безопасности и содержит средства управления, приёма, обработки, отображения и передачи информации со встроенными источниками бесперебойного питания. Также он передает данные в другие системы, например, в комплексную систему мониторинга, контроля и управления техническими системами автономных объектов для принятия в нем решений по противоаварийному управлению системами объекта по сигналам о состоянии внешних систем.

Таким образом, создание и применение предложенных мобильных робототехнических комплексов мониторинга состояния технических систем объектов критической инфраструктуры позволит повысить эффективность их работы, расширить их функциональные возможности и область применения.

Литература

1. Patent N US 5684374, G05B 13/00. Method and apparatus for tuning a motion control system having an external velocity loop, Allen-Bradley Company, publ. 04.11.97.

2. Patent N DE 4125839, G05B 15/00. Domestic supply system for house and building – has communal rooms with supply coupled to distributors having computer intelligence for control to meet demands, applicants Burkard Guenther, publ. 04.02.93.

3. Патент 2133490, Российская Федерация, МПК G05B 15/00, G05B 23/00. Структурированная система мониторинга и управления инженерным оборудованием объекта. [Текст] / Гинзбург В.В. и др.; заявитель и патентообладатель Гинзбург В.В - №98117308/09; заявл. 21. 09.1998; опубл. 20.07.1999.

4. Патент 2566341, Российская Федерация, МПК G05B 13/02. Интегрированная автоматизированная система контроля и управления системами жизнеобеспечения и защиты специальных объектов. [Текст] / Кондратов С.Ф.; патентообладатель Закрытое акционерное общество «Алгонт» - №2014103357/08; заявл. 31.01.2014; опубл. 10.08.2015 Бюл. №29.

5. Патент 2719714, Российская Федерация, МПК G05B 13/00, G08B 19/00, G08B 21/02. Комплексная система мониторинга, контроля и управления техническими системами жизнеобеспечения и безопасности автономных объектов [Текст] / Прутчиков И.О, Гречушкин И.В., Камлюк В.В. и др.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ имени генерала армии

А.В. Хрулёва». - №2019114635; заявл. 13.05.2019; опубл. 22.04.2020. Бюл. № 12.

6. Патент 2759757, Российская Федерация, МПК G05B 13/02. Комплексная система мониторинга, контроля и управления техническими системами жизнеобеспечения и безопасности автономных объектов [Текст] / Прутчиков И.О, Гречушкин И.В., Камлюк В.В., Сизько Д.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ имени генерала армии А.В. Хрулёва». - №2020142367; заявл. 21.12.2020; опубл. 17.11.2021. Бюл. № 32.

7. Мобильные робототехнические комплексы. Сборник статей. - М.: ООО «Сам Полиграфист», 2014 - 118 с.

8. Перспективы развития наземных робототехнических комплексов наземного и специального назначения / Ю.В. Корчак, В.С. Лапшов, И.В. Рубцов [и др.] // Известия ЮФУ, 2015. № 4. С. 83 - 95.

9. Овчинников В.В., Мингалеев С.Г., Жесткова С.Г. Перспективы развития робототехнических комплексов для решения задач единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций // Технологии гражданской безопасности - №3, М: 2018 – С.5-8.

10. Иваненков В.В, А.Н. Кутузов А.Н., Панков В.А., И.В. Рубцов И.В. Роботизированная система охраны и обороны специальных объектов и участков границы // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана - № 11- М: 2012- С. 4-27.

11. Патент на полезную модель № 175637 Российская Федерация, МПК H 01 R 13/52, H 02 I 17/00. Робототехнический комплекс для проведения технической разведки [Текст] / Матушкин В.Л. и др.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «ВОЕННАЯ АКДЕМИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ имени генерала армии А. В. Хрулёва - № 2016140924, Заявл. 01. 10. 2016, Опубл.13.10.2017 Бюл. № 23.

12. Гречушкин И.В., Прутчиков И.О., Камлюк В.В. Особенности и перспективы применения наземных робототехнических комплексов военного назначения с электротрансмиссией для защиты, охраны и обороны сил и средств материально-технического обеспечения Вооружённых Сил Российской Федерации // Сборник научных трудов «Актуальные проблемы военно-научных исследований», выпуск 2(14), СПб: Изд-во, 2021 г., С. 73-83.

13. Патент 2749540, Российская Федерация, МПК B25J 5/00, F41

H 11/00, F41 H 13/00. Способ проведения технической разведки повреждённых образцов вооружения и военной техники [Текст] / Гречушкин И.В., Прутчиков И.О., Репин А.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ имени генерала армии А.В. Хрулёва». - №2020133606; заявл. 12.10.2020; опубл. 15.06.2021. Бюл. № 17.

14. Патент 2750942, Российская Федерация, МПК B60W 30/165, B60W 30/18, G07C 5/08, G08G 1/00, G08G 1/16. Способ прогностического иерархического управления интеллектуальной транспортной системой при управлении движением колонны [Текст] / Гречушкин И.В., Прутчиков И.О. и др.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ имени генерала армии А.В. Хрулёва». - №2020133607; заявл. 12.10.2020; опубл. 06.07.2021. Бюл. № 19.

Роботизированный комплекс безопасности жизнеобеспечения пунктов временного размещения населения в чрезвычайных ситуациях

И.О. Прутчиков[1]✉, В.В. Камлюк[1], С.А. Терентьев[1], И.В. Гречушкин[2]

[1]Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная ордена Жукова академия войск национальной гвардии Российской Федерации» (Академия войск национальной гвардии), Санкт-Петербург, Россия, vpio277254@mail.ru

[2]Общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственное объединение 122 Управление монтажных работ» (ООО «НПО 122 УМР)», Санкт-Петербург, Россия

Благодарности

Финансирующая организация: Академия войск национальной гвардии.

A robotic life support safety complex for temporary accommodation of the population in emergency situations

Igor O. Prutchikov[1]✉, Vasily V. Kamluk[1], Sergey A. Terentyev[1], Igor V. Grechushkin[2]

[1]*The Petersburg Federal State-owned Military Educational Institution of Higher Education "Military Order of Zhukov Academy of National Guard Troops of the Russian Federation" (Academy of National Guard Troops), St. Petersburg, Russia, vpio277254@mail.ru*

[2]*Limited Liability Company «Research and Production Association 122 Management of installation works» (LLC «NPO 122 UMR»), St. Petersburg, Russia*

Acknowledgements
Funding organization: Academy of National Guard Troops.

Пункты временного размещения населения предназначены для защиты населения в чрезвычайных ситуациях различного характера и при ведении военных действий. Они оборудуются техническими системами жизнеобеспечения. Для надёжной и бесперебойной работы данных систем создаются автоматизированные системы мониторинга, контроля и управления инженерным оборудованием [1, 2]. В то же время, целесообразно совместное применение технических систем жизнеобеспечения и безопасности на пунктах временного размещения населения и использование комплексного подхода по мониторингу, контролю и управлению техническими системами из единого центра управления. Данный подход использован авторами статьи при разработке новых технических решений [3, 4] по созданию автоматизированных систем мониторинга, контроля и управления техническими системами жизнеобеспечения и безопасности. Перспективным направлением, связанным с повышением эффективности функционирования систем (комплексов) мониторинга, контроля и управления технических систем жизнеобеспечения и безопасности, является робототизация контроля и управления системами. В качестве одного из вариантов реализации данного направления предлагается новое техническое решение «Роботизированный комплекс безопасности жизнеобеспечения пунктов временного размещения населения в чрезвычайных ситуациях» (см. рис. 1).

Комплекс содержит модуль управления и контроля 1, который включает блоки управления 1а, 1б… 1n, модуль хранения базы данных 2, который включает источники бесперебойного питания 2а и два сервера баз данных 2б, один из которых - ре-

зервный, модуль управления системами 3, модуль контроля параметров бесперебойных подсистем жизнеобеспечения 4, модуль мониторинга, контроля и управления системами на аварийных режимах 5, модуль данных мониторинга, контроля и управления 6, по крайней мере, один мобильный модуль комплексного наблюдения за состоянием внешних систем жизнеобеспечения и безопасности 7 и автономный источник электропитания 8.

Отличительной особенностью комплекса является то, что он дополнительно снабжен, по крайней мере, одним модулем жизнеобеспечения и безопасности 9 и модулем удалённого контроля и противоаварийного управления системами жизнеобеспечения и безопасности 10, при этом модуль жизнеобеспечения и безопасности 9 подсоединён и/или имеет возможность подсоединения к оборудованию технических систем жизнеобеспечения и безопасности, внешним системам и подсоединён к модулю удалённого контроля и противоаварийного управления системами жизнеобеспечения и безопасности 10, который подключён к модулю мониторинга, контроля и управления системами на аварийных режимах 5 и связан каналами связи с мобильным модулем комплексного наблюдения за состоянием внешних систем жизнеобеспечения и безопасности 7, а источник электропитания 8 подключён ко всем источникам бесперебойного питания.

Модуль жизнеобеспечения и безопасности 9 предназначен для гарантированного жизнеобеспечения и обеспечения безопасности при возникновении аварийных ситуаций и включает средства управления, аварийные технические системы жизнеобеспечения и безопасности, источники бесперебойного питания. Он может быть реализован в стационарном исполнении известными средствами [5, 6] или в передвижном исполнении известными средствами [7, 8].

Модуль удалённого контроля и противоаварийного управления системами жизнеобеспечения и безопасности 10, предназначен для управления движением мобильного модуля комплексного наблюдения 7 и размещённом на нём комплексом средств обнаружения и распознавания событий, приёма, обработки, отображения, передачи информации о состоянии внешних систем жизнеобеспечения и безопасности, управления функционированием модуля жизнеобеспечения и безопасности 9 и включает средства управления, приёма, обработки, отображения и передачи информации со встроенными источниками бесперебойного питания. Также он передает данные в модуль мониторинга, контроля и управления системами на аварийных режимах 5 для принятия в

нем решений по противоаварийному управлению техническими системами объекта по сигналам о состоянии внешних систем.

Предлагаемый роботизированный комплекс безопасности жизнеобеспечения пунктов временного размещения населения в чрезвычайных ситуациях позволяет расширить функциональные возможности, область применения и повысить эффективность работы комплекса.

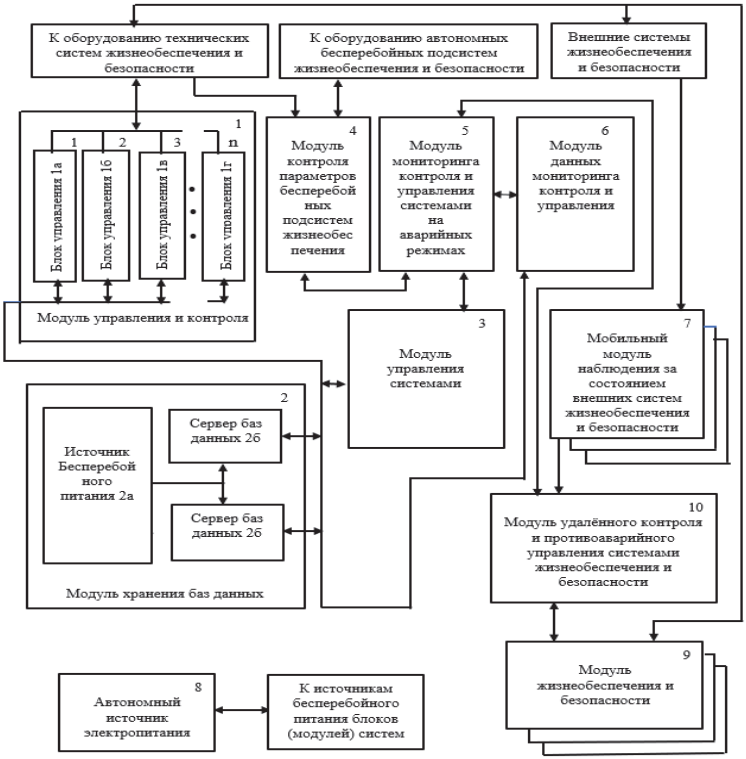


Рисунок 1 — Роботизированный комплекс безопасности жизнеобеспечения пунктов временного размещения населения в чрезвычайных ситуациях

Литература

1. Патент 2133490, Российская Федерация, МПК G05B 15/00, G05B 23/00. Структурированная система мониторинга и управления инженерным оборудованием объекта. [Текст] / Гинзбург В.В. и др.; заявитель и патентообладатель Гинзбург В.В - №98117308/09; заявл. 21. 09.1998; опубл. 20.07.1999.

2. Патент 2566341, Российская Федерация, МПК G05B 13/02. Интегрированная автоматизированная система контроля и управления системами жизнеобеспечения и защиты специальных объектов. [Текст] / Кондратов С.Ф.; патентообладатель Закрытое акционерное общество «Алгонт» - №2014103357/08; заявл. 31.01.2014; опубл. 10.08.2015 Бюл. №29.

3. Патент 2719714, Российская Федерация, МПК G05B 13/00, G08B 19/00, G08B 21/02. Комплексная система мониторинга, контроля и управления техническими системами жизнеобеспечения и безопасности автономных объектов [Текст] / Прутчиков И.О, Гречушкин И.В. и др.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное казённое военное образовательное учреждение высшего образования «ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ имени генерала армии А.В. Хрулёва». - №2019114635; заявл. 13.05.2019; опубл. 22.04.2020. Бюл. № 12.

4. Патент 2779017, Российская Федерация, МПК G05B 13/02 Комплексная система мониторинга, контроля и управления техническими системами жизнеобеспечения и безопасности автономных объектов [Текст] / Прутчиков И.О, Гречушкин И.В., Камлюк В.В. и др.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Научно-производственное объединение 122 Управление монтажных работ». - №2022112733; заявл. 06.05.2022; опубл. 30.08.2022 Бюл. № 25.

5. Прутчиков И.О., Михайлов В.И., Камлюк В. Модули энергетической безопасности автономных объектов на базе комбинированных установок// Журнал: Двигателестроение. №1. 2019. С.28-32.

6. Прутчиков И.О., Камлюк В.В. и др. Моделирование, расчёт параметров и режимов работы систем мониторинга, контроля и управления бесперебойным жизнеобеспечением автономных объектов на основе комбинированного применения оптико-электронных средств обнаружения и распознавания событий // Журнал: «Морской вестник». № 2. 2018 г. С.75-80.

7. Прутчиков И.О., Камлюк В.В. и др. Перспективы разработки и применения мобильных модулей энергетической безопасности на базе самоходных шасси с электротрансмиссией // Актуальные проблемы защиты и безопасности. Труды XXII Всероссийской научно-практической конференции РАРАН. Том 3. СПб: Российская академия ракетных и артиллерийских наук. 2019. С. 92-96.

8. Патент на полезную модель № 84172 Российская Федерация, МПК H02M 5/12, H02M 7/02. Мобильная электроустановка для электропитания специального оборудования [Текст] / Хвостов В.И.,

Мирошник В.П.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие «НИИ «Экран» - № 2008139255/22, Заявл. 02. 10. 2008, опубл.27.06.2009. Бюл. № 18.

Система управления многофункциональной машиной на колесном/гусеничном шасси

В.И. Нарыжнов
АО «Авиационная и морская электроника» (АО «НПП «АМЭ»), Санкт-Петербург, Россия, naryzhnov@nppame.ru

Control system of multifunctional machine on wheeled/tracked chassis

Vitaliy I. Naryzhnov
JSC Aviation and Marine Electronics (JSC NPP AME), St. Petersburg, Russia, naryzhnov@nppame.ru

АО НПП «АМЭ» совместно с компанией Митракс в инициативном порядке разрабатывает многофункциональный роботизированный комплекс на базе серийно выпускаемого трактора. Митракс занимается непосредственно изготовлением шасси, а АО НПП «АМЭ» автоматизацией и интеллектуальным управлением.

Шасси производится в двух исполнениях: в колёсном и гусеничном. В рамках инициативного проекта используется колёсное шасси.

Основные технические характеристики: длинна 4,5 метра, ширина 1,5 метра, мощность двигателя 80 л.с., скорость движения 40 км/ч, грузоподъёмность до 2 т.

Состав роботизированного комплекса достаточно стандартный - пульт дистанционного управления, на который приходит информация о состоянии двигателя, уровне топлива, положении узлов и агрегатов и. т.д. В первом образце в качестве пульта дистанционного управления используется защищённый планшет. Непосредственно на гусеничном шасси размещается система технического зрения, лидар, бортовой комплект связи. Для отработки функционирования на опытный образец установлена GSM модем, но при необходимости размеры шасси позволяют установить защищённую линию связи.

Также АО НПП «АМЭ» разработало программный комплекс

«Мозайка», который при облёте территории БПЛА с оптикой, позволяет построить трёхмерную карту местности, по которой в последствии может быть построен маршрут движения роботизированного шасси. Данная функция удобна при построении маршрута трактора в труднопроходимых местах (разрушенный город и т.д.).

Области применения:

– Минирование территорий при установки специального модуля на шасси, что позволит в автоматическом режиме или по заданной траектории расставлять минные поля.

– Разведка окружающей обстановки по средствам технического зрения.

– Транспортировка раненых.

– Подвоз боеприпасов в заданную точку.

– Копка небольших траншей на линии боевого столкновения.

– Разбор завалов, где есть опасность заминирования или обвала.

С учётом того, что на шасси могут быть установленные различные насадки (ковши, клещи и т.д.).

Также необходимо отметить, что комплекс автоматизации может быть установлен на различную гусеничную и колёсную технику.

Автономный наземный робот для доставки грузов вне помещения

А.В. Бянкина, М.В. Тарачков✉, А.И. Кошелев, К.В. Маракулин

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта» (ФГАОУ ВО БФУ им. И. Канта), Калининград, Россия, mishklgpmi@mail.ru

Autonomous ground robot for outdoor cargo delivery

Anastasia V. Byankina, Mikhail V. Tarachkov✉, Andrey I. Koshelev, Kirill V. Marakulin

Immanuel Kant Baltic Federal University (IKBFU), Kaliningrad, Russia, mishklgpmi@mail.ru

Наземные роботы достаточно давно применяются для решения задач в ситуациях, где нахождение человека может нести угрозу

жизни и здоровья: ликвидация чрезвычайных ситуаций, радиационная разведка, тушение пожаров, обезвреживание боеприпасов, военные операции [1]. Управление роботом, как правило, осуществляется в дистанционном режиме человеком-оператором, что в целом является надежным решением. В [2] автор оценивает эффективность систем дистанционного управления, приводя примеры, когда временные задержки передачи сигналов могут негативно сказаться на качестве управления. Кроме того, дистанционное управление для задач, в которых происходит повторение одного и того же действия (маршрута), логично выполнять в автоматическом режиме, например, задача доставки грузов. Поэтому разработка автономных наземных роботов считается актуальной задачей.

Целью исследования является разработка автономного наземного робота для доставки грузов вне помещения. Выделены задачи:

1. Создание платформы, которая способная транспортировать груз до 20 кг;
2. Разработка низкоуровневого программного обеспечения (ПО);
3. Разработка и совершенствование существующего ПО для взаимодействия с сенсорами;
4. Интеграция в ПО робота пакета Nav2 [3] для планирования движений и обхода препятствий;
5. Проведение испытаний.

Основой платформы робота являются три гироскутера, управляемые микроконтроллером семейства STM32, который возможно перепрограммировать (идея, использованная в компании «Яндекс» при разработке первой версии робота для доставки). Мотор-колеса гироскутеров позволяют развивать скорость до 15 км/ч и обладают достаточным крутящим моментом для преодоления препятствий. Однако, для платформы робота необходима подвеска. Общий вид робота приведен на рисунке 1.

Микроконтроллеры связаны с компьютером Raspberry Pi 4 через последовательный интерфейс: задаются угловые скорости колес, возвращаются текущие угловые скорости, температура платы и уровень заряда батареи.

Программное обеспечение (ПО) микроконтроллера реализует системы автоматического управления для поддержания заданной угловой скорости.

Компьютер Raspberry Pi 4 работает под управления ОС Linux Ubuntu 22.04. Используется программная платформа ROS2 Humble. К компьютеру подключены однолучевой лазерный дальномер Hokuyo

UTM-30LX (дистанция до 30 м., точность измерений до 5 см.); инерциально-измерительный модуль Taobotics HFI-A9, ГНСС-приемник Ublox F9P с поддержкой режима Real Time Kinematic (RTK). Используются open-source пакеты для взаимодействия с оборудованием, некоторые из них доработаны.

Рисунок 1 — Автономный колесный робот

Построение карты местности (в 2D), планирование движений с обходом препятствий осуществляется при помощи пакета Nav2.

Испытания проводились с использованием статичных объектов (коробки) и медленно движущихся людей на ровном участке местности. В ходе испытаний производилась настройка минимального расстояния от робота до объектов. Также отмечен наезд на препятствие при резком его появлении перед роботом.

В целом, робот выполнял задачу перемещения из точки А в точку Б, объезжая препятствия. Планируется дорабатывать программное и аппаратное обеспечение для корректной работы в менее идеальной среде.

Литература

1. Лопота А. В. Мобильные наземные робототехнические комплексы профессионального назначения / А. В. Лопота, Б. А. Спасский //Робототехника и техническая кибернетика. – 2020. – Т. 8. – №. 1. – С. 5-17.

2. Попов Д. С. Эффективность систем дистанционного управления наземными мобильными роботами в условиях действия временных задержек в каналах передачи информации //Экстремальная робототехника. – 2022. – Т. 1. – №. 1. – С. 164.

3. Accountability and Explainability in Robotics: A Proof of Concept for ROS 2-And Nav2-Based Mobile Robots / L. Fernández-Becerra, M. A. González-Santamarta, D. Sobrín-Hidalgo etc. //Computational Intelligence in Security for Information Systems Conference. – Cham : Springer Nature Switzerland, 2023. – P. 3-13.

Поиск технических решений для погрузочно-разгрузочных работ с применением роботизации

С.Г. Ласточкин
«Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А. В. Хрулёва» Министерства обороны Российской Федерации (ВА МТО), Санкт-Петербург, Россия, muromets86@internet.ru

Search for technical solutions for loading and unloading operations using robotics

Svjatoslav G. Lastochkin
«Military Academy of Logistics named after Army General A. V. Khrulev» of the Ministry of Defense of the Russian Federation (VA MTO), St. Petersburg, Russia, muromets86@internet.ru

Проблематика погрузочно-разгрузочных работ включает в себя следующие факторы: персонал; оперативность работ; точность работ; безопасность; сохранность материальных средств.

В работе рассматриваются два следующих способа роботизации погрузочно-разгрузочных работ: первый – внешний, при котором робототехнический комплекс снаружи транспорта подвоза; второй – внутренний, где робототехнический комплекс внутри кузова транспорта подвоза.

Одним из вариантов реализации первого способа является автоматический 7-осевой робот загрузки и выгрузки самосвала [1], изображенный на рисунке 1.

Преимуществами первого способа по сравнению с загрузкой ручным способом и с применением средств малой механизации являются: большая грузоподъемность; робототехнический комплекс может работать дистанционно, что обеспечивает визуальную маскировку, сохранность жизни и здоровья оператора; робототехнический

комплекс способен работать автономно, что обеспечит отсутствие демаскирующих признаков управления в радиочастотном диапазоне; загрузка и разгрузка возможна как от начала кузова и вглубь, так и наоборот (рис. 2); искусственный интеллект (система интеллектуальной поддержки принятия решения) обеспечит максимально рациональное использование площади кузова с учетом габаритов последнего и всех грузовых единиц, подлежащих загрузке (с использованием компьютерного зрения [2]); возможно проведение погрузочно-разгрузочных работ в условиях вооруженного конфликта и в районах с повышенным радиационным фоном.

Рисунок 1 — Загрузка ящиков с грузом в контейнер

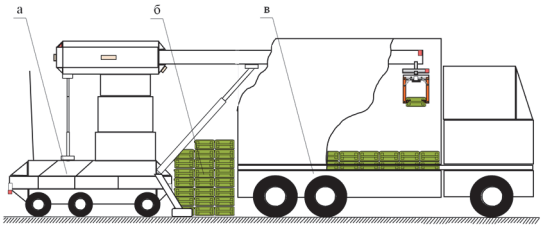


**Рисунок 2 — Загрузка ящиков в автомобиль:
а – робот-погрузчик; б –груз; в – транспорт подвоза**

Кроме того, по сравнению со вторым способом имеется свобода перемещения. Главным недостатком первого способа является необходимость наличия робота-погрузчика как в пункте загрузки, так и в пункте выгрузки.

Преимущества второго способа (робототехнический комплекс внутри кузова транспорта подвоза иллюстрирован на рис. 3, 4) в сравнении с загрузкой ручным способом и с применением средств малой механизации схожи с первым способом.

Недостатком второго способа является ограниченная свобода перемещения.

Для оценки эффективности роботов-погрузчиков можно воспользоваться специальным программным обеспечением [3, 4].

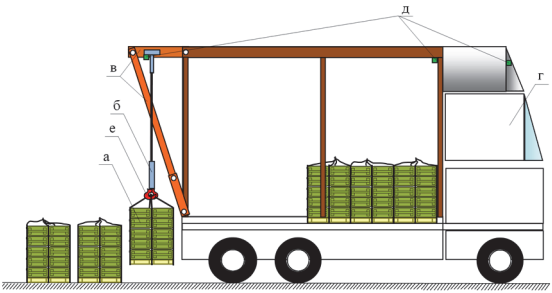


Рисунок 3 —Загрузка ящиков в кузов автомобиля с использованием робототехнического загрузчика (вид сбоку): а – загружаемый груз; б – грузоподъемное устройство; в – выдвижное (складное) устройство пневматическое для загрузки; г – транспорт подвоза; д – компьютерное зрение»; е – электро-магнитный захват

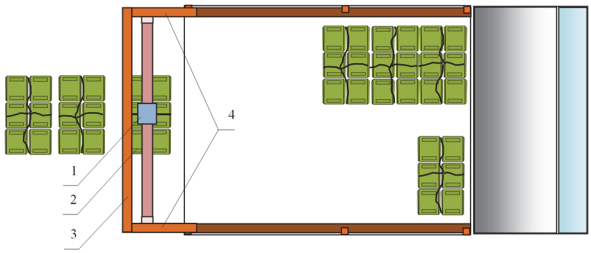


Рисунок 4 – Загрузка ящиков в кузов автомобиля (вид сверху): 1 – грузоподъемное устройство; 2 – груз; 3 – поперечная балка; 4 – продольные балки

Литература

1. Автоматический 7-осевой робот загрузки и выгрузки самосвала. Текст : электронный. Раздел сайта «Китай Производители, Поставщики и Товары – ru.Made-in-China.com», подраздел «Производительный и Обрабатывающий Механизм – Промышленный Робот – Паллетирующий робот». – URL: https://ru.made-in-china.com/co_senadvision/product_Automatic-7-Axis-Truck-Loading-and-Unloading-Robot_yugioyouyg.html (дата обращения: 13.09.2024).

2. ГОСТ Р 59385-2021. Информационные технологии. Искусственный интеллект. Ситуационная видеоаналитика. Термины и

определения : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 5 марта 2021 г. № 120-ст : введен впервые : дата введения 2021-09-01 / Москва : Стандартинформ, 2021 – Текст : непосредственный.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024613816 Российская Федерация. Программа расчета эффективности применения технических средств автоматизации, робототехнических комплексов с искусственным интеллектом в складских работах : № 2024611621 : заявл. 29.01.2024 : опубл. 15.02.2024 / С. Г. Ласточкин, В. Н. Ларионов, С. И. Келипов, А. В. Костюкович ; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» Министерства обороны Российской Федерации. – EDN ONOHJE.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024612602 Российская Федерация. Программа расчета эффективности применения робототехнических комплексов, беспилотных транспортных систем для обеспечения материально-техническими средствами : № 2024611576 : заявл. 29.01.2024 : опубл. 02.02.2024 / С. Г. Ласточкин, Д. П. Поправко, А. А. Николенко [и др.] ; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В.Хрулева» Министерства обороны Российской Федерации. – EDN HSQUKH.

Контроль эффективности и надежности системы комплексной безопасности для обеспечения защищенности доверенных иммерсивных интерфейсов взаимодействия робота и оператора

В.А. Саяркин, В.Р. Виноградов, И.Б. Паращук✉

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного» Министерства обороны Российской Федерации (Военная академия связи), Санкт-Петербург, Россия, shchuk@ramdler.ru

Control of the effectiveness and reliability of an integrated safety system to ensure the security of trusted immersive interfaces between the robot and the operator

Vitaly A. Sayarkin, Vladislav R. Vinogradov,
Igor B. Parashchuk✉

Federal State Treasury Military Educational Institution of Higher Education «Military Orders of Zhukov and Lenin Red Banner Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union C.M. Budyonny» of the Ministry of Defense of the Russian Federation (Military Academy of Communications), St. Petersburg, Russia, shchuk@ramdler.ru

На современном этапе развития экстремальной робототехники важное внимание уделяется созданию и совершенствованию доверенных иммерсивных пользовательских интерфейсов (ДИПИ) взаимодействия робота и оператора. Это, наряду с интеллектуальными адаптивными интерфейсами, один из инновационных и бурно развивающихся (также с привлечением элементов искусственного интеллекта), программно-аппаратных механизмов устойчивого, непрерывного, оперативного и безопасного управления современными специальными и промышленными робототехническими системами, привлекаемыми для работы в экстремальных средах.

Анализ ключевых современных положений концепции доверенности в IT-отрасли позволяет говорить о ДИПИ, как о защищенной целостной системе, использующей аппаратные и программные средства для обеспечения одновременной обработки и обмена данными различного уровня конфиденциальности между роботом и оператором (группой операторов) без нарушения прав доступа к каналу управления этим роботом [1].

Важным условием при разработке и создании системы комплексной безопасности (СКБ) ДИПИ взаимодействия робота и оператора, одним из ключевых этапов совершенствования объектов такого класса, являются, на наш взгляд, применение современных методологических и практических подходов к оперативному и достоверному контролю их эффективности и надежности.

Оперативный и достоверный контроль эффективности и надежности СКБ для обеспечения защищенности ДИПИ взаимодействия робота и оператора не только способствует формированию целесообразной (рациональной) архитектуры системы такого класса, но и позволяет, с учетом этой архитектуры, с учетом оптимальных функционала, состава и номенклатуры элементов СКБ, определить и

обосновать, а по сути – гарантировать, доверенный уровень защищенности, уровень безусловного предохранения ДИПИ от потенциальных угроз.

Рассмотрены актуальность, предпосылки и условия реализации модели и методики контроля эффективности и технической надежности СКБ для обеспечения защищенности современных ДИПИ взаимодействия робота и оператора. Предложены стадии реализации модели и методики контроля, причем на стадии моделирования процесса защиты информации при обмене данными в рамках интерфейса такого класса использовано статистическое распределение Вейбулла [2].

В рамках практического применения это позволит учесть неоднородность процедур в границах данного процесса и оценить вероятность отказа конструктивных элементов СКБ ДИПИ взаимодействия робота и оператора с течением времени.

Литература

1. Паращук И.Б., Саенко И.Б., Пантюхин О.И. Доверенные системы для разграничения доступа к информации в облачных инфраструктурах // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 6. С. 68-75.

2. Буровский Е.А., Гришунина Ю.Б. Задачи математической статистики и их решение с использованием языка программирования Python: учеб. пособие. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2022. – 64 с.

Требования к аварийно-спасательной робототехнике для оценки соответствия Техническому регламенту ТР ЕАЭС 050/2021

С.С. Носков

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий) (ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)), Москва, Россия, s.noskov2022@bk.ru

Requirements for emergency rescue robotics to assess compliance with Technical Regulations EAEU TR 050/2021

Sergey S. Noskov
All-Russian Scientific Research Institute for Civil Defense and Emergencies of the EMERCOM of Russia (Federal Science and High Technologies Center), Moscow, Russia, s.noskov2022@bk.ru

В качестве доказательной базы при оценке соответствия продукции положениям технического регламента ТР ЕАЭС 050/2021 [1] применяются межгосударственные стандарты, в которых изложены технические требования и методы испытаний продукции для нужд гражданской обороны (ГО) и защиты в ЧС.

К части продукции для ГО и защиты в ЧС межгосударственные стандарты разработаны в полном объеме, однако для аварийно-спасательных робототехнических средств (РТС АС), которые относятся к аварийно-спасательным средствам, такие стандарты отсутствуют. Эта проблема еще более обострилась после принятия межгосударственного ГОСТ 35035-2023 [2] по пожарной робототехнике и отделению её от аварийно-спасательной.

В рамках Программы межгосударственной стандартизации специалистами ВНИИ ГОЧС (ФЦ) разработан проект межгосударственного стандарта «Робототехнические средства аварийно-спасательные. Общие технические требования. Методы испытаний» (шифр: RU.1.212-2024). Проект стандарта прошел этап обсуждения первой редакции, учтены замечания заинтересованных организаций, подготовлена вторая редакция.

В стандарте уточнен термин «аварийно-спасательное робототехническое средство»: техническое средство, способное в соответствии с целевым предназначением выполнять в режиме автономного, супервизорного или дистанционного управления функции, виды работ или операции без непосредственного нахождения человека в опасной зоне проведения аварийно-спасательных работ (АСР). Стандарт распространяется на все РТС АС, применяемые при ведении АСР: наземные, подземные, воздушные, надводные, подводные, мультисредные (две и более среды применения). Приведен перечень операций АСР, которые выполняются с использованием РТС АС.

Выдвинуто требование о наличии в конструкции РТС АС манипулятора или механизма навески, определен минимальный перечень сменного рабочего оборудования для манипулятора. Обязательными требованиями к РТС АС стали движение в автономном режиме по

заданным координатам или траектории, автоматическая смена рабочего оборудования манипулятора, перевод его в транспортное положение и ряд других операций.

Определены требования к системам РТС АС: дистанционного управления, технического зрения и контроля обстановки, позиционирования и навигации, контроля параметров. Помимо основного источника энергии РТС АС должно иметь резервный источник, обеспечивающий посадку воздушных и всплытие подводных РТС АС, а также функционирование всех систем робота, в том числе приборов радиационной и химической разведки в течение не менее 0,5 часа.

Ведение в действие стандарта по аварийно-спасательной робототехнике позволит проводить сертификацию РТС АС на соответствие требованиям ТР ЕАЭС 050/2021 [1].

Литература

1. Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности продукции, предназначенной для гражданской обороны и защиты от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» (ТР ЕАЭС 050/2021), принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 05 октября 2021 года № 100 URL: https://docs.cntd.ru/document/726730592 (дата обращения 28.08.2024).

2. ГОСТ 35035-2023 Техника пожарная. Мобильные робототехнические комплексы пожаротушения. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний URL: https://docs.cntd.ru/document/1305263712 (дата обращения 28.08.2024).

Автоматическое обнаружение и захват заранее заданных объектов манипулятором мобильного робота

С.А. Собольников✉, Н.А. Куликов, Д.Д. Подколзин
ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова», Москва, Россия, SASobolnikov@vniia.ru

Automatic detection and capture of predefined objects by the mobile robot manipulator

Sergey A. Sobolnikov✉, Nikita A. Kulikov, Danil D. Podkolzin
The Federal State Unitary Enterprise Dukhov Automatics Research Institute (VNIIA), Moscow, Russia, SASobolnikov@vniia.ru

При ликвидации последствий техногенных аварий часто приходится выполнять операции, связанные с манипулированием объектами. Традиционно такие задачи решаются с помощью дистанционно управляемых роботов с манипуляторами. Однако дистанционное управление существенно снижает функциональные возможности робототехнической системы из-за ограничения рабочей области, задержек радиосигнала, низкой ситуационной осведомленности оператора, «человеческого фактора» и т.д.

Для выполнения поставленной задачи роботу необходимо обнаруживать объекты в пространстве штатными бортовыми средствами – видеокамерами. А также планировать движение шасси и манипулятора с учетом обхода препятствий, определяемых объектами среды и конструктивными элементами робота.

В работе предложена двухэтапная система автоматического захвата объектов манипулятором мобильного робота [1]. На первом этапе система определяет курс и расстояние до объекта по видеоизображению, после чего планирует и реализует траекторию сближения. На втором этапе, когда объект оказывается в рабочей зоне манипулятора, уточняются его положение и ориентация, после чего планируется и реализуется движение манипулятора для захвата объекта.

На каждом из этапов информация об объекте определяется с помощью глубоких сверточных нейронных сетей (ГСНС) [2], которые были обучены на синтетическом наборе данных, что существенно снижает трудоемкость процесса обучения. Этот набор был создан с использованием подходов физического рендеринга (PBR) [3] и случайной вариации параметров (DR)[4].

В основе системы управления манипулятором лежат алгоритмы планирования пути движения на основе случайной выборки [5].

Проведен ряд экспериментальных исследований с использованием робототехнического комплекса, которые подтвердили работоспособность системы, позволили оценить эффективность системы в условиях, приближенных к реальным, а также определить направления дальнейшего усовершенствования.

Литература

1. Собольников С.А., Куликов Н.А. Детектирование и оценка положения удаленныхвертикально расположенных осесимметричных объектов роботом по видеоизображению // Вестник МГТУ «Станкин». – 2024. – № 1 (68). – С. 27–35.

2. Bukschat Y., Vettre M. EfficientPose: An efficient, accurate and

scalable end-to-end 6D multi object pose estimation [Электронный ресурс] / Arxiv // Сборник научных трудов. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/2011.04307, свободный. – (дата обращения: 29.08.2024).

3. Denninger M., et al. BlenderProc [Электронный ресурс] / Arxiv. // Сборник научных трудов. – Режим доступа: https://arxiv.org/abs/1911.01911, свободный. – (дата обращения: 29.08.2024).

4. Tremblay J., Prakash A., Acuna D., Brophy M., Jampani V., Anil C., To T., Cameracci E., Boochoon S., Birchfield S. Training Deep Networks with Synthetic Data: Bridging the Reality Gap by Domain Randomization.2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), 2018, pp. 969-977.

5. Подколзин Д.Д., Собольников С.А. Система планирования движений манипулятора с использованием алгоритмов на основе случайной выборки // Вестник МГТУ «Станкин». – 2023. – № 3 (66). – С. 41–51.

О формировании траектории движения мобильного робота с вращающимися внутренними телами

Д.В. Бордюгов✉, Е.С. Брискин, Н.Г. Шаронов
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ), Волгоград, Россия, dpm@vstu.ru

Благодарности
Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-21-00477, https://rscf.ru/project/24-21-00477/.

The motion trajectory research of the mobile robot with rotating internal bodies

Denis V. Bordyugov✉, Evgeny S. Briskin, Nikolay G. Sharonov
Volgograd State Technical University (VSTU), Volgograd, Russia, dpm@vstu.ru

Acknowledgements
The research was supported by the Russian Science Foundation grant No. 24-21-00477, https://rscf.ru/project/24-21-00477/.

В настоящее время разработка и исследование робототехнических систем с нестандартными принципами приведения в движение является актуальной задачей. Это обусловлено необходимостью их использования для проведения технологических операций на различно ориентированных поверхностях, направляющих произвольного профиля и т.д. [1, 2]. Примером таких типов роботов являются капсульные [3]. Роботы, перемещающиеся за счет движения внутренних масс, также можно рассматривать как механические системы с накладываемыми на них голономными связями, но с реакциями, зависящими от положения внутренних масс. Наглядно явление изменения величин реакций связей проявляется при исследовании движения робототехнических систем, перемещающихся за счет стационарного вращения внутренних тел и дискретного взаимодействия опорных элементов робота с поверхностью.

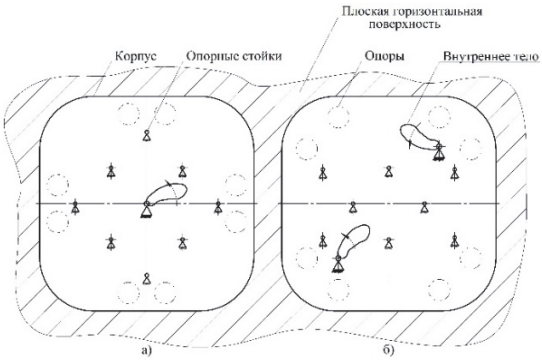


Рисунок 1 — Кинематическая схема мобильного робота: а) с одним внутренним телом; б) с несколькими внутренними телами

Рассматривается модель и метод управления мобильным роботом (см. рис. 1), перемещающимся за счет вращения с постоянной угловой скоростью одного или нескольких тел внутри корпуса вокруг перпендикулярной плоскости оси и стоек, поочередно вступающих в контакт с плоской опорной поверхностью, расположенных на корпусе робота. Решается задача определения алгоритма попеременного взаимодействия опорных стоек с поверхностью, обеспечивающего движение корпуса по плоскости.

Литература

1. Richard, P.L. LineRanger: Analysis and Field Testing of an Innovative Robot for Efficient Assessment of Bundled High-Voltage Powerlines // 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA). - 2019. - pp. 9130-9136.
2. Брискин, Е.С., Шаронов, Н.Г., Серов, В.А., Пеньшин, И.С. Управление движением подводного мобильного робота с якорно-тросовыми движителями // Робототехника и техническая кибернетика. 2018. № 2 (19). С. 39-45.
3. Болотник, Н. Н. Капсульный вибрационный робот с электромагнитным приводом и возвратной пружиной: динамика и управление движением // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. - 2016. - № 6. - С. 146-160.

Планирование движения мобильного робота со смещением исходного центра потенциального поля статичного препятствия

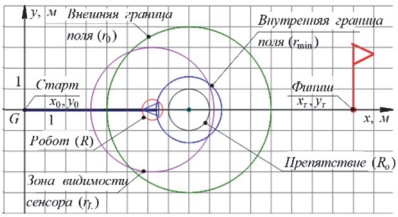
А.М. Кошман✉, А.С. Быков, А.В. Леонард, В.А. Шурыгин
Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ), Волгоград, Россия, qantkoshman@yandex.ru

Motion planning of a mobile robot with a displacement of an initial center of the potential field of a static obstacle

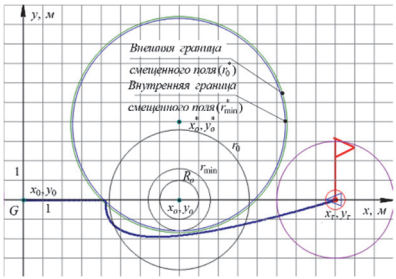
Artyom M. Koshman✉, Aleksandr S. Bykov,
Aleksandr V. Leonard, Victor A. Shurygin
Volgograd State Technical University (VSTU), Volgograd, Russia, qantkoshman@yandex.ru

Для планирования движения мобильных роботов применяются различные методы локального и глобального планирования, отличающиеся своей эффективностью [1]. При реализации алгоритма планирования движения робота (основанного на подходе, предложенном в статьях [2]) могут возникать колебания центра масс робота, негативно влияющие на достижение роботом целевой точки за отведенное время. Колебания центра масс мобильного робота возникают, когда вектор скорости центра масс робота, центр препятствия

и целевая точка «лежат» на одной прямой. С увеличением углового отклонения вектора скорости от указанной прямой, вероятность возникновения многократных колебаний уменьшается. Предлагаемый подход позволяет исключить возникновение колебаний робота (вблизи препятствия), что расширяет область применения указанного метода [2]. Алгоритм смещения исходного центра потенциального поля препятствия состоит из пяти этапов: 1 – проверка пересечения аналитической траекторией робота опасной зоны ($r_{\min}$, см. рис.1а) вокруг препятствия для последующего определения направления смещения; 2 – определение направления смещения центра поля; 3 – расчёт значения максимального смещения $e_{\max}$ центра поля; 4 – расчёт коэффициента смещения k_d; 5 – определение фактического смещения e центра поля.



а) движение без смещения центра поля



б) движение со смещением центра поля

Рисунок 1 — Движение робота при нулевых начальных и конечных линейных скоростях, $y_0 = y_т = y_o = 0$

Для проверки работоспособности предлагаемого алгоритма был модифицирован ранее разработанный программный инструмент моделирования движения мобильного робота в 2D-пространстве. В численных экспериментах (см. рис. 1) сравнивались результаты обхода

статичного препятствия на основе алгоритма без смещения исходного поля и со смещением.

Анализ результатов компьютерного моделирования показывает, что при экстремальных условиях движения робота (вектор скорости центра масс робота, центр препятствия и целевая точка лежат на одной прямой или близко к ней), предлагаемый подход планирования движения со смещением поля позволяет обеспечить обход одного статичного препятствия за отведенное время без многократных колебаний центра масс робота.

Литература

1. Chunxi Cheng, Qixin Sha, Bo He, Guangliang, Path planning and obstacle avoidance for AUV: A review. // Ocean Engineering. – 2021. – Vol. 235. Article 109355.

2. Леонард А.В., Планирование движения наземного робота с обходом стационарного препятствия при заданных: начальных и конечных координатах, скоростях и оперативном времени (VC/APF+BCτI). Ч.1 Теория // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2022. №9(268). С. 34-42.

Классификация препятствий и способы их аппроксимации для задачи обхода статичных препятствий на основе модифицированного метода потенциальных полей

А.С. Быков✉, А.М. Кошман, А.В. Леонард
Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ), Волгоград, Россия, alexanderbs00@mail.ru

Classification of obstacles and ways of their approximation for the task of bypassing static obstacles based on the modified method of potential fields

Aleksandr S. Bykov[1]✉, Artyom M. Koshman[2], Aleksandr V. Leonard[3]
Volgograd State Technical University (VSTU), Volgograd, Russia, alexanderbs00@mail.ru

Для эффективного автоматического функционирования мобильных роботов в недетерминированной среде необходимы алгоритмы обработки данных о среде и их интерпретации. На сегодняшний день существуют различные сенсоры, позволяющие идентифицировать препятствия и определять их тип. Одним из наиболее эффективных сенсоров является LIDAR [1]. Для реализации автоматического синтеза законов движения робота на основе модифицированного метода потенциальных полей (препятствия моделируются окружностями) [2] разрабатывается алгоритм классификации препятствий.

Рассматривается задача классификации препятствий, возникающих на пути робота и их представления в виде одной или нескольких окружностей. В качестве критерия классификации выбрано расположение средневзвешенной точки препятствия относительно самого препятствия. В работе приводятся 3 типа препятствий (см. рис. 1):

- выпуклые препятствия, $L_W > L_{Obst}$;
- вогнутые препятствия, $L_W < L_{Obst}$;
- плоские препятствия, $L_W \approx L_{Obst}$,

где L_W – расстояние между центром LIDAR и средневзвешенной точкой препятствия, L_{Obst} – расстояние между центром LIDAR и точкой на границе препятствия, лежащей на прямой, проходящей через центр LIDAR и средневзвешенную точку.

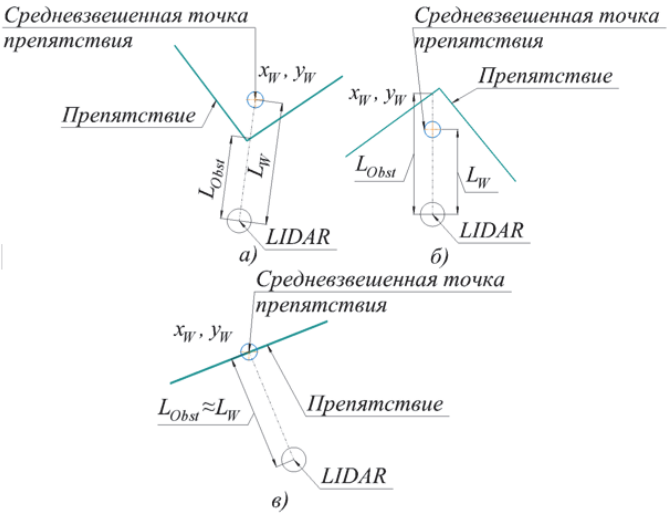
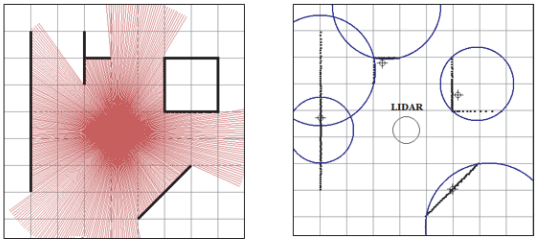


Рисунок 1 — Типы препятствий: а) выпуклое препятствие; б) вогнутое препятствие; в) плоское препятствие

Для каждого типа препятствий предусматривается свой способ аппроксимации в виде одной или нескольких окружностей. Координаты центра окружности и её радиус рассчитываются на основании параметров препятствия (см. рис. 2). Полученные координаты и радиусы могут быть использованы при синтезе законов движения мобильного робота на основе использования модифицированного метода потенциальных полей.



а) Исходное представление препятствий и зона сканирования LIDAR-а

б) Результат классификации и аппроксимации препятствий

Рисунок 2 — Результат сканирования и работы алгоритмов классификации и аппроксимации

Литература

1. Лысенко, А. Ф. Сенсорные системы мобильных роботов / А. Ф. Лысенко, П. Г. Скубак, Е. Д. Роденюк // DISCOVERY SCIENCE RESEARCH: сборник статей VI Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 24 декабря 2020 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская Ирина Игоревна), 2020. – С. 179-184. – EDN YSWVIR.

2. Леонард А. В. Планирование движения наземного робота с обходом стационарного препятствия при заданных: начальных и конечных координатах, скоростях и оперативном времени ($VC/APF+ BC_{\tau}^{I}$). Ч. 1. Теория / А. В. Леонард // Известия ВолгГТУ. Роботы, мехатроника и роботизированные системы, 2022, №9, с. 34-42.

Особенности радиолинии управления роботом-водителем на автомобиле-мишени

С.С. Мырзажанов, А.Ю. Гетманцев, Т.В. Меньшакова
Государственный летно-испытательный центр им. В.П. Чкалова Минобороны, г. Ахтубинск, Россиия, tomamens@mail.ru

Features of the radio control line of a robot driver on a target car

Samat S. Myrzazhanov, Alexey Yu. Getmantsev, Tamara V. Menshakova
Chkalov State Flight Test Center, Ministry of Defense of Russia, Akhtubinsk, Russia, tomamens@mail.ru

Механизация, автоматизация, роботизация — это самые глобальные вехи инженерной мысли. Практическое внедрение передовых прототипов на каждом из этапов предоставляет оригинальные новые или гибридные возможности. Таким примером является преобразование управляемого дистанционно по радиоканалу электромеханического устройства в перспективное роботизированное беспилотное наземное транспортное средство. Вариантов использования полученного технического результата превеликое множество, например, для дистанционного управления автомобилями-мишенями, создаваемых на базе серийных автомобилей с автоматической коробкой передач. Радиоуправление осуществляется либо программно, либо внешним оператором, который находится на достаточном удалении в безопасных условиях. В данной работе рассматривается робот с манипуляторами (электромеханическими приводами), который управляет автомобилем (рис. 1). Основные операции робота-водителя приведены в таблице 1.

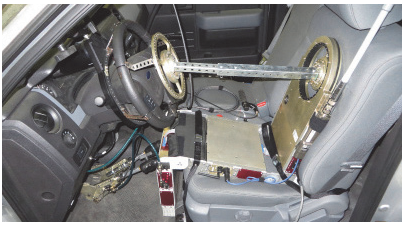


Рисунок 1 — Дистанционно-управляемый робот-водитель

Таблица 1 — Основные операции робота-водителя

Операция	Исполнительное устройство	Минимальное значение	Обычное значение	Максимальное значение
Поворот по кругу по часовой или против часовой стрелки	Руль	-540° (полтора оборота влево)	0° (посередине)	540° (полтора оборота вправо)
Нажатие вперед/отпускание	Педаль газа	0 мм	0 мм	100 мм
Нажатие вперед/отпускание	Педаль тормоза	0 мм	0 мм	100 мм
Смещение вперед-назад	Рычаг автоматической коробки переключения передач (АКПП)	-50 мм (движение назад)	0 мм (стоянка на месте)	50 мм (движение вперед)

Электронно-механическая часть робота-водителя собирается из типовых элементов: микропроцессоров-контроллеров, драйверов исполнительных устройств, самих исполнительных устройств (шаговых двигателей, сервоприводов и линейных актуаторов), устройств обратной связи (энкодеров, угловых или концевых выключателей и т.д.).

Предлагаемое решение экономически выгодно, т.к. стоимость существующих наземных мишеней во много десятков раз превосходит стоимость серийного автомобиля (бывшего в употреблении) с установленной роботизированной системой управления, содержащей типовые относительно дешевые комплектующие.

В конструкцию автомобиля принципиальные изменения не вносятся. Однако при необходимости дополнительно устанавливаются видеокамеры системы регистрации, трекер спутниковой навигационной системы, видеосистема для дистанционного управления, радиотелеметрическая система передачи данных и т.д.

Как ни странно, достаточно сложным элементом в реальных условиях применения становится помехоустойчивый радиоканал с требуемой дальностью.

Обобщая результаты выполненных исследований, можно привести итоговые принципиальные решения по радиоканалу. Канал должен использовать (обеспечивать):

– модульный принцип построения передатчика и приемника;

– поступление команд управления по независимому симплексному радиоканалу [6] в отдельный независимый центральный микропроцессор - контроллер управления исполнительными устройствами;

– широкополосное кодирование методом прямого расширения кода [3] псевдошумовым сигналом (ПШС) в виде М-последовательностями длиной 127 бит [1, 3] для повышения помехоустойчивости;

– относительную фазовую манипуляцию (ОФМ) с когерентным способом приема информации [4-7];

– временное разделение 4 каналов управления: рулем, направлением движения «вперед-назад», педалями газа и тормоза;

– запас мощности передатчика и высокая чувствительность приемника должны обеспечить отношение «сигнал/шум» не менее 30-40 дБ [2];

– достаточно большой радиус прямой видимости (порядка 30 км) обеспечивается антенной передатчика не менее 30 м и антенной приемника порядка 3,5 м;

– пространственный метод разнесения приемных антенн на автомобиле-мишени, при котором антенны разносятся на расстояние около 5 м (диагонально по противоположным углам автомобиля), для борьбы с многолучевостью и вызванными ей замираниями [3].

Анализ существующих типов радиосистем [4, 7] показал, что лучшим решением построения является следующая структурная схема радиосистемы передачи команд управления (рис.2):

а) передающая часть:

– пульт управления роботом-водителем – источник аналоговых сигналов по четырем параметрам;

– АЦП по четырем каналам с канальными ключами (КК);

– формирователь служебной информации (ФСИ), содержащей кадровые синхроимпульсы;

– устройство объединения информации (УОИ), в котором соединяется информационный сигнал со служебным;

– генератор тактовых импульсов (ГТИ);

– умножитель частоты на 127 для синхронизации ПШС-кодера и ПШС-генератора;

– ПШС-генератор;

– ПШС-кодер;

– ОФМ-кодер;

– высокочастотная часть передатчика (далее - ВЧ ПРД);
– антенна;

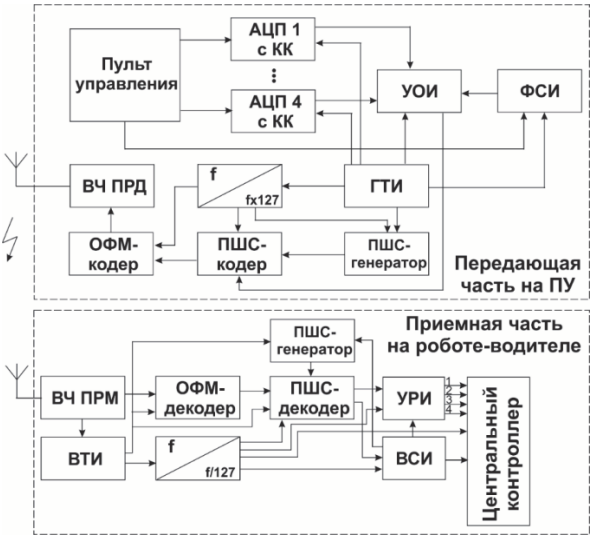


Рисунок 2 — Структурная схема радиосистемы управления роботом-водителем

б) приемная часть:
– антенна;
– высокочастотная часть приемника (ВЧ ПРМ);
– ОФМ-декодер;
– выделитель тактовых импульсов (ВТИ);
– делитель частоты на 127 для синхронизации кодера ПШС и последующих низкочастотных трактов;
– ПШС-генератор;
– ПШС-декодер;
– устройство разделения информации (УРИ);
– выделитель служебной информации (ВСИ).

Оконечным потребителем принятой информации выступает центральный контроллер робота-водителя автомобиля-мишени.

Таким образом, повышая степень автоматизации и роботизации, можно сократить сроки подготовки и повысить качество и безопасность стрельб при помощи автомобилей-мишеней. Другие варианты реализации - роботизация любых различных серийно выпускаемых узлов, транспортных средств и механизмов.

Литература

1. Кассами Т.И. и др. Теория кодирования. – М.: Мир, 1976.
2. Коптев Г.И, Панина Т.А. Расчет и конструирование транзисторных передатчиков. - М.: Изд. МЭИ, 1977 г.
3. Мазурков М.И. Системы широкополосной радиосвязи: учебн. Пособие для студ. вузов – Одесса.: Наука и техника, 2009. – 344 с.
4. Проектирование радиоприемных устройств. Под ред. А.П.Сиверса. Учебное пособие для вузов. М., «Советское радио». 1976.
5. Садомовский А.С. Радиосистемы передачи информации: Учебное пособие. Ульяновск, УлГТУ, 2001, 104 с.
6. Тепляков И.М. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: Учеб, пособие. ISBN 5-256-01720-9. - М.: Радио и связь, 2004. – 328 с.: ил.
7. Тепляков И.М., Рощин Б.В., Фомин А.И. Радиосистемы передачи информации. - М: Радио и связь, 1982.

Роботизация сельскохозяйственных операций в поле

И.В. Гурин, Е.О. Гаранин, К.А. Николаев
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия, midwai61rus@gmail.com, Egaranin@donstu.ru, kostya2003rus@gmail.com

Благодарности
Выражаем благодарность Министерству науки и высшего образования РФ за поддержку проекта «Формирование комплекса технологических решений по модернизации разработанной электрической платформы под существующие агротехнологические требования применяемого на платформе навесного оборудования» (FZNE-2024-00021).

Robotization of agricultural operations in the field

Ilya V. Gurin, Evgeniy O. Garanin, Konstantin A. Nikolaev
Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia, midwai61rus@gmail.com, Egaranin@donstu.ru, kostya2003rus@gmail.com

Acknowledgements
We express our gratitude to the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for the support of the project «Formation of a

set of technological solutions for modernization of the developed electric platform to meet the existing agro-technological requirements of the attachments used on the platform» (FZNE-2024-00021).

В настоящее время сельскохозяйственная отрасль сталкивается с такими серьезными вызовами, как продовольственный и энергетический кризисы, рост населения, изменение климата, нехватка рабочей силы и риск пандемических заболеваний. По прогнозам специалистов, численность населения планеты увеличится с 7,9 миллиарда человек в 2022 году до 10 миллиардов в 2050 году. В связи с ростом населения земли неизбежно обостряется вопрос удовлетворения возрастающей потребности населения планеты в продуктах питания, что в свою очередь повышает требования к урожайности и эффективности сельскохозяйственных работ. Ожидается, что сельскохозяйственное производство так же сохранит тенденции к росту инвестиций в агротехническом направлении [1]. Между тем, согласно исследованиям [2], имеются тенденции оттока работников сельского хозяйства в другие отрасли, в результате чего это приведет к возрастанию среднего возраста фермеров, а значит к нехватке рабочей силы, задействованной в сельском хозяйстве.

В настоящее время роботы широко используются в таких промышленных областях, как обработка материалов, транспортировка и контроль качества. Сельскохозяйственные роботы представляют собой автономные машины, позволяющие повысить урожайность, уменьшить зависимость от рабочей силы и повысить общую производительность [3]. Легкие, малогабаритные сельскохозяйственные роботы могут уменьшить ущерб, который наносится почве тяжелой сельскохозяйственной техникой. Для популяризации использования сельскохозяйственных роботов и повышения доли их использования фермерскими хозяйствами следует акцентироваться на разработке малых сельскохозяйственных роботов. Актуальные научные статьи по данной тематике зачастую посвящены разработке малогабаритных роботов. В [4] рассмотрена возможность использования мультисенсорной платформы для построения карт местности для мобильной роботизированной платформы. Информация о местности имеет решающее значение для системы навигации, поскольку она может быть использована для улучшения координации и управления роботом, повышения эффективности использования топлива и уменьшения эффекта уплотнения почвы.

Роботы могут заменить человека и повысить эффективность при выполнении сложных и рутинных задач, например, мониторинг и контроль окружающей среды и урожая, уход и лечение. Кроме того, использование роботов в сельском хозяйстве может сократить эксплуатационные расходы и время выполнения сельскохозяйственных работ. Еще одной причиной использования сельскохозяйственных роботов является улучшение качества и производительности работ. Рыночный спрос от Агроиндустрии и появляющиеся более совершенные технологии, делают разработку сельскохозяйственных роботов актуальной задачей, при чем для большего числа целей, включая сбор овощей и фруктов с более высокой точностью и производительностью.

Для того, чтобы определить перспективные направления развития малых сельскохозяйственных автономных платформ необходимо проанализировать существующие исследования и разработки в данной области. В настоящее время исследовательские работы по сельскохозяйственной робототехнике, охватывающие широкий спектр сельскохозяйственных операций. В основном выполняются операции по уборке плодов овощей и фруктов, оценке урожайности, прополке, опрыскиванию, построению карт плодородности.

Научным коллективом «Ресурсного Центра Робототехники ДГТУ» и НИЛ «ИЭСМиК» проводятся исследования по данной тематике в рамках выполнения государственного задания на создание электрической сельскохозяйственной платформы. В данный момент были проведен анализ существующих решений и принято решение разрабатывать универсальную сельскохозяйственную платформу, которая представляет из себя полноприводного четырехколесного робота с поворотными осями колес, данный робот представлен на рисунке 1.

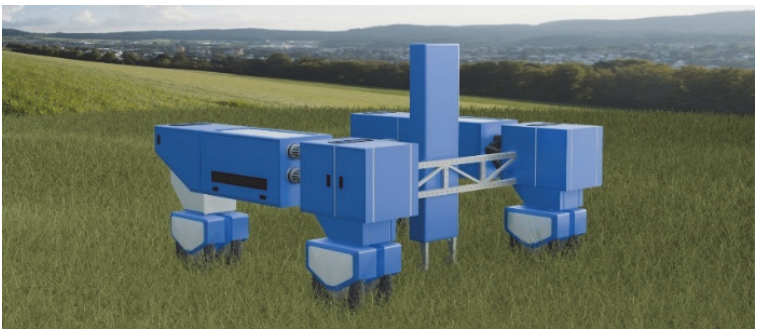


Рисунок 1 — Рендер универсальной сельскохозяйственной платформы

Литература

1. Шалова Сатаней Хаутиевна, Загазежева Оксана Зауровна Обзор рынка сельскохозяйственных роботов и их влияние на экономическое развитие // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. №7 (209). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-rynka-selskohozyaystvennyh-robotov-i-ih-vliyanie-na-ekonomicheskoe-razvitie (дата обращения: 29.10.2023).
2. Miyake, Y.; Kimoto, S.; Uchiyama, Y.; Kohsaka, R. Income Change and InterFarmer Relations through Conservation Agriculture in Ishikawa Prefecture, Japan: Empirical Analysis of Economic and Behavioral Factors. Land 2022, 11, 245.
3. Шаныгин Сергей Витальевич Роботы, как средство механизации сельского хозяйства // Известия вузов. Машиностроение. 2013. №3. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/roboty-kak-sredstvo-mehanizatsii-selskogo-hozyaystva (дата обращения: 29.10.2023).
4. Milella, A.; Reina, G.; Nielsen, M. A multi-sensor robotic platform for ground mapping and estimation beyond the visible spectrum. Precis. Agric. 2019, 20, 423–444.

Система навигации для испытаний беспилотных наземных робототехнических комплексов

Г.М. Исраелян✉, Е.О. Гаранин, А.А. Назаров

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ФГБОУ ВО ДГТУ), Ростов-на-Дону, Россия, Israelyan-harry@mail.ru

Благодарности

Выражаем благодарность Министерству науки и высшего образования РФ за поддержку проекта «Формирование комплекса технологических решений по модернизации разработанной электрической платформы под существующие агротехнологические требования применяемого на платформе навесного оборудования» (FZNE-2024-00021).

Navigation system for testing unmanned ground-based robotic systems

Harry M. Israelyan✉, Evgeny O. Garanin, Alexander A. Nazarov
Don State Technical University (DSTU), Rostov-on-Don, Russia, Israelyan-harry@mail.ru

Acknowledgements
We express our gratitude to the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation for supporting the project «Formation of a complex of technological solutions for the modernization of the developed electric platform to meet the existing agrotechnological requirements of the attachments used on the platform» (FZNE-2024-00021).

На сегодняшний день высокая актуальность сохраняется за автономными робототехническими системами. Речь идет о беспилотниках общего и специального назначения. Все больше исследователей участвует в разработке и исследовании беспилотных наземных транспортных средств (НТС), сфера применения которых ориентирована на городскую среду. Немаловажными, также, являются отрасли специального назначения: сельскохозяйственная, горнодобывающая, логистическая и другие актуальные для внедрения сферы. Согласно стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, на период до 2030 года предусматривается создание автомобилей с интеллектуальными системами, автопилотами до 4-ого уровня автономности [1].

Система, описанная в данной работе, разрабатывалась для участия в открытых испытаниях беспилотных транспортных систем (БТС). Основная концепция заключается в модернизации и дооснащении серийных автомобилей роботизированным комплексом, обеспечивающим движение без участия водителя на этапе тестирования техники на полигоне, не применяя существенных конструктивных изменений [2]. Испытания имеют несколько заданий. Полигон основного этапа испытаний представляет из себя грунтовую дорогу в форме дуги протяженностью около 200 метров с расположенными на ней статичными препятствиями в виде бочек и барьеров высотой более 0.5м. По бокам дороги установлены ограждения по всей длине.

Первичная задача транспортного средства - достигнуть конца участка и вернуться в зону старта-финиша, объезжая все препят-

ствия. Вторичные задания включают: движение по полигону с соблюдением требований дорожного движения, параллельная парковка, перпендикулярная парковка задним ходом.

В качестве платформы для развертывания высокоуровневой системы управления на роботе установлен компьютер с процессором Intel i7 12 поколения с интегрированной графической картой и 16 гб оперативной памяти под управлением операционной системы Ubuntu 22.04.03 LTS (Jammy Jellyfish).

Все электромеханические узлы для взаимодействия с рабочими органами автомобиля (педали, МКПП, руль) оснащены блоками управления на базе микроконтроллера STM32 и связаны с бортовым компьютером по CAN шине (см. рис. 1).

Для локализации и позиционирования БТС оснащено глобальной и инерциальной навигационными системами. Установлены датчики колесной одометрии: датчики скорости задних колес, датчик угла поворота рулевого вала [3].

Для распознавания препятствий и картостроения на переднем и заднем бампере установлены стереокамеры.

Рисунок 1 — Аппаратное оснащение беспилотной системы

Программное обеспечение развернуто внутри фреймворка для роботов ROS2 Humble. Он содержит основные подпрограммы (ноды) для связи с микроконтроллерами нижнего уровня, преобразования и обработки данных, поступающих с сенсорных систем робота, получения данных с пользовательского интерфейса и основные программные модули для навигации, картостроения, построения траектории движения и преобразования их в исполнительные параметры (см. рис. 2).

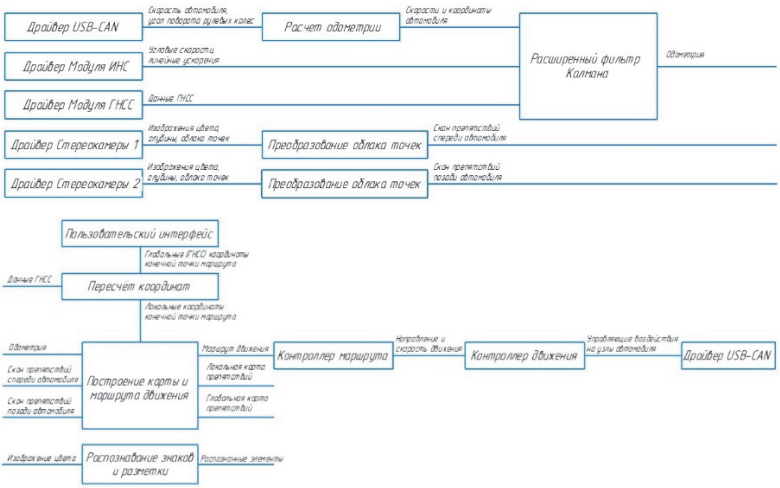


Рисунок 2 — Структура программного обеспечения верхнего уровня

Разработанная система была протестирована на подготовленном виртуальном полигоне в среде симуляции GZ SIM. В результате тестов робот выполнял все требуемые задачи. Это позволило устранить возникающие недостатки, связанные с построением маршрута при выполнении маневров на дороге, а также увеличить быстродействие системы путем переработки структуры некоторых алгоритмов до проведения первых полевых испытаний на серийном транспортном средстве.

Литература

1. О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: указ Президента РФ от 28.02.2024 № 145 // Официальный интернет-портал правовой информации. 2024. 28.02.

2. РобоКросс Полевые испытания беспилотных робототехнических систем. / [Электронный ресурс] // russianrobotics : [сайт]. — URL: https://www.russianrobotics.ru/competition/robocros/ (дата обращения: 30.08.2024).

3. Системы автоматизации транспортных средств / И. Н. Ефременко, В. Е. Большев, Е. О. Гаранин [и др.]. – Ростов-на-Дону : Донской государственный технический университет, 2022. – 129 с. – ISBN 978-5-7890-2082-1. – EDN IMHSUY.

Управление с использованием скользящего режима для мобильной платформы в экстремальных условиях

Ч.А. Фам[1]✉, С.И. Неделчев[1,2]
[1]Автономная некоммерческая организация высшего образования «Университет Иннополис», г. Иннополис, Россия, c.fam@innopolis.university
[2]ПАО «Сбербанк», Центр Робототехники, Москва, Россия

Sliding mode control for mobile platforms in extreme environments

Cham An Fam[1]✉, Simeon I. Nedelchev[1,2]
[1]Autonomous noncommercial organization of higher education «Innopolis University», Innopolis, Russia, c.fam@innopolis.university
[2]PJSC «Sberbank», Robotics Center, Moscow, Russia

Нелинейные системы характерны тем, что их выход не пропорционален изменению на входе. Упрощение таких систем с помощью линеаризации не всегда эффективно, так как многие нелинейные эффекты остаются неучтенными, что может привести к непредсказуемому поведению. Также в системах, работающих в экстремальных режимах (например, при больших ускорениях или высоких скоростях), линеаризованная модель может привести к нестабильности или неправильным решениям. Поэтому важно изучать динамику нелинейных систем, а также синтезировать соответствующие алгоритмы управления, особенно для мобильных платформ, промышленных манипуляторов и других роботов, работающих в экстремальных условиях или при движении на пределе своих динамических возможностей.

Управление нелинейными механическими системами достаточно хорошо изучено в современной робототехнике [1], [2]. Проявление интереса к данной области исследования вызвано несколькими причинами. Во-первых, мотивация изучения связана с желанием добиться стабильного управления в условиях неопределенности. Например, добавление нагрузки на манипулятор [3] может снизить точность модели, а также точность отслеживания. Во-вторых, системам свойственно наличие внешних возмущений (которые обычно неизвестны, однако известны границы неопределенности [4]), таких, как скорость порывов ветра или скорость течения воды. Эти параметры также следует учитывать при моделировании си-

стемы. В-третьих, существует неопределенность во входных данных, например, шум в измерениях, и эту неопределенность также необходимо учитывать [5].

Динамические системы в робототехнике обычно представляются в виде уравнения Эйлера-Лагранжа в следующей форме:

$$M(q)\ddot{q} + h(q, \dot{q}) = u$$

где $q, \dot{q}, \ddot{q}$ – обобщенные координаты, скорости и ускорения, соответственно, $M(q) \in R_{n \times n}$ – положительно определенная матрица инерции, $h(q, \dot{q}) \in R_n$ включает кориолисовы и гравитационные эффекты, u – входное управление.

Благодаря линейному свойству параметров модели уравнение Эйлера-Лагранжа можно записать в так называемой форме регрессора [6]:

$$Y(q, \dot{q}, \ddot{q})(p + \delta p) = u$$

где $Y(q, \dot{q}, \ddot{q})$ – матрица регрессора, а p – вектор параметров, δp – член неопределенности, который противодействует неопределенности в системе. Представление в виде регрессора упрощает расчет и синтез управления, а также позволяет представлять параметрическую неопределенность в явном виде.

В данной работе разработан алгоритм управления мобильной платформой, обеспечивающий надежное функционирование в экстремальных условиях. Оценка результатов алгоритма проведена посредством симуляции, что позволит оценить его поведение и производительность в различных условиях эксплуатации. Разработанный алгоритм способен улучшить дистанционное управление роботами в неблагоприятных условиях.

Литература

1. Афанасьев, В. Н. Управление нелинейными неопределенными динамическими объектами / В. Н. Афанасьев. – Москва : Ленанд, 2020. – 224 с. – ISBN 978-5-9710-7383-3.

2. Nedelchev S. Enhanced Adaptive Control over Robotic Systems via Generalized Momentum Dynamic Extensions / S. Nedelchev, L. Kozlov, R. R. Khusainov, I. Gaponov // Russian Journal of Nonlinear Dynamics. – 2023. – vol. 19. – no. 4. – pp. 633-646.

3. Xu, Y. Learning Control for Flexible Manipulators with Varying Loads: A Composite Method with Robust Adaptive Dynamic Programming

and Robust Sliding Mode Control / Y. Xu, X. Wang, L. Wang, K. Wang, L. Ma // Electronics. – 2022. – vol. 11, 956.

4. Design and Input Allocation for Robots with Saturated Inputs via Genetic Algorithms / M. Furci, D. Bicego, A. Franchi. // International Federation of Automation Control. – 2018, – vol. 51 (22), pp. 459-464. – URL: https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.591.

5. Min H. Adaptive Tracking Control for Stochastic Nonlinear Systems with Full-State Constraints and Unknown Covariance Noise / H. Min, S. Xu, X. Yu, S. Fei, G. Cui // Applied Mathematics and Computation. – 2020. – vol. 385. – pp. 1-11.

6. Hayat R. Model identification for robot manipulators using regressor-free adaptive control / R. Hayat, M. Buss // 2016 UKACC 11th International Conference on Control. – Belfast, UK : Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2016. – pp. 1-7.

Расширение функциональных возможностей мобильных сервисных роботов на гусеничной платформе

В.Е. Пряничников[1,2,3] ✉, А.А. Арыскин[2], Ю.С. Колесов[1], А.Я. Ксензенко[2], С.В. Кувшинов[3], К.Ю. Начинкин[2], А.В. Плотников[1,2], А.В. Снопков[2], М.Д. Соловьёва[1], А.И. Телегин[2], Д.С. Тележкин[1], А.Н. Тихомиров[3], Д.К. Федотов[2], К.В. Харин[3], Р.В. Хелемендик[1], Е.В. Хрисанфов[2], В.В. Ястребов[1]

[1]Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН), Москва, Россия, v.e.pr@yandex.ru
[2]ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Москва, Россия, v.e.pr@yandex.ru
[3]Международный институт новых образовательных технологий РГГУ, Москва, Россия, v.e.pr@yandex.ru

E Expanding the functionality of mobile service robots on a tracked platform

Valentin E. Pryanichnikov[1,2,3]✉, Alexander A. Aryskin[2],
Yury S. Kolesov[1], Alexandr Ya. Ksenzenko[2],
Sergey V. Kuvshinov[3], Konstantin Yu. Nachinkin[2],
Yury S. Kolesov[1], Alexey V. Snopkov[2], Maria D. Solovyova[1],
Alexander I. Telegin[2], Dmitriy S. Telezhkin[1],
Alexey N. Tikhomirov[3], Dmitriy K. Fedotov[2],
Konstantin V. Kharin[3], Roman V. Khelemendik[1],
Evgeny V. Khrisanfov[2],Vyacheslav V. Iastrebov[1]

[1]Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences (KIAM RAS), Moscow, Russia, v.e.pr@yandex.ru

[2]MSTU Stankin, Moscow, Russia, v.e.pr@yandex.ru

[3]International Institute of New Educational Technologies Moscow, Russia, v.e.pr@yandex.ru

При разработке мобильных сервисных роботов и робототехнических комплексов (МСР) большое значение имеет дистанционное сенсорное взаимодействие с объектами внешней среды и соответствующая интеллектуализация систем управления (СУ), расширяющая функциональные возможности, в том числе улучшение взаимодействия с операторами и персоналом, включая обеспечение возможности исполнения даже недостаточно конкретизированных заданий, ориентирование по голосу людей, перемещение или обслуживание объектов, транспортировка, физическая поддержка пациентов в госпиталях и предоставление им руководств или информации, уход, уборка и т.п. Для этого требуется реализовать алгоритмы следования по предварительно заданному маршруту, указанному маркерами или внешними командами управления, в том числе для решения логистических задач. Аналогичные проблемы решаются и для задач промышленной автоматизации. В рамках проекта «Интеллектуальная роботроника» нами разрабатывались гусеничные МСР различного назначения, транспортные промышленные роботы и комплекты цеховой автоматики, СУ подводным шагающим аппаратом, а также решались проблемы интеллектуализации СУ МСР, опираясь на результаты этих наших разработок.

В работе рассмотрены особенности применения дистанционных сенсоров, в которых среда распространения сигналов вносит существенные искажения и задержки. Для их компенсации разрабатывались математические модели ультразвуковой локации, цифровые двойники, на которых тестировались алгоритмы и проводилось обучение в Международном институте новых образовательных техно-

логий РГГУ. Рассмотрены характерные интервалы времени получения данных: круговой скан лидара считывается за 80-110 мс, цикл обновления изображений от видеокамеры — 40 мс, ультразвуковые и ИК дальномеры дают измерения за 90-140 мс и 25 мс. Таким образом, при скоростях перемещения МСР до 1,7 м/с обновление показаний всех сенсоров происходит не более чем за 150 мс, поэтому характерное время цикла управления (обновления команд в СУ) выбрано равным 100 мс, при этом робот перемещается на расстояние до 10см. Если ориентироваться на маломощный бортовой микропроцессор типа Расбери, то экстраполяция и интерполяция показаний всех сенсоров должная укладываться в 0.1 с, обеспечивая предсказание положения робота минимум на 10 см вперёд (см. также [1-5]). Для обеспечения этого были предложены [4] рекуррентные скользящие фильтры, которые при реализации на микропроцессоре занимают лишь несколько арифметических операций для выдачи очередных показаний. Эти фильтры совмещаются с работой следящей системы, что позволяет избежать искажений управляющих воздействий при минимуме вычислений. Для идентификации объектов популярны нейронные сети (НС), которые, хотя и используют значительные ресурсы, но могут обеспечить высокие скорости обработки. Остановимся на использовании нами НС с сокращенной базой, для обеспечения их работы на маломощных нетбуках и микропроцессорах. Показания сенсоров пропускаются через алгоритм свертки в 2D изображения для использования нейросетевой технологии при идентификации объектов [1]. Проведенные эксперименты по оценке процедур согласования частот опроса сенсоров и цикла управления за счет экстраполяции и интерполяции данных, показали возможность обеспечения реального времени в СУ МСР и минимизацию вычислений. При этом все основные программно-аппаратные решения СУ МСР могут реализовываться на наиболее распространенных микропроцессорах.

Литература

1. Пряничников В.Е., Ястребов В.В. Способ свёртки изображений для последующей идентификации объектов сервисными роботами / Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе, науке, образовании, медиа и в других областях: XVI ежегодная научно-практической конференция. Материалы и доклады, часть II // Под общей редакцией О.Н. Раева. — Москва : ИПП «КУНА», 2024 С.128-135, (УДК 681.5 ББК 32.965), ISBN 978-5-98547-148-9, https://www.rsuh.ru/education/minot/conf_3d-2024.php

2. Давыдов О.И., Пряничников В.Е. Архитектура системы управления мобильного сервисного робота. //Информационно-измерительные и управляющие системы, №7, т.13, 2015, стр.41-50.

3. Davydov D.V., Eprikov S.R., Kirsanov K.B., Pryanichnikov V.E. (2017). Service Robots Integrating Software and Remote Reprogramming, Proceedings of the 28th DAAAM International Symposium, pp.1234-1240, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-11-2, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria DOI: 10.2507/28th.daaam.proceedings.172.

4. Пряничников В.Е. Совмещение фильтрации ультразвуковых данных и программного управления линейным приводом / Пряничников В.Е.// Приборы+автоматизация. − 2008. − № 12. − С. 22−29.

5. Aryskin, A[leksander] & Pryanichnikov, V[alentin] (2022). Creation of Technology for Building Automated Production With Remote Control (Industry 4.0 Concept), Proceedings of the 33rd DAAAM International Symposium, pp.0279-0284, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978- 3-902734-36-5, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria DOI: 10.2507/33rd.daaam.proceedings.038.

6. Н.Г. Шаронов, В.Е. Пряничников, Н.В. Коломин, М.Ю. Ветлицын. Методы управления двигателями мобильного робота с кинематически связанными цикловыми шагающими движителями / известия ВолгГТУ, Серия Роботы, мехатроника и робототехнические системы. Волгоград: ВолгГТУ, 2024, № 4 (287), С.88-94, ISSN 1990-5297, DOI 10.35211/1990-5297-2024-4-287-88-94 (УДК 621.865.8).

7. В.Е. Пряничников, А.А. Арыскин, Ю.С. Колесов, А.Я. Ксензенко, С.В. Кувшинов, А.В. Плотников, М.Д. Соловьёва, Р.Б. Тарасов, Д.С. Тележкин, Д.К. Федотов, К.В. Харин, В.В. Ястребов. КОМПЛЕКС БАЗОВЫХ СЕНСОРНО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ МОБИЛЬНЫХ СЕРВИСНЫХ РОБОТОВ. - XVI Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2023): материалы мультиконференции (г. Волгоград, 11–15 сентября 2023 г.). В 4 т. Т. 1. Робототехника и мехатроника (РиМ-2023) / редкол.: И. А. Каляев, В. Г. Пешехонов, С. Ю. Желтов [и др.]. – Волгоград: ВолгГТУ, 2023. – 308 с., С.204-207, ISBN 978-5-9948-4703-9 ISBN 978-5-9948-4704-6 (Т. 1) https://www.elibrary.ru/query_results.asp

8. Pryanichnikov, V[alentin]; Mariia, S[oloveva]; Chernyshev, V[adim] & Kalinin, Y[aroslav] (2023). Analysis and Modernization of the Dual Manipulator of Service Robots, Proceedings of the 34th DAAAM International Symposium, pp.0324-0329, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-41-9, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria DOI: 10.2507/34th.daaam.proceedings.043.

9. Yastrebov, V[yacheslav]; Pryanichnikov, V[alentin]; Chernyshev, V[adim] & Sharonov, N[ikolay] (2023). Approaches to Implementation of the 3D Laser Scanning to Ensure the Search and Docking of Autonomous Underwater Robots with a Walking Base, Proceedings of the 34th DAAAM International Symposium, pp.0035-0039, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-41-9, ISSN 1726

10. -9679, Vienna, Austria DOI: 10.2507/34th.daaam.proceedings.005

Обработка доплеровских сигналов от движущихся объектов на малых расстояниях

А.Я. Ксензенко[2]✉, В.Е. Пряничников[1], В.В. Ястребов[1]
[1]Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН), Москва, Россия
[2]ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» (ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»), Москва, Россия, a_ksenzenko@bk.ru

Processing of Doppler signals from moving objects at short distances

Alexander Y. Ksenzenko[2]✉, Valentin E. Prianichnikov[1], Viatcheslav V. Iastrebov[1]
[1]Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences (KIAM RAS), Moscow, Russia
[2]Moscow State University of Technology «STANKIN», Moscow, Russia, a_ksenzenko@bk.ru

Работа посвящена исследованию спектров доплеровских сигналов, отражаемых от движущихся объектов, окружающих мобильные роботы, в том числе в экстремальных средах. Внимание сосредоточено на идентификации объектов, которые трудно идентифицировать другими способами на расстояниях более 50м. Подвижные объекты, находящиеся в зоне контроля, имеют каждый свой характерный доплеровский спектр. Поэтому исследованию должны подвергаться все

без исключения объекты, могущие попасть в контролируемое пространство. Наличие библиотеки таких доплеровских спектров дает возможность эффективно выделять интересующий сигнал на фоне помех, хотя и известна давно [3-7], но реализация этого для достаточно ограниченных ресурсов мобильных сервисных роботов не очевидна.

Исследования записей доплеровских спектров самых различных подвижных объектов в том числе и помех в реальных условиях была проведена на экспериментальной установке, электрическая схема которой представлена на рисунке 1. Установка состоит из следующих основных частей:

– антенного узла, состоящего из генератора непрерывных СВЧ колебаний частотой 10525 МГц мощностью 40 мВт, создающего поле подсветки;

– совмещенной рупорной антенны круговой поляризации для излучения и приема сигнала;

– СВЧ циркулятора на базе двойного турникетного сочленения для развязки передающего и приемного трактов;

– СВЧ смесителя, реализующего функцию выделения разности частот излученного и принятого колебания, содержащего информацию о скорости движущегося объекта.

Доплеровский сигнал полученный на смесительном диоде контролируется и записывается в полевых условиях на регистратор, его частотный диапазон занимает полосу звукового сигнала (рис. 1). Дальнейший анализ записанных доплеровских сигналов проводился с помощью низкочастотного анализатора спектра с высокой до единиц герц разрешающей способностью.

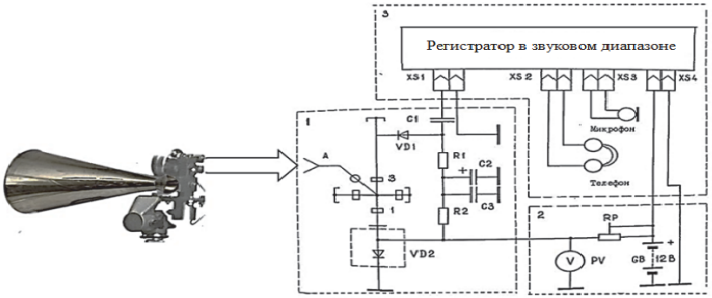


Рисунок 1 — Лабораторная установка для анализа спектра доплеровского сигнала различных движущихся объектов и помех в натурных условиях

Были исследованы спектры доплеровских сигналов как от вероятных движущихся в зоне контроля объектов, так и от некоторых мешающих факторов.

В частности, исследованы:

– Доплеровский сигнал, соответствующий движению шагом одиночного человека со скоростью 6 км/ч;

– Доплеровские сигналы от двух одновременно двигающихся автомобилей: со скоростью 43 км/ч и со скоростью 51 км/ч;

– Спектр доплеровского сигнала от пролетающего голубя со скоростью порядка 15 км/ч;

– Для исследования помех, обусловленных движениями листвы на деревьях (тополь высотой 18 метров) под действием бокового ветра были проведены записи фонограмм в условиях слабой ветрености в порывах до 5 м/с;

– Исследованы спектры помех от вибрации проводов высоковольтных линий электропередач. Установлено, что сигнал доплеровской помехи от проводов, ориентированных перпендикулярно направлению изучения по мощности незначителен по сравнению с другими сопутствующими сигналами помех. Доплеровский сигнал от вибрации проводов, ориентированных вдоль направления излучения отсутствует.

Рассмотренные спектры доплеровских сигналов достаточно узнаваемы, каждому движущемуся объекту соответствует свой характерный вид спектра доплеровского сигнала. Это касается как доплеровских сигналов от самых исследуемых объектов, так и от различных мешающих факторов. Их анализ положен в основу алгоритма обработки обнаруженных доплеровских сигналов при автоматизированной идентификации приближающихся объектов и принятии рекомендаций о способе воздействия на них.

При необходимости организации протяженного поля облучения СВЧ подсветки контролируемого пространства возможно использование одновременно нескольких источников, но при этом частоты их должны быть строго одинаковыми, должна быть организована взаимная синхронизация. Определение направления на лоцируемый объект обеспечивается применением остронаправленных приемных антенн.

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили гипотезу о возможности применения простых доплеровских систем для различения объектов на расстоянии нескольких десятков метров, что позволяет существенно расширить возможности разрабатываемых нами мобильных роботов [1, 2].

Литература

1. Pryanichnikov, V[alentin]; Ksenzenko, A[lexander] & Plotnikov, A[leksey] (2022). Development of the Intelligent Robotic Systems, Proceedings of the 33rd DAAAM International Symposium, pp.0029-0033, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-978-3-902734-36-5, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria DOI: 10.2507/33rd.daaam.proceedings.005
2. Давыдов О.И., Пряничников В.Е. Архитектура системы управления мобильного сервисного робота. //Информационно-измерительные и управляющие системы, №7, т.13, 2015, стр.41-50. В.Е. Пряничников. Дистанционные сенсоры в составе систем управления движением мобильных роботов. − Информационно-измерительные и управляющие системы, М.: Радиотехника, №1, 2008, с.5-18
3. Ксензенко А.Я. Измерение скорости объектов, движущихся вблизи протяженной отражающей поверхности. Измерительная техника, 1984, № 3, с. 34 – 35.
4. Майземс Е.Н., Торгованов В.А. Измерение характеристик рассеяния радиолокационных целей / Под ред. М.А. Колосова, - М.: Сов. Радио 1972. - 232.
5. Харкевич А.А. Спектры и анализ. – М.: Физматгиз, 1962.
6. Мартынов В.А., Селихов Ю.И. Панорамные приемники и анализаторы спектра. – 2-е изд. - М.: Сов. радио 1980. – 352 с.
7. Небабин В.Г., Сергеев В.В. Методы и техника радиолокационного распознавания. М.: Радио и связь, 1984. – 208 с.

Применение кинетостатического анализа при прогнозировании результатов движения мобильного робота

А.В. Плотников[1]✉, В.И. Пряничников[1,2], К.Ю. Начинкин[2]

[1]Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН), Москва, Россия

[2]ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» (ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»), Москва, Россия, plotnikov.workmail@yandex.ru

Usage of kinetostatic analysis in predicting the results of the movement of a mobile robot

Aleksei V. Plotnikov[1]✉, Valentin E. Prianichnikov[1,2], Konstantin Yu. Nachinkin[2]

[1]*Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences (KIAM RAS), Moscow, Russia*

[2]*Moscow State University of Technology «STANKIN», Moscow, Russia, plotnikov.workmail@yandex.ru*

Одной из функций мобильных [1] сервисных роботов различный конструкций является оперирование объектами в пространстве с использованием встроенного в робот манипулятора.

К конструктивным факторам, препятствующим выполнению мобильным роботом с манипулятором, можно отнести предел насыщения приводов манипулятора робота и возможность опрокидывания робота. Определить допустимые моменты на приводах манипулятора робота можно с помощью решения обратной задачи динамики.

Для мобильных роботов известен критерий устойчивости, предложенный Д.Е Охоцимским, Ю.Ф. Голубевым и В.Е. Пряничниковым [2-4].

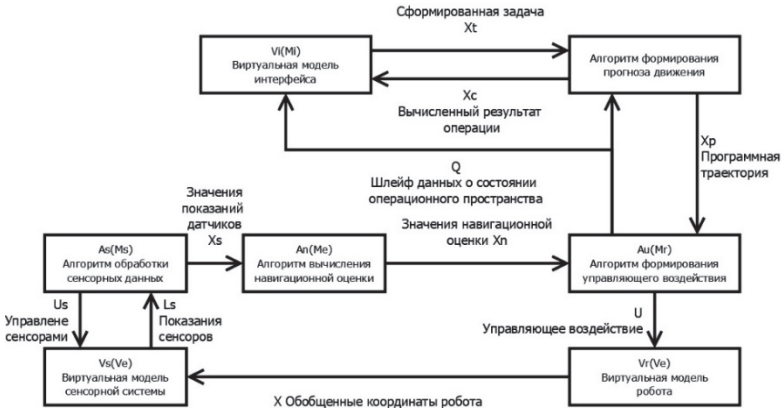


Рисунок 1 — Структура информационно управляющих процессов в мобильном роботе с включенным блоком прогноза результатов движения

Анализ динамики возможно выполнить не только с помощью сторонних систем [5] или уравнений Лагранжа [6, 7]. Но и принципа основанного на уравнениях кинетостатики [8].

Основываясь на уравнениях кинетостатики, возможно сформировать систему управления [9] (рис. 1), которая бы обеспечивала увеличения запаса устойчивости при выполнении операций захвата мобильным роботом путем управления движением манипулятора и использованием дополнительного ускорения платформы для увеличения запаса устойчивости (рис. 2).

Литература

1. Васильев А. В, Лопота А. В. Уточнение типоразмерных групп наземных дистанционно управляемых машин для применения в опасных для человека условиях // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2015. № 1 (214). С. 226–234.

2. Охоцимский Д.Е., Голубев Ю.Ф. Механика и управление движением автоматического шагающего аппарата. М.: Наука, 1984. 312 с.

3. Голубев Ю.Ф., Пряничников В.Е., Павловский В.Е. Динамика шагающего робота, управляемого оператором. // В кн.: Исследование робототехнических систем. М.: Наука, 1982, с.78-86.

4. Охоцимский Д.Е. Методика моделирования робота, перемещающегося в пространственной среде / Охоцимский Д.Е., Платонов А.К., Пряничников В.Е. //Изв. АН СССР, сер. Техническая кибернетика.-1980.-№ 1. -С. 46-54.

5. Damic, V[jekoslav]; Cohodar, M[aida] & Muratovic, M[unir] (2017). Dynamic Modelling of Mobile Robots Based on its 3D CAD Model, Proceedings of the 28th DAAAM International Symposium, pp.0144-0149, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-11-2, ISSN 1726-9679, Vienna, AustriaDOI: 10.2507/28th.daaam.proceedings.019.

6. Du, Y. (2016). Kinematics and Dynamic Modeling and Simulation Analysis of Three-wheeled Mobile Robot, International Conference on Mechanics Design, Manufacturing and Automation (MDM 2016) ISBN: 978-1-60595-354-0.

7. Hatab and R. Dhaouadi, «Dynamic modelling of differential-drive mobile robots using Lagrange and Newton-Euler methodologies: A unified framework», Adv. Robot. Autom., vol. 02, no. 02, 2013.

8. Механика промышленных роботов: учебное пособие для втузов: в 3 кн. / Под ред. К.В. Фролова и Е.И. Воробьева. Кн. 1: Кинематика и динамика / Е.И. Воробьев, С.А. Попов, Г.И.Шевелева. – М.: Высш. шк., 1988. – 304 с.

9. Кирсанов К.Б. Интеграционное программное обеспечение интеллектуальных роботов / Кирсанов К.Б., Левинский, Б.М., Пряничников В.Е. // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2009. Т. 7. № 6. С .35−43.

Алгоритмы навигации мобильных роботов по визуальным искусственным маркерам-ориентирам

В.Е. Пряничников, Д.К. Федотов✉
Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» (ИПМ им. М.В.Келдыша РАН), Москва, Россия, fedotovdmitriy198@yandex.ru

Algorithms for navigation of mobile robots by visual artificial markers-landmarks

Valentin E. Pryanichnikov, Dmitry K. Fedotov✉
Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences (KIAM RAS), Moscow, Russia, fedotovdmitriy198@yandex.ru

Навигация мобильных роботов является важной задачей для обеспечения их автономной работы. Многие способы построения маршрутов требует сложных алгоритмов и дорогих датчиков, таких как лидары, системы технического зрения со сложными алгоритмами распознавания объектов. Но с развитием интереса к мобильным роботам в не коммерческом секторе все чаще начинают применяться более дешевые и доступные способы организации навигации и наведения на объекты. Особенно стоит выделить использование для этих целей искусственных маркеров, таких как Aruco-маркеры.

Целью данной работы является создание системы определения положения робота в пространстве, используя визуальные маркеры как ориентиры при передвижении между ними и систему целеуказания на объекты, на которых расположены Аруко-маркеры [1, 2]. Для реализации этого используется интерактивно генерируемая карта маркеров, например, расположенных в лаборатории. Данная карта представляет собой граф, узлами которого являются маркеры, а ребрами являются пути между одним маркером до другого, проходящие

через коридоры, дверные проемы. Используя данную карту, были созданы программы определения положения робота относительно маркера и, соответственно на графе, а также программа построения оптимального маршрута передвижения робота между вершинами графа.

В результате была получена карта положения маркеров в лаборатории МИНОТ РГГУ (состоящей из 27 помещений, обозначенных на плане БТИ) и ней генерируется граф возможных маршрутов между маркерами. Были разработаны и протестированы алгоритмы определения положения робота относительно маркера, находящихся на расстояниях до 5 метров и сопоставления результатов по точности с реальным положением робота в комнате. Для достижения стабильных результатов, даже с использованием весьма посредственных ТВ-камер, было проведено тестирование, в ходе которого менялись размеры маркеров и было выяснено, что для достижения минимальных отклонений измеренной позиции робота от фактической по результатам наблюдения маркеров на расстоянии 5 метров достаточно использовать маркеры размером 150х150 мм. Разработка алгоритма построения маршрута и определения положения робота показала, что достаточно 1 маркера на помещение и на перекресток. Также был протестирован алгоритм определения выбора маршрута перемещения для достижения необходимой терминальной точки в лаборатории. Были рассмотрены несколько решений для наведения на объекты [3-5], подлежащие захвату манипулятором сервисного робота. Проанализировав решения из данных работ, был реализован алгоритм определения положения объектов манипулирования, получения их геометрических параметров для последующего захвата и взаимодействия с ним. Были проведены тесты алгоритма с различными размерами маркера для получения оптимального размера для определения объектов на столе. В результате было выяснено, что для оптимального определения объектов на расстоянии до 1 метра достаточно использовать маркеры с достаточно малым размеров - 20х20 мм.

Основная проблема, решаемая в данной работе, состояла в том, чтобы обеспечить работу сервисного робота в условиях крайне ограниченных ресурсов бортового микропроцессора, сохраняя необходимую точность наведения манипуляторов на объекты для захвата и навигацию в помещениях с минимальным количеством ориентиров в виде Аруко-маркеров.

Литература

1. В.Е. Пряничников, А.А. Арыскин, Ю.С. Колесов, А.Я. Ксензенко, С.В. Кувшинов, А.В. Плотников, М.Д. Соловьёва, Р.Б. Тарасов, Д.С. Тележкин, Д.К. Федотов, К.В. Харин, В.В. Ястребов. КОМПЛЕКС БАЗОВЫХ СЕНСОРНО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ МОБИЛЬНЫХ СЕРВИСНЫХ РОБОТОВ. - XVI Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2023): материалы мультиконференции (г. Волгоград, 11–15 сентября 2023 г.). В 4 т. Т. 1. Робототехника и мехатроника (РиМ-2023) / редкол.: И. А. Каляев, В. Г. Пешехонов, С. Ю. Желтов [и др.]. – Волгоград: ВолгГТУ, 2023. – 308 с., С.204-207, ISBN 978-5-9948-4703-9 ISBN 978-5-9948-4704-6 (Т. 1) https://www.elibrary.ru/query_results.asp
2. Yastrebov, V[yacheslav]; Pryanichnikov, V[alentin]; Chernyshev, V[adim] & Sharonov, N[ikolay] (2023). Approaches to Implementation of the 3D Laser Scanning to Ensure the Search and Docking of Autonomous Underwater Robots with a Walking Base, Proceedings of the 34th DAAAM International Symposium, pp.0035-0039, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978-3-902734-41-9, ISSN 1726-9679, Vienna, Austria DOI: 10.2507/34th.daaam.proceedings.005
3. DIY Spot Like Quadruped Robot, Autodesk Instructables интернет ресурс, ссылка на 18.09.2024 URL: https://www.instructables.com/DIY-Spot-Like-Quadruped-Robot/
4. Object tracking using ArUco markers, RoboLab19, интернет ресурс, ссылка на 18.09.2024 URL: https://www.youtube.com/watch?v=2uchDSsZrTQ
5. Optical pick and place robot arm with ArUco markers: part 2, Nathan Naerts, интернет ресурс, ссылка на ресурс на 18.09.2024 URL: https://www.youtube.com/watch?v=SUgCcF-lWCI

Оценивание параметров трения в шагающих многозвенных роботах методом динамического расширения и смешивания

Н.В. Михальков✉, А.А. Пыркин

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» (Университет ИТМО), Санкт-Петербург, Россия, nvmikhalkov@itmo.ru

Adaptive estimation of friction parameters in walking robot joints using the dynamic regressor extension and mixing

Nikita V. Mikhalkov✉, Anton A. Pyrkin
ITMO University (ITMO), St. Petersburg, Russia, nvmikhalkov@itmo.ru

Эффективные современные подходы к управлению шагающими роботами, такие как модельно-предиктивное управление и гибридная нулевая динамика, предполагают управление с обратной связью по создаваемому крутящему моменту приводов либо достаточность линейного приближения:

$$\tau_{\text{joint}} = N \cdot c \cdot i \,,$$

где τ_{joint}– крутящий момент в шарнире, i – ток, N – передаточное соотношение редуктора, c – константа мотора.

Наиболее часто это приближение обеспечивается при использовании относительно недорогих приводов на базе редуктора с планетарной передачей и низким передаточным соотношением (<10), получивших широкое распространение в последнее время. Однако, из-за такого искусственного ограничения страдает многообразие и вариативность робототехнических конструкций. Одной из причин неиспользования приводных систем другого типа является наличие нестационарного трения в шарнирах, зависящего от таких факторов как температура среды и износ. Соответственно, возможным способом расширить применимость трансмиссий любого типа является эффективное применение адаптивных алгоритмов оценки параметров трения в реальном времени. Одним из возможных подходов, которые способны обеспечить подобный результат, является применение метода динамического расширения регрессора и смешивания [1].

Для описания подхода опишем динамику конечности робота как жесткого манипулятора с n степенями свободы:

$$\mathbf{M}(\mathrm{q})\ddot{\mathrm{q}} + \mathbf{C}(\mathrm{q}, \dot{\mathrm{q}})\dot{\mathrm{q}} + \mathrm{g}(\mathrm{q}) = \boldsymbol{S}^{\mathrm{T}}\tau_{\text{joint}} - \boldsymbol{S}^{\mathrm{T}}\tau_{\text{loss}} + \boldsymbol{J}_C{}^{T}\lambda, \qquad (1)$$

где $M(q)$ – матрица инерции, q – вектор обобщенных координат звеньев, $\boldsymbol{C}(q, \dot{q})\dot{q}$ – вектор кориолисовых и центробежных сил, $g(q)$ – вектор сил тяжести, τ – вектор обобщенных сил, создаваемых акту-

аторами, τ_{loss} – вектор сил трения в сочленениях, $\boldsymbol{J}_C$ – якобиан k кинематических ограничений, λ – вектор сил реакции, $\boldsymbol{S} \in \mathbb{R}^{(n-m)\times n}$ – матрица выбора $(n-m)$ актуируемых координат.

Силы трения будем рассматривать в кулоновском приближении:

$$\tau_{\text{loss}} = \mathbf{D}\dot{\mathrm{q}} + \mathbf{F}(\dot{\mathrm{q}}), \tag{2}$$

где $\boldsymbol{D} \triangleq \text{diag}\{\mathrm{d}_1, .., \mathrm{d}_n\}$ – матрица коэффициентов вязкого трения, $F(\dot{\mathrm{q}}) \triangleq \text{diag}\{\mathrm{f}_1, .., \mathrm{f}_n\} \cdot \text{sign}(\dot{q})$ – вектор сил сухого трения в шарнирах.

Для оценки неизвестных коэффициентов трения $\mathrm{d}_1, .., \mathrm{d}_n$ и $\mathrm{f}_1, .., \mathrm{f}_n$ уравнения (1) и (2) комбинируются для представления в виде регрессионного уравнения.

Так как измерение сил реакции опорных ног шагающего робота не всегда обеспечено соответствующими сенсорами, то компонента $\boldsymbol{J}_C{}^T\lambda$ в уравнении (1) не может быть определена. Тем не менее, пользуясь цикличностью движения конечностей при движении шагом, можно сократить рассмотрение задачи до оценки параметров трения в шарнирах конечности, находящейся в фазе переноса. Для этого можно использовать QR-разложение матрицы кинематических ограничений [2]:

$$\boldsymbol{J_c}^{\mathbf{T}} = \boldsymbol{Q}\begin{bmatrix}\boldsymbol{R}\\ 0\end{bmatrix},$$

где $\boldsymbol{Q}$ – ортогональная матрица, R – верхнетреугольная матрица.

Таким образом, для переносимой ноги можно представить (1) как набор линейных регрессионных уравнений (ЛРУ) для каждого из i сочленений:

$$\mathcal{Y}_i(q, \dot{q}, \ddot{q}) = \varphi_i{}^T\theta_i\,, \tag{3}$$

где $\theta_i \triangleq [\mathrm{d}_i \quad \mathrm{f}_i]^{\mathrm{T}}$ – вектор неизвестных параметров, $\varphi_i \triangleq [\dot{q}_i \quad \text{sign}(\dot{q}_i)]^{\mathrm{T}}$ – регрессор.

Чтобы избавиться от неизмеримой $\ddot{q}$ в уравнении (3), используем лемму о замене и линейный фильтр $\widehat{H}[.]:=\frac{\lambda}{p+\lambda}$, где $p \equiv \frac{d}{dt}, \lambda \in R^+$ для получения финального набора ЛРУ:

$$\mathcal{Y}_{fi}(q, \dot{q}) = \widehat{H}[\varphi_i{}^T]\theta_i\,. \tag{4}$$

Так как при характерных паттернах движения звена возможны нарушения условия возбуждения регрессора $\widehat{H}[{\varphi_i}^T]$, то асимптотическая сходимость ошибки оценивания не может быть гарантирована с помощью градиентного спуска. Для ослабления этого требования и упрощения процедуры настройки возможно использовать метод динамического расширения регрессора и смешивания [1], позволяющий свести набор ЛРУ (4) к набору скалярных регрессионных уравнений. Моделирование предложенного алгоритма для оценки параметров трения в шарнирах шагающего робота представлено на рисунке 1.

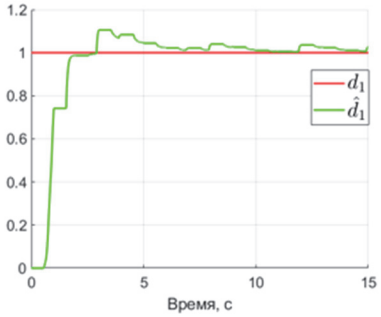


Рисунок 1 — Результат оценивания $\hat{d}_1$ параметра вязкого трения d_1 (в отн.ед.) в одном из суставов

Литература

1. Aranovskiy S., Bobtsov A., Ortega R., Pyrkin A. Parameters estimation via dynamic regressor extension and mixing // In: Proceedings of the 2016 American Control Conference (ACC). — IEEE, 2016. — P. 6971-6976. — DOI: 10.1109/ACC.2016.7526771.

2. Mistry M., Buchli J., Schaal S. Inverse dynamics control of floating base systems using orthogonal decomposition // In: Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation. — IEEE, 2010. — P. 3406-3412.

Определение требований к вычислительному контуру БТС со стороны сенсорной периферии траекторного оценивания

Д.Е. Чикрин, Б.А. Тимершин
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (ФГАОУ ВО КФУ), г. Казань, Россия, dmitry.kfu@ya.ru, btimershin99@xmail.ru

Determination of requirements for the computing circuit of an unmanned vehicle from the sensory periphery of trajectory estimation

Dmitry E. Chickrin, Bulat A. Timershin
Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia, dmitry.kfu@ya.ru, btimershin99@xmail.ru

Все существующие и перспективные транспортные средства любого уровня автоматизации имеют аппаратно-неизменные (монолитные) вертикально-интегрированные платформы, максимально широко используемые автопроизводителем. В случае БТС (транспортного средства уровня автоматизации 3+) такого рода платформой является вычислительный контур БТС - монолитное аппаратное ядро [1].

В этом случае сенсорная периферия (совокупность датчиков БТС) может быть представлена в виде системы высокой степени аддитивности, состоящей из элементов - черных ящиков, обеспечивающих прием и передачу стандартизованных информационных потоков и имеющих векторные управляющие воздействия стандартизованного типа.

Данная система высокой степени аддитивности является идентичной совокупности аппаратно-неспецифичных функций F_i, имеющих фиксированные типы выходных данных $output_i$, входных данных $input_i$ и управляющих переменных $x_1 \ldots x_n$:

$$output_i = F_i(input_i, x_{1i}..x_{ni})$$

В таблице 1 перечислены наиболее распространенные типы сенсоров БТС с указанием структур типов данных *input*, *output*, $x_1 \ldots x_n$:

Таблица 1 — Типы сенсоров БТС

Тип сенсора	**Входные (наблюдаемые) данные - вектор *input***	**Выходные данные - вектор *output***	**Управляющие параметры - x_i**
Сонар	Наблюдаемая в спектре чувствительности и ДН сонара дорожная сцена и ее акторы.	Расстояние до цели. Площадь (светимость) цели.	Предельная дальность, м. Разрешающая способность, см. Частота подачи сканирующего импульса, Гц
Радар	Наблюдаемая в спектре чувствительности и ДН радара дорожная сцена и ее акторы.	Расстояние до цели. Скорость цели. ЭПР (светимость) цели.	Ширина ДН, градус. Предельная дальность, м. Угол дискриминации цели, гр. Чувствительность, В. Частота подачи сканирующего импульса, Гц
GPS (ГНСС)	Физические перемещения платформы относительно наблюдаемых спутников, в геоцентрической системе координат.	Широта, долгота, высота, скорость, точное время.	Количество используемых спутников. Минимально допустимая чувствительность сигнала спутника, dBm. Минимальная релевантность (качество) навигационной оценки, HDOP. Частота выдачи навигационных данных, Гц
INS+одометрия [2,3]	Физические перемещения платформы относительно выбранной нулевой точки.	Перемещение по базису локальной трехмерной системы координат. Скоростные характеристики и ускорения по базису. Курс, крен, тангаж.	Время релевантности оценки, с. Частота синхронизации с абсолютной координатой, с. Частота выдачи навигационных данных, Гц
Камеры	Визуально наблюдаемая дорожная сцена и	Растровое изображение с цвето-	Разрешение изображения по горизонтали и вертикали.

Тип сенсора	Входные (наблюдаемые) данные - вектор *input*	Выходные данные - вектор *output*	Управляющие параметры - x_i
	ее акторы в зоне чувствительности (в соотв. АЧХ) сенсора и полосе пропускания светофильтра.	выми характеристиками (X,Y,R,G,B)	Параметры объектива: выдержка в долях секунды; диафрагма в f-числах (f-стопах), светочувствительность в ISO, фокусное расстояние, м. Частота получения кадра, Гц
Тепловизоры	Тепловые потоки от дорожной сцены и ее акторов.	Растровое изображение в оттенках серого (X,Y,G): G - тепловая светимость цели.	Разрешение изображения по горизонтали и вертикали. Динамический диапазон фиксируемых температур - мин, макс градусов K. Фокусное расстояние, м. Частота получения кадра, Гц
Лидары	Отражения сканирующих лучей от дорожной сцены и ее акторов.	Карта глубины дорожной сцены в формате трехмерного изображения в оттенках серого (X, Y, D,L): D - дальность отметки отражения, L - светимость цели.	Количество сканирующих плоскостей (разрешение по вертикали). Разрешающая способность по углу (разрешение по горизонтали). Предельная дальность, м. Чувствительность, В. Частота полного сканирования поля, Гц

С использованием представлений табл. 1 сенсорные системы возможно объединить в два общих класса - класса траекторных оценок и класса визуальной дискриминации, в этом случае получаем два обобщенных функционала сенсорной периферии:

1. Функционал сенсорики траекторной оценки:

$$[x', y', z', V', \overline{x'_t, y'_t, z'_t, V'_t, A'_t, I'_t}]F_{traj}(x, y, z, V, \overline{x_t, y_t, z_t, V_t, A_t, I_t}, R, N, f)$$

где x, y, z, V, A - собственные координаты, скорость и ускорение; $\overline{x_t, y_t, z_t, V_t, A_t, I_t}$- координаты, скорость, ускорение и светимость (площадь) наблюдаемых целей; R, S, N, f - параметры дальности наблюдения (м), минимальной площади цели (м^2), максимальное количество целей и частота получения данных, Гц соответственно.

2. Функционал сенсорики визуальной дискриминации:

$$[X', Y', Z', I'] = F_{vis}(X, Y, Z, I, W, Fr, D, f),$$

где X, Y, Z, I - координаты и светимость воксела (пиксела обьемного изображения); W, Fr, D, f - параметры угла раскрыва объектива (град), фокусного расстояния (м), динамического диапазона (для камер: светочувствительности - ISO) и частоты получения кадра, Гц соответственно.

В соответствии с указанной формализацией, F_{traj} возможно описать сонары, радары, приемники спутниковой навигации и INS+одометрию, в то время как к F_{vis} относятся камеры, тепловизоры и лидары.

Таким образом было осуществлено разбиение наиболее распространенных систем сенсорики БТС на два обобщенных класса: систем траекторного оценивания и систем визуальной дискриминации.

Для получения траекторных оценок обобщенный функционал с совпадающими по структуре векторами *input* и *ouput* позволяет использовать аппарат комплексирования сенсоров. Для визуальной дискриминации целесообразно использовать унифицированные алгоритмы, работающие с изображениями.

Литература

1. Чикрин Д. Е. Методологические основы проектирования инфокоммуникационных систем автомобильных транспортных средств высокой степени автоматизации : дис. д-ра техн. наук, 05.13.01. – Казань, 2021. – 399 с.

2. Study on Integration of FOG Single-Axis Rotational INS and Odometer for Land Vehicle / J. Gao, K. Li, Y. Chen // IEEE Sensors Journal. — 2018. — Vol. 18, no. 2. — P. 752–763.

3. Ахмедов Д. Ш., Ибраев А.С. Использование одометрии для повышения точности инерциальной навигационной системы транспортного средства // Технические науки — от теории к практике. — 2017. — No 65. — С. 44–57.

Разработка системы управления комфортом пассажиров с учетом скорости на основе данных наблюдений для общественного транспорта

Язан Вассуф[1,2], Г.В. Цокуренко[2], К.Г. Мещерин[2],
В.В. Серебренный[1]
[1]*МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия, vassufya@bmstu.ru, vsereb@bmstu.ru*
[2]*ООО «ИЦ «КАМАЗ», Москва, Россия, vassufY@kamaz.ru, TsokurenkoGV@kamaz.ru, MescherinKG@kamaz.ru*

Development of a speed-based passenger comfort control system based on observation for public transport

Yazan Wassouf[1,2], Grigory V. Tsokurenko[2],
Konstantin G. Meshcherin[2], Vladimir V. Serebrenny[1]
[1]*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia, vassufya@bmstu.ru, vsereb@bmstu.ru*
[2]*«IC KAMAZ» LLC , Moscow, Russia, vassufY@kamaz.ru, TsokurenkoGV@kamaz.ru, MescherinKG@kamaz.ru*

В современном мире, где безопасность и комфорт пассажиров на общественном транспорте являются приоритетными задачами, разработка интеллектуальных систем помощи водителю становится критически важной [1]. В данном докладе на рисунке 1 представлена архитектура такой системы, которая включает радар и камеры для сбора данных, систему управления скоростью и систему управления комфортом (подвеской).

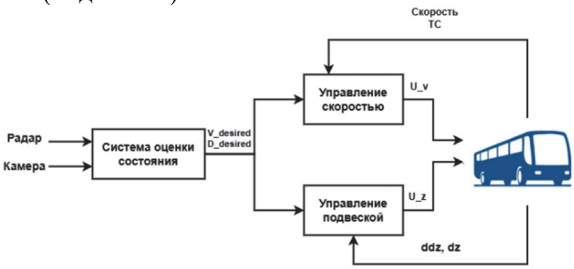


Рисунок 1 — Архитектура системы

Параметры V_desired и D_desired обозначают желаемые скорость и расстояние, а U_v и U_z — управляющие сигналы для

регулирования скорости и подвески соответственно. Также ddz и dz представляют собой вертикальные ускорение и скорость транспортного средства.

В системе оценки состояния происходит обработка данных с датчиков для определения всех объектов вокруг транспортного средства. В зависимости от расстояния до впереди движущихся объектов система определяет требуемую скорость.

В предыдущих исследованиях мы разработали надёжный алгоритм управления скоростью на основе Активного Управления Подавлением Помех (АУПП), который эффективно регулирует скорость транспортного средства независимо от изменения динамической модели, вызванной изменением массы или типа дорожного покрытия [2].

Комфорт пассажиров был признан ключевым аспектом работы системы. Для этого был разработан оптимизированный алгоритм Активного Управления Подавлением Помех (АУПП), который с помощью одного параметра позволяет регулировать уровень комфорта в зависимости от текущей скорости транспортного средства [3].

В рамках данного исследования мы изучили связь между движением в городских пробках [4] и движением на дорогах типа "D". Результаты моделирования показали схожесть, что позволяет применять алгоритмы управления подвеской, разработанные для дорог типа «D», в условиях городских пробок.

Литература

1. Я. Вассуф, В. В. Серебренный, Е. А. Яковлева. Усовершенствованные системы помощи водителю для общественного транспорта // Наука, технологии и бизнес 2022 : Материалы IV Межвузовской конференции аспирантов, соискателей и молодых ученых, Москва, 27–28 апреля 2022 года. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2022. – с. 333-346.

2. В. Язан, А. В. Тарасенко, Д. Осин, В. В. Серебренный // Метод управления скоростью в системах помощи водителю с использованием активного управления подавлением помех. Вестник МГТУ "Станкин". – 2024. – № 1(68). – С. 8-16.

3. М. Алхелу, Я. Вассуф, М. В. Коржуков [и др.] Управление активной подвеской автомобиля для обеспечения компромисса между степенью демпфирования и управляемости // Проблемы управления. – 2023. – № 1. – С. 45-58. – DOI 10.25728/pu.2023.1.5.

4. Вассуф, Я [и др.] . Разработка системы круиз-контроля для общественного транспорта // Наука и бизнес: пути развития. – 2023. – № 12(150). – С. 77-80.

Исследование влияния электрохимических характеристик аккумуляторов тяговой аккумуляторной батареи на параметры колёсного электротранспорта с применением цифровых моделей

Д.К. Гребцов✉, М.К. Кубасов
Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) (МФТИ), г. Москва, Россия, grebtsov.dk@mipt.ru

Influence of electrochemical characteristics of traction battery on the parameters of electric vehicles using digital models

Dmitry K. Grebtsov✉, Mikhail K. Kubasov
Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT), Moscow, Russia, grebtsov.dk@mipt.ru

В работе рассматривается влияние электрохимических характеристик современных тяговых аккумуляторных батарей на эксплуатационные параметры колёсного электротранспорта.

В связи с широким применением литий-никель-марганец-кобальт-оксидных (NMC) и литий-железо-фосфатных (LFP) аккумуляторов в тяговых аккумуляторных батареях в последние годы возникла необходимость более глубокого анализа их поведения в различных режимах работы для оптимизации эффективности использования в транспортных средствах [1, 2].

В работе решали две взаимообратные задачи:

– исследование влияния электрохимических характеристик аккумулятора на итоговые параметры транспортного средства при различных условиях и сценариях эксплуатации;

– выбор подходящего типа и состава аккумулятора, который позволит добиться наилучших характеристик транспортного средства для выполнения поставленных задач.

В качестве ключевых параметров аккумуляторов рассматривали температурный диапазон, параметры саморазряда, внутреннего сопротивления и деградации емкости батарей при долгосрочной эксплуатации, что в свою очередь влияет на требования к использованию транспортных средств, содержащих данную батарею.

Например, LFP аккумуляторы демонстрируют стабильную производительность при более глубоких циклах заряда-разряда и в более

широком диапазоне температур, что делает их предпочтительным выбором для эксплуатации в условиях, близких к экстремальным. NMC аккумуляторы несмотря на высокую удельную энергию, требуют более точного контроля температурного режима и скорости заряда для предотвращения ускоренной деградации [3].

Ключевыми параметрами для транспортного средства являются сценарий использования (городской цикл или рейсовые поездки), сценарий заряда, максимальный запас хода и ускорение, зависящие в свою очередь от массы ТС и мощности электродвигателя.

Исследование основывается на цифровом моделировании физических систем с большим количеством связанных параметров. В данной работе процессы заряда и разряда различных аккумуляторов исследованы экспериментально; разрядные кривые показаны на рис. 1. Экспериментальные электрохимические данные использовали для построения цифровой модели аккумулятора, которая в свою очередь была включена в цифровою модель тяговой аккумуляторной батареи (ТАБ).

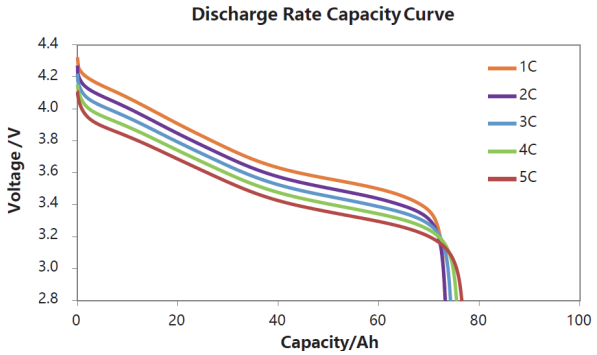


Рисунок 1 — Разрядные кривые для аккумулятора Li-NMC при различных значениях тока

Цифровая модель ТС (рис. 2) включает в себя ТАБ и учитывает влияние внешних факторов, таких как климатические условия, что особенно важно для регионов с экстремальными температурами. На основе полученных данных сформулированы рекомендации по выбору типов аккумуляторов для различных условий эксплуатации и разработке стратегий управления зарядом для продления срока службы тяговой аккумуляторной батареи.

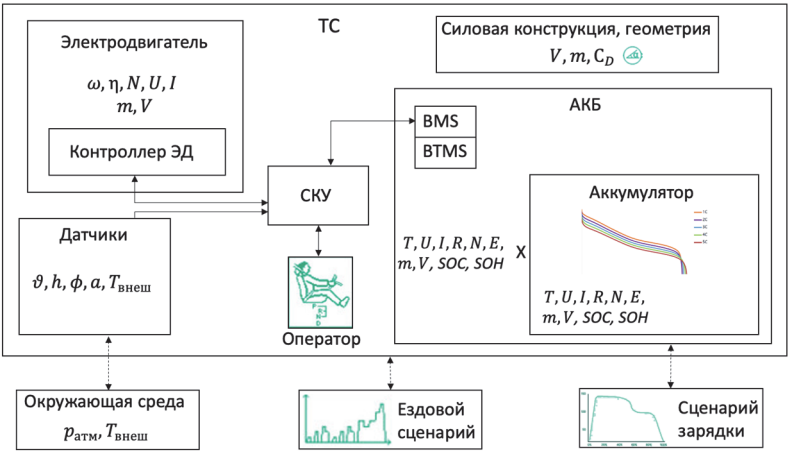


Рисунок 2 — Схема цифровой модели ТС

Литература

1. Zhang, X., Wu, Y., & Wang, C. (2022). Advancements in Battery Technology for Electric Vehicles: A Comprehensive Analysis of Recent Developments. Journal of Energy Storage, 45, 103-119.

2. Ali, H. A. A., Raijmakers, L. H. J., Chayambuka, K., Danilov, D. L., Notten, P. H. L., & Eichel, R. A. (2024). A comparison between physics-based Li-ion battery models. Electrochimica Acta, 493, Article 144360.

3. Zhou, L., Li, Y., & Zhang, J. (2023). Battery Degradation Models for Electric Vehicles: A Review. Energy Storage Materials, 56, 123-139.

Бесшовная навигация для наземных роботов с использованием глобальной и локальной навигационных систем

В.Б. Пудловский, А.П. Малышев✉, А.А. Чугунов, С.В. Черных, А.О. Кожевникова

Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего Образования «Национальный Исследовательский Университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»), Москва, Россия, malyshevap99@gmail.com

Seamless navigation for ground robots using global and local navigation systems

Vladimir B. Pudlovskiy, Alexander P. Malyshev✉,
Alexander A. Chugunov, Sergey V. Chernyh,
Alisa O. Kozhevnikova
Radio Systems Department, National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (NRU «MPEI»), Moscow, Russia, malyshevap99@gmail.com

Системы автоматического управления роботизированных комплексов (РТК), включают сегодня множество средств измерений, решающих задачи абсолютного и/или относительного позиционирования, в том числе в сложных условиях, таких как городская среда. Как правило, основой абсолютных навигационных определений для РТК, является приемник сигналов глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС) [1]. При этом, с увеличением сфер применения РКТ, возникает необходимость позиционирования в условиях ослабления или блокирования сигналов ГНСС, вплоть до полного отсутствия навигационного поля ГНСС, например, при переходе из открытого пространства в закрытое помещение. В условиях, когда затруднено использование оптических навигационных систем и невозможна коррекция ошибок инерциальных навигационных систем, предлагается использовать локальные навигационные системы (ЛНС), использующие сверхкороткоимпульсные радионавигационные сигналы [2]. ЛНС такого типа может обеспечивать сантиметровую погрешность определения координат РКТ (СКО 0,1…0,5 м). Такие ЛНС можно использовать в качестве дополнительного средства позиционирования, в том числе для создания условий бесшовной навигации при потере сигналов ГНСС.

Целью данного доклада является анализ возможности совместной обработки информации от ЛНС и ГНСС в сложных условиях города, а также экспериментальное определение эффективности использования ЛНС для поддержки высокоточного позиционирования объектов в городе по сигналам ГНСС.

Результаты апостериорной обработки данных, полученных в серии экспериментальных исследований показали, что совместная фильтрация измерений параметров сигналов ГНСС и ЛНС потенциально позволяют определять координаты наземного РКТ в городских условиях с погрешностью, не превышающей 1 м.

Литература

1. Перов А.И. ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития. Радиотехника. 2020.
2. A.A. Chugunov, N. I. Petukhov, A. P. Malyshev, V. B. Pudlovskiy, O. V. Glukhov and A. A. Frolov, «Experimental Evaluation of UWB Local Navigation System Performance Used for Pedestrian and Vehicle Positioning in Outdoor Urban Environments», 2021 XV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems Of Electronic Instrument Engineering (APEIE), 2021, pp. 449-454, doi: 10.1109/APEIE52976.2021.9647604.

Детектирование отклонений и корректировка движения лесной техники

С.Д. Яскеляйнен✉, Г.Э. Рего, Е.М. Гурылева,
В.А. Красный, Д.С. Мельников

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петрозаводский государственный университет» (ПетрГУ), г. Петрозаводск, Россия, simonyaskelaynen@yandex.ru

Благодарности

Исследования, описанные в данной работе, были проведены в рамках реализации Программы поддержки НИОКР студентов, аспирантов и лиц, имеющих ученую степень, финансируемой Правительством Республики Карелия.

Detection deviation and correcting the movement of forest vehicles

Semen D. Yaskelaynen✉, Grigory E. Rego,
Ekaterina M. Gurileva, Vladislav A. Krasniy, Dmitry S. Melnikov

Petrozavodsk State University (PetrSU), Petrozavodsk, Russia, simonyaskelaynen@yandex.ru

Acknowledgements
The research described in this publication was made possible in part by R&D Support Program for undergraduate and graduate students and post-doctoral researcher of PetrSU, funded by the Government of the Republic of Karelia.

Автоматизированное движение техники в лесной местности можно отнести к разновидности экстремальной робототехники, поскольку имеется необходимость адаптировать управляющее воздействие к сложной местности с большим числом препятствий. Наличие препятствий приводит к необходимости их объезда, из-за чего техника начинает отклоняться от заданного маршрута, что является опасной ситуацией [1], требующей вмешательства. Проблема отклонения техники от маршрута связана с неподготовленностью лесной почвы к проезду, что может привести к застреванию техники. В случае с тяжеловесными конструкциями при наезде на неподготовленную почву возникает риск повреждения почвы и подроста, особое влияние на почву оказывают возвратно-поступательные движения [2], которые приводят к увязанию и снижению эффективности лесовосстановительных работ. Система детектирования отклонений и корректировки движения позволяет минимизировать суммарное отклонение техники от маршрута движения. Подобная система должна выполнять следующие функции:

1. Детектировать критические отклонения техники от маршрута движения.
2. Корректировать маршрута движения и рассчитывать траекторию для возвращения на заданный маршрут с учетом заранее отмеченных препятствий.

Данная система может быть использована для проверки корректности работы автономного робота или для ассистирования водителя харвестера при движении по заданной траектории. Модуль детектирования отклонений предназначен для отслеживания передвижений техники и распознавания ситуаций, когда техника удаляется от запланированного маршрута на критическое расстояние. Базовым датчиком для работы модуля является GPS-трекер, но его точности недостаточно для определения отклонений в 5-10 метров, поэтому необходимо объединение GPS-данных с данными с инерциального датчика. Таким образом для глобального позиционирования в системе используются GPS-данные, а для более точного определения местоположения происходит объединение с данными с датчика IMU. Для объединения данных используется расширенный фильтр

Калмана. После определения текущих координат в модуль детектирования отклонений передается информацию о местоположении техники, а модуль определяет расстояние до ближайшей точки маршрута. В случае, если расстояние превышает заданный порог, детектируется отклонение от маршрута и информация передается в модуль корректировки для определения траектории возвращения на заданный маршрут. Модуль корректировки маршрута выстраивает оптимальный маршрут от текущего местоположения до следующей точки заданного маршрута движения. На вход модулю корректировки маршрута передаются следующие параметры:

1. Координаты текущего местоположения.
2. Координаты точки маршрута, на которую необходимо вернуться.
3. Текущий азимут техники.
4. Минимальный радиус поворота.
5. Координаты препятствий.

Результатом работы алгоритма является множество координат точек, двигаясь по которым осуществляется возвращение на заданный маршрут. Таким образом, система детектирует критические отклонения техники от маршрута и рассчитывает траекторию движения для возвращения на заданный маршрут. Данный подход позволяет уменьшить количество дополнительных участков, на которые заезжает техника, и тем самым сократить суммарное отклонение техники от маршрута. Важной особенностью системы является учет препятствий при корректировке движения, что позволяет применять данную систему как для ассистирования водителя лесной техники, так и для регулировки движения автоматизированной техники, которая является одним из этапов развития лесного хозяйства [3].

Литература

1. Rego G. E. Mathematical Modeling Method for Detecting the Fuzzy Occurrence of Dangerous Events, Programmnaya Ingeneria, 2023, vol. 14, no. 9, pp. 442—451. DOI: 10.17587/prin.14.442-451.

2. Вербицкая Н.О. Влияние харвестерных лесозаготовок на повреждение почвенного покрова / Вербицкая Н. О., Чекотин Р. С., Корж М. А. // Леса России и хозяйство в них, 2018, С. 42-50.

3. Суханов Ю. В. Беспилотные машины и аппараты в лесном хозяйстве / Ю. В. Суханов, П. О. Щукин, О. И. Гаврилова [и др.] // Наука, технологии, общество - НТО-II-2022: сборник научных статей по материалам II Всероссийской научной конференции, Красноярск, 2022. С. 46-66.

Робототехнические стартапы в России: основные направления, проблемы и возможности

М.М. Миронов
ООО «Робиком», Москва, Россия, matvey_maksimovich@mail.ru

Modern approaches of robotics in Russia: main directions and problems

Matvey M. Mironov
ROBOT&CO LTD, Moscow, Russia, matvey_maksimovich@mail.ru

В последние годы робототехника в России активно развивается [1], охватывая широкий спектр сфер и направлений. К основным направлениям относятся: промышленные роботы [2], беспилотные транспортные средства [3-4], агророботы и роботы в сельском хозяйстве [5], ЧПУ и 3Д принтеры [6], беспилотные летательные аппараты [7].

Для понимания робототехники как бизнеса, была сформулирована бизнес-модель по методу Александра Остервальдера [8]:

Рисунок 1 — Бизнес-модель робототехнической компании

Несмотря на значительные успехи, развитие робототехнических стартапов в России сталкивается с рядом проблем, таких как

недостаток высококвалифицированных кадров, необходимость улучшения законодательной базы, сложность получения инвестиций, большая стоимость разработки прототипов, а также потребность в расширении исследований и разработок [9]. В рамках доклада будут рассмотрены достижения и вызовы, с которыми сталкивается современная робототехника в России, а также обсуждены пути их преодоления.

Литература

1. Минпромторг: к 2030 году на российских предприятиях должно появиться более 94 тыс. роботов. Электроный ресурс. Ссылка: [Минпромторг: к 2030 году на российских предприятиях должно появиться более 94 тыс. роботов / Хабр (habr.com)]. Последнее обращение:[15.08.2024]

2. Галин Р. Р. и др. Взаимодействие человека и робота в коллаборативных робототехнических системах //Известия Юго-Западного государственного университета. – 2021. – Т. 24. – №. 4. – С. 180-199.

3. Я. Вассуф, В. В. Серебренный, Е. А. Яковлева. Усовершенствованные системы помощи водителю для общественного транспорта // Наука, технологии и бизнес 2022 : Материалы IV Межвузовской конференции аспирантов, соискателей и молодых ученых, Москва, 27–28 апреля 2022 года. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2022. – с. 333-346.

4. Я. Вассуф, Е. М. Кореков и В. В. Серебренный. Принятие решений для передовых систем помощи водителю общественного транспорта. // 2023 г. 5-я Международная молодежная конференция по радиоэлектронике, электротехнике и энергетике (REEPE), Москва, Российская Федерация, 2023 г., с. 1-6.

5. Зобнин А. Н. Агророботы в сельском хозяйстве //Академическая публицистика. – 2018. – №. 5. – С. 85-87.

6. Герасимук И. Н., Артемкина О. Д., Зимина Е. Л. Автоматизация рабочих мест на швейных предприятиях //тезисы докладов 51-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов. – 2018. – С. 221-222.

7. Романова Н. В. Характеристика рынка беспилотных летательных аппаратов: запрос и сферы применения //Самоуправление. – 2020. – №. 4. – С. 434-437.

8. Пинье И., Остервальдер А. Построение бизнес-моделей. Настольная книга стратега и новатора //М.:«Альпина Диджитал. – 2010.

9. Баранов П. П. Правовое регулирование робототехники и искусственного интеллекта в России: некоторые подходы к решению проблемы // Северо-Кавказский юридический вестник. – 2018. – №. 1. – С. 39-45.

Создание системы управления для мобильных роботов

В.Г. Дыгало, А.П. Семенков✉
МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия, semenkovap@student.bmstu.ru, dygalovg@bmstu.ru

Development of a control system for mobile robots

Vladislav G. Dygalo, Arseniy P. Semenkov✉
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia, semenkovap@student.bmstu.ru, dygalovg@bmstu.ru

В настоящее время продолжается бурное развитие наземной робототехники. Особенностью мобильных роботизированных платформ является широкий спектр применений: меняя технологическое оборудование, возможно изменить целевое назначение робота. На базе одного роботизированного шасси могут быть построены различные по назначению роботизированные системы: робот для тушения пожаров, транспортировщик. Это в свою очередь показывает, возможность применения мобильных роботов в различных задачах. При разработке мобильных роботов, существует необходимость управления различными типами и количеством движителей и приводов.

Процесс разработки решений включает множество стадий, прежде чем достигнет уровня коммерческого образца.

На начальных стадиях создания систем управления (СУ) и обучения специалистов используются типовые решения, в том числе базирующиеся на готовых модулях.

В данном случае стояла задача реализовать СУ на примере малой гусеничной машины (МГМ) [1], [2], [3] с возможностью дистанционного управления и дальнейшей автоматизации движения.

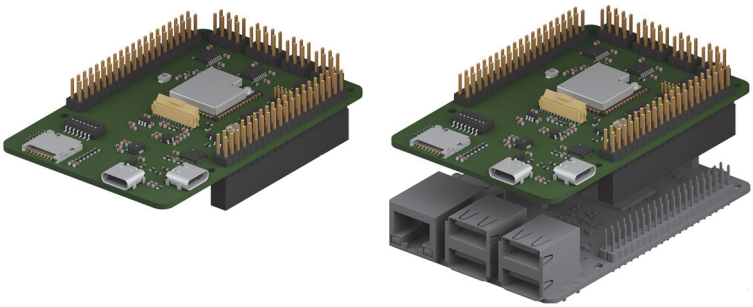
Первый вариант системы управления реализован на отладочных платах Arduino с возможностью дистанционного управления на базе

соединения готовых модулей [4]. Решение данного уровня позволяет достичь управления тяговым электродвигателем (ТЭД), своевременно получать данные с органов управления, обрабатывать управляющий сигнал, принимать различные команды и реализовать управление бортовым приводом МГМ дистанционно.

Второй вариант был реализован на отладочной плате ESP32 и оригинально спроектированной платы расширения, которая преобразует управляющий сигнал. Данное решение имеет меньшие размеры и большую надёжность за счёт реализации на одной плате. Обладает большей производительностью, использует меньше компонентов для реализации СУ, в отличие от первоначального варианта.

Третий целевой вариант системы управления разработан на основе оригинального решения, приведённого на рисунке 1, и устраняет недостатки предыдущих вариантов [5].

Последний вариант обладает конечным функционалом, что, например, позволяет управлять большим количеством движителей и вести мониторинг работы систем как единый бортовой контроллер с дистанционным управлением (рис. 1а).



а) б)

**Рисунок 1 — 3D модель разработанного контроллера:
а) как отдельный модуль; б) масштабируемый**

Если мы говорим об автономности движения роботизированной платформы, то мощности одного контроллера уже будет недостаточно. И для масштабируемости допускается интеграция решения с другими системами, такими как одноплатные компьютеры с типовым разъёмом (Raspberry pi, Nvidia Jetson), и возможность гибко строить архитектуру СУ (рис. 1б).

В ходе разработки и в плане обучения разработана РКД и изготовлен экспериментальный образец готового модуля (рис. 2)

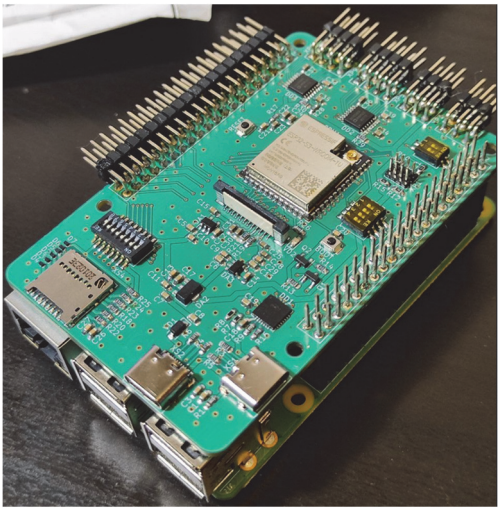


Рисунок 2 — Изготовленный контроллер на базе ESP32S3U

Таким образом реализовано решение системы управления агрегатами роботизированной платформы на базе МГМ, с возможностью модернизации СУ от типовых решений до спроектированного модуля с необходимым функционалом и программного обеспечения.

Литература

1. Дыгало В.Г., Порватов М.Н. Концепция реализации модулей малой гусеничной машины для отработки и адаптации алгоритма управления движением / Дыгало В.Г., Порватов М.Н. [Текст] // Ежегодная национальная научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана по итогам научно-исследовательских работ за 2020 г. — Красноярск: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-инновационный центр», 2021. — С. 85-87.

2. Дыгало В.Г., Сальников Д.Ф. Анализ кинематики движителя малогабаритной гусеничной машины / Дыгало В.Г., Сальников Д.Ф. [Текст] // Ежегодная национальная научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана по итогам научно-исследовательских работ за 2020 г. — Красноярск: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-инновационный центр», 2021. — С. 97-99.

3. Стадухин А. А. Научные методы определения рациональных параметров электромеханических трансмиссий высокоподвижных гусеничных машин : специальность 05.05.03 «Колёсные и гусеничные машины» : Диссертация на соискание доктора технических наук / Стадухин А. А. ; Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский институт). — Москва, 2021. — 317 с.

4. Дыгало, В. Г., Семенков, А. П. Концепция системы управления малой гусеничной машиной / В. Г. Дыгало, А. П. Семенков [Текст] // Ежегодная национальная научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана по итогам научно-исследовательских работ за 2020 г. — Красноярск: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-инновационный центр», 2021. — С. 101-102.

5. Семенков, А. П., Дыгало, В. Г. Система управления приводами мобильного робота / А. П. Семенков, В. Г. Дыгало [Текст] // СТУДЕНЧЕСКАЯ НАУЧНАЯ ВЕСНА Сборник тезисов докладов Всероссийской студенческой конференции, посвященной 170-летию В.Г. Шухова. — Москва: Издательский дом «Научная библиотека», 2023. — С. 433-434.

Построение карты глубины сцены на основе данных стереопары

А.А. Жиленков, О.С. Крупинин✉, Д.М. Пимонов
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (СПбГМТУ), Санкт-Петербург, Россия, Krupinin.OS.SMTU@ya.ru

Building a scene depth map based on stereo pair data

Anton A. Zhilenkov, Oleg S. Krupinin✉, Dmitry M. Pimonov
Saint-Petersburg State Marine Technical University (SPbSMTU), St. Petersburg, Russia, Krupinin.OS.SMTU@ya.ru

Для ориентации беспилотной системы в пространстве необходимо в некотором представлении реконструировать ее окружение.

По данным, полученным с датчиков робота необходимо, восстанавливать информацию о расстоянии до окружающих объектов, о характере этих объектов. В нашем случае датчики представляются стереоскопической системой, состоящей из двух цифровых проективных камер. Камеры установлены с известным фиксированным смещением и регистрируют сцену с разных ракурсов. Пара изображений, получаемая со стереоскопической системы, называется стереопарой [1].

Нами разработан программный комплекс для интерпретации стереопары. Для построения карт глубины нам необходимы внутренние и внешние параметры стереосистемы, вычисляемые один раз в процессе калибровки. И значения диспаратности, разницы в положении точек сцены на левом и правом изображениях стереопары, для точек одной из фотографий.

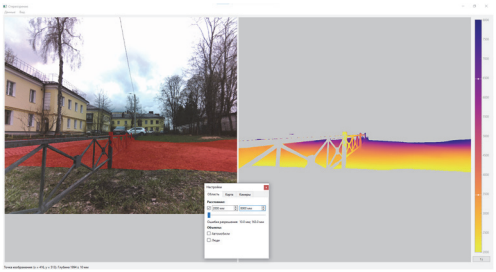
Программа включает в себя процедуру калибровки камер стереосистемы по фотографиям калибровочного макета. В качестве калибровочного макета используется плоская шахматная доска с известным количеством, расположением и размером ячеек. После выполнения калибровки мы получаем параметры камер стереосистемы такие как: коэффициент, характеризующий фокусное расстояние камер и размер пикселя матрицы фотоприемника, величину базы (расстояние между камерами), коэффициенты дисторсии для каждой камеры. Коэффициенты дисторсии используются для устранения искажений на изображениях входящей стереопары для дальнейших вычислений.

В процессе работы программы по входящей ректифицированной стереопаре вычисляется карта диспаратности. Для определения значений используется нейросетевая архитектура [2].

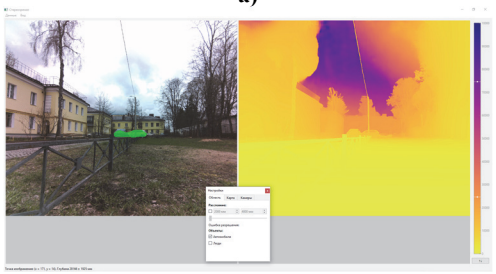
По карте диспаратности и известным параметрам системы вычисляются карта глубин и карта расстояний.

В систему добавлен алгоритм семантической сегментации изображений. Используется архитектура с энкодером ResNet101 [3].

Программный интерфейс позволяет визуализировать исходные изображения стереопары, построенные карты, производить их анализ и разметку (Рисунок 1а, 1б). Пары могут подгружаться как отдельные изображения с диска, так и в поточном режиме напрямую с камер. Для изображений 768x1024 пкс. с использованием NVIDIA RTX 2070 производительность ~0.5 кадров в секунду. С потерей качества карт производительность может быть повышена.



а)



б)

Рисунок 1 — Программный интерфейс: а) выделение диапазонов расстояний; б) сегментация объектов

Разработан и изготовлен штатив для расположения стереосистемы вне помещений с мерами защиты камер от влаги, пыли и прямого солнечного света.

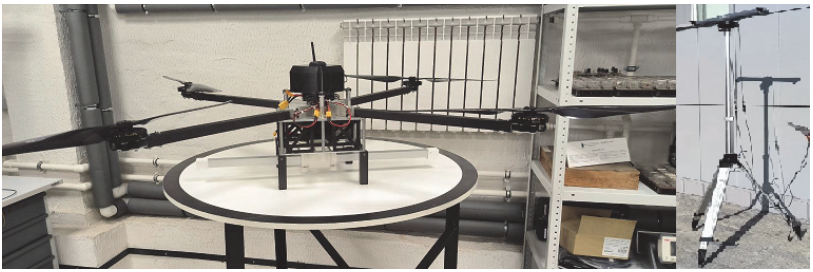


Рисунок 2 — Стереосистемы

Планируется добавление двигателей для позиционирования камер. Разработан крепеж стереосистемы для квадрокоптера. Ведутся работы по внедрению технического стереозрения в телеуправляемый необитаемый подводный аппарат.

Литература

1. A. Zhilenkov and O. Krupinin: Unsupervised 3D Scene Reconstruction by Stereo Pair Images // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2024. 915 – 921. 10.1109/ICIEAM60818.2024.10553810.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023680069 Российская Федерация. Определение расстояния по данным системы стереографического технического зрения: № 2023668808: заявл. 13.09.2023: опубл. 26.09.2023 / А. А. Жиленков, О. С. Крупинин; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет». – EDN ESKDAM.

3. L. Chen, Y. Zhu, G. Papandreou, F. Schroff and H. Adam: Encoder-Decoder with Atrous Separable Convolution for Semantic Image Segmentation// Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV), 2018, 801-818. 10.48550/arXiv.1802.02611.

Дистанционно управляемый робототехнический гусеничный аппарат для обследования помещений при пожаре

В.А. Ложкин✉, Т.А. Писарев

Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический Университет (СПБГМТУ), Санкт-Петербург, Россия, vlad@lozhkin.su

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации программы «Приоритет 2030».

Remotely controlled robotic crawler vehicle for inspection of premises in case of fire

Vladislav A. Lozhkin✉, Timofey A. Pisarev

Saint Petersburg State Marine Technical University (SPbSMTU), St. Petersburg, Russia, vlad@lozhkin.su

Acknowledgements
Ministry of Education and Science of Russia within the framework of the strategic academic leadership program «Priority-2030».

На сегодняшний день проведение мероприятий разведки пожара сопряжено с высоким риском для жизни сотрудников пожарной охраны. Под разведкой пожара понимается следующее: совокупность мероприятий, направленных на сбор информации о пожаре для оценки обстановки и принятия решений по организации и осуществлению действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ [1].

К основным сведениям, получаемым при проведении разведки относят: определение очага возгорания, поиск людей внутри горящего здания, оценка обстановки (наличие вторичных очагов возгорания, опасность взрыва, наличие и возможность использования систем и средств противопожарной защиты, и возможность использования систем и средств противопожарной защиты организаций, наличие электроустановок под напряжением), и иные данные, необходимые для эффективной борьбы с огнём.

Проведение разведки пожара сопряжено с воздействием экстремальных факторов, угрожающих жизни и здоровью человека, таких как высокая температура, опасность обрушения здания, задымление помещений, наличие в воздухе токсичных веществ.

Исходя из вышеизложенного, возникает актуальная задача разработки универсального гусеничного дистанционно управляемого робототехнического аппарата для снижения риска для жизни и здоровья сотрудников пожарной охраны.

С учётом предъявленных ранее требований, необходимо принять во внимание, что некоторая их часть остаётся применимой и к роботу. Также, к ним выдвигаются дополнительные требования, исключительно как к роботу. По итогу, к роботу предоставляют следующие требования:

1. Мобильность. Необходимость предоставить возможность транспортировки робота на автотранспорте и перемещения в пространстве минимум двумя людьми задаёт требования по весу до 80 кг. Требование высокой проходимости в условиях урбанизированного ландшафта (особенно, на лестничных пролётах) определило выбор гусеничного шасси. Для обеспечения навигации в условиях ограниченной видимости, обусловленной задымлением, была интегрирована тепловизионная камера с выводом видеосигнала на дисплей операторского пульта.

2. Защита от внешних воздействий. Корпус, обладающий повышенной ударопрочностью, термостойкостью и влагозащитой, призванный защитить органы управления и электронные компоненты от случайных механических воздействий, кратковременного нахождения вблизи очага возгорания, попадания внутрь корпуса влаги.

3. Отказоустойчивость робота. Требование отказоустойчивости реализуется посредством резервирования систем управления и энергообеспечения. Возможность управлять роботом дистанционно как при помощи радиокоманд, так и при помощи проводного соединения, наличие многоканальной системы управления. Также, необходимо соблюсти требование автономности и большого радиуса действия. Для этого планируется оснастить робота аккумуляторами большой ёмкости и возможностью питать его через провод, параллельный каналу управления.

4. Функциональность. Для расширения функциональных возможностей робототехнический комплекс оснащается манипулятором, обеспечивающим выполнение операций по открытию дверей и захвату объектов.

На основании вышеописанных технических требований было выполнено концептуальное проектирование роботизированной платформы.

В проекте была произведена реализация требований следующим образом:

1. Согласно требованиям, к конструированию робота на гусеничном движителе, был произведён подбор наиболее подходящего конструкционного решения задачи. В результате анализа конструктивных решений был выбран вариант движителя с передним расположением ведущего колеса, что обеспечивает оптимальную проходимость. Отказ от поддерживающих катков, вместе с применением двух тележек с опорными катками на борт, обусловлен необходимостью подъёма по лестничным пролётам (угол наклона лестничных маршей в домах и производственных зданиях задан в диапазоне 20-35 градусов, но максимальный требуемый угол для проекта задан в 45 градусов).

2. Применение гусениц большой ширины, для увеличения площади зацепления и снижения давления.

3. Создание корпуса из жаропрочной стали.

4. Применение бесщеточных двигателей постоянного тока с выходной мощностью 500 Вт.

5. Создание системы управления с вынесенный пульт как при помощи радиокоманд, так и через оптоволоконный кабель с передачей изображения на экран пульта.

6. Создание пяти осевого манипулятора для взаимодействия с объектами.

Конструкция робота, включая гусеничный движитель, корпус и манипулятор, представлена на рисунке 1.

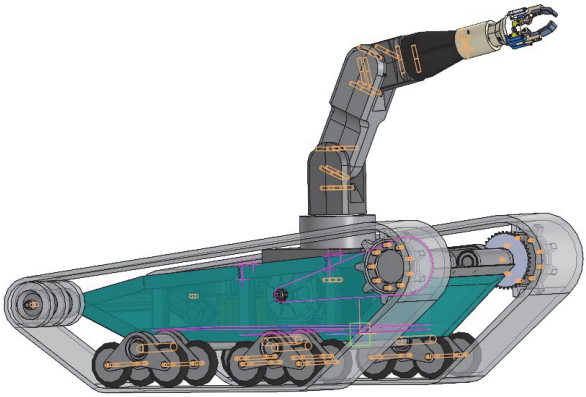


Рисунок 1 — Модель проекта робота

Таким образом, стремясь решить задачу разработки робота, были сформулированы основные требования к проекту универсального гусеничного дистанционно управляемого робототехнического аппарата для снижения риска для жизни и здоровья сотрудников пожарной охраны. Осуществлено проектирование мобильного робота с учётом всех требований [2-3].

Литература

1. Сыровой, В. В. Включение в понятие "разведка пожара" такой части, как Стратегическая разведка пожара / В. В. Сыровой // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2013. – № 1(4). – С. 159-160.

2. Complex modeling of power fluctuations stabilization digital control system for parallel operation of gas-diesel generators / A. Nyrkov, S. Sokolov, A. Zhilenkov, S. Chernyi // Proceedings of the 2016 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, EIConRusNW 2016, Saint Petersburg, 02–03 февраля 2016 года. – Saint Petersburg, 2016. – P. 636-640. – DOI 10.1109/EIConRusNW.2016.7448264. – EDN WWIOJJ.

3. Zhilenkov, A. A. Designing of sensoreless control system for brushless direct current motor / A. A. Zhilenkov, D. Denk // Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, ElConRus 2017, St. Petersburg, 01–03 февраля 2017 года. – St. Petersburg, 2017. – P. 1104-1108. – DOI 10.1109/EIConRus.2017.7910748. – EDN PRMIVB.

Сервисный робот как информационный агент для массовых мероприятий

Т.А. Писарев✉, В.А. Ложкин
Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический Университет (СПбГМТУ), Санкт-Петербург, Россия. pisarevtimofei@yandex.ru

Благодарности
Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации программы «Приоритет 2030».

A service robot to demonstrate the university's capabilities to applicants

Timofey A. Pisarev✉, Vladislav A. Lozhkin
Saint Petersburg State Marine Technical University (SPbSMTU), St. Petersburg, Russia, pisarevtimofei@yandex.ru

Acknowledgements
Ministry of Education and Science of Russia within the framework of the strategic academic leadership program «Priority-2030».

В докладе представляются результаты разработки сервисного робота для применения на массовых мероприятиях, которая ведётся в Институте робототехники и интеллектуальных систем (ИРИС) СПбГМТУ [1-3].

В условиях ускоренного технологического прогресса сервисные робототехнические системы становятся интегральным элементом современной повседневной жизни. Эти автоматизированные системы, предназначенные для выполнения широкого спектра задач в

сфере обслуживания, представляют собой яркий пример того, как инновации в области робототехники и искусственного интеллекта могут улучшить качество жизни людей и повысить эффективность различных отраслей.

Сервисные роботы – это многофункциональные устройства, разработанные для взаимодействия с людьми и окружающей средой. Они способны выполнять широкий спектр задач: от простой уборки помещений до сложных операций в медицине и промышленности. На основании такого описания робот должен обладать эстетически привлекательным дизайном, оснащённым звуковым интерфейсом и многосенсорными системами для обеспечения безопасного передвижения в условиях высокой плотности людей.

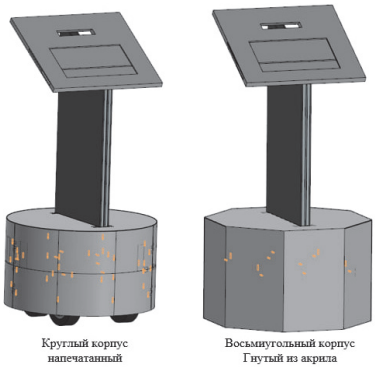


Рисунок 1 — Варианты внешнего вида робота

Для поиска наилучшего решения задачи гармоничного и приятного внешнего вида, рассматриваются два варианта корпуса - круглый, напечатанный из ABS пластика, и восьмиугольный, созданный из листов акрила, согнутых при термообработке. На верхней платформе располагается экран и камера глубины. Экран требуется для распространения рекламной информации и взаимодействия с пользователями, камера глубины является одним из органов очувствления.

Программное обеспечение разрабатывается с использованием операционной системы Robot Operating System, обеспечивающей модульный подход к управлению робототехническими системами. Управляющий микрокомпьютер – Jetson nano. Его использование обоснованно, будущей работой с видеоизображением с камеры глубины для взаимодействия с людьми.

Передвижение робота основано 4-х моторах, которые стоят на каждом колесе. Поворот и разворот осуществляются танковым способом.

Реальное изображение текущего состояния робота представлено на рисунке 2, демонстрирующем прогресс в сборке аппаратной части и интеграции ключевых компонентов. В дальнейшем планируется установка дисплея и финализация дизайна внешнего корпуса, что завершит этапы прототипирования и подготовки к тестовым испытаниям.

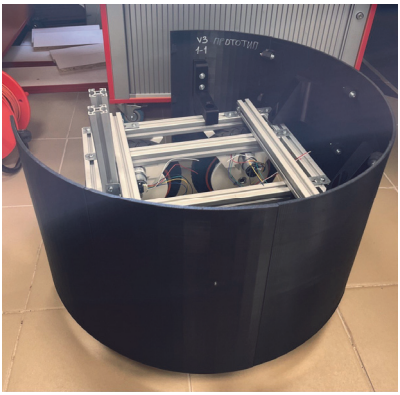


Рисунок 2 — Вид рамы и части корпуса

Литература

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024662038 Российская Федерация. Графическое приложение для коммуникации с дроном/программой-симулятором на базе клиент-серверного взаимодействия: № 2024661095: заявл. 17.05.2024: опубл. 23.05.2024 / А. А. Жиленков, М. С. Минин; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет». – EDN ULRJFY.

2. Zhilenkov, A. A. Designing of sensoreless control system for brushless direct current motor / A. A. Zhilenkov, D. Denk // Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, ElConRus 2017, St. Petersburg, 01–03 февраля 2017 года. – St. Petersburg, 2017. – P. 1104-1108. – DOI 10.1109/EIConRus.2017.7910748. – EDN PRMIVB.

3. A novel underwater bipedal walking soft robot bio-inspired by the coconut octopus / Q. Wu, X. Yang, Y. Wu [et al.] // Bioinspiration & Biomimetics. – 2021. – Vol. 16, No. 4. – P. 046007. – DOI 10.1088/1748-3190/abf6b9. – EDN DASXYQ.

Разработка мобильной роботизированной платформы botANNIC

С.А. Сенкевич✉, Д.А. Бобров, В.А. Бугров
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), г. Тамбов, Россия, thegreatarchitect1424@gmail.com

Благодарности
Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта «Разработка роботизированного комплекса наземной и воздушной беспилотных платформ для применения в агротехнологиях» (ЕГИСУ НИОКТР:124062100023-3).

Development of the mobile robotic platform botANNIC

Sergei A. Senkevich✉, Daniil A. Bobrov, Vadim A. Bugrov
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State Technical University» (FSBEI HE «TSTU»), Tambov, Russia, thegreatarchitect1424@gmail.com

Acknowledgements
The study was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the project «Development of a robotic complex of ground and air unmanned platforms for use in agricultural technologies» (EGISU NIOKTR: 124062100023-3).

В наше время мобильные роботизированные платформы используются во многих сферах жизнедеятельности человека. Особенно хорошо мобильные платформы зарекомендовали себя для решения задач автоматизации производств, в том числе в сельском хозяйстве.

Основным направлением развития мобильных роботизированных платформ является переход от управляемых оператором роботов к автономным мобильным роботам, наделенным собственными интеллектуальными системами управления. В этом случае человек определяет конечные цели для роботизированной платформы, а оставшуюся работу по построению маршрута передвижения берет на себя интеллектуальная система робота. В сельском хозяйстве они

находят применение для автоматизированного контроля качества овощей и фруктов, их сбора и обработки.

Для выполнения перечисленных выше задач разработана мобильная роботизированная платформа botANNIC. Платформа представляет собой двухосную тележку с колесами повышенной проходимости (см. рис. 1). Грузоподъемность платформы составила 150 кг.

Рисунок 1 — Мобильная роботизированная платформа botANNIC

Управление роботизированной платформой осуществляется как в ручном режиме с использованием оператором пульта управления, так и в автоматическом режиме с использованием алгоритмов, разработанных в среде ROS (Robot operating system) [1].

Определение положения платформы в пространстве, передача координат осуществляется с помощью технологии ГЛОНАСС. Информационно-сенсорная система платформы botANNIC также включает в себя четыре ультразвуковых датчика для определения расстояния до окружающих объектов и предотвращения столкновений платформы с ними, а также стереокамеру, которая в дополнение к системе глобальной навигации формирует локальную систему с помощью создания пространственной карты сада, в которой отслеживается расстояние до объектов и положение платформы среди них [2–3].

Платформа прошла испытания в полевых условиях. В рамках испытаний был осуществлен проезд по территории яблоневого сада, расположенного в районе поселка Госпитомник Тамбовской области. Платформа осуществила объезд сада как в ручном режиме, так и автономном. В процессе автоматической обработки изображения,

полученного со стереокамеры, была успешно построена пространственная карта сада и пути роботизированной платформы в нем (см. рис. 2). Ошибка позиционирования платформы в сравнении с глобальной системой навигации составила не более 10 см.

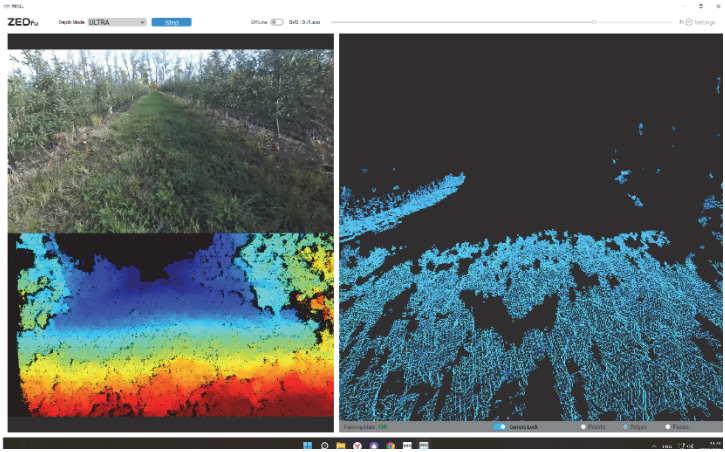


Рисунок 2 — Процесс построения пространственной карты

На корпус роботизированной платформы есть возможность закрепления необходимого оборудования. На платформу могут монтироваться установка по опрыскиванию растений пестицидами, манипулятор для сбора яблок или аппаратный комплекс камер для контроля качества фруктов.

В дальнейшем предполагается интегрировать разработанную платформу botANNIC в систему, включающую также воздушную беспилотную платформу. Такая воздушная платформа будет осуществлять контроль качества плодов, совершать облет сада и передавать наземной платформе координаты деревьев и плодов, которым требуется определенная обработка или сбор урожая.

Литература

1. Чернухин, Ю. В. Мобильная робототехническая платформа с перестраиваемой гетерогенной системой управления / Ю. В. Чернухин // Известия Южного федерального университета. Технические науки – 2012. – № 1 (126). – С. 96–103.

2. Бобров, Д.А. Построение пространственной карты с помощью стереокамеры ZED 2i / Д.А. Бобров, В. А. Бугров, П. Ф. Маслов, С.А.

Сенкевич // Цифровизация агропромышленного комплекса : Сборник научных статей III Международной научно-практической конференции, Тамбов, 25–27 октября 2022 года. Том 1. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2022. – С. 531-533.

3. Дивин, А.Г. Информационно-сенсорные системы мехатроники и роботизированные комплексы в неразрушающем контроле качества [Электронный ресурс] : учебное пособие. В 2-х ч. / А. Г. Дивин, П. В. Балабанов, Д. А. Любимова. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ».

Обзор путей повышения энергоэффективности движения колесной робототехники по различным опорным поверхностям

В.Г. Дыгало, И.А. Бадиков✉

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Москва, Россия, badikov@bmstu.ru

Overview of methods to improve the energy efficiency of wheeled robotic systems on various support surfaces

Vladislav G. Dygalo, Ivan A. Badikov✉

The Bauman Moscow State Technical University (BMSTU), Moscow, Russia, badikov@bmstu.ru

В настоящее время наблюдается стремительное развитие технологий мобильной робототехники, что обусловлено ростом спроса на автономные системы, способные эффективно выполнять сложные задачи в самых разнообразных условиях. Одной из ключевых задач в данной области является улучшение энергоэффективности работы колесных роботов, что позволит увеличить их автономность и продолжительность работы. Сокращение энергопотребления также способствует уменьшению массы энергоносителей, что положительно сказывается на маневренности и общей производительности машин.

Проходимость и адаптивность к различным типам поверхностей — еще одна важная задача, решаемая в современных исследованиях. Колесные машины часто сталкиваются с разнообразными условиями движения: от ровных дорог и пересеченной местности до экстремальных поверхностей, таких как лунные реголиты или густые сельскохозяйственные угодья. Для эффективной работы в таких условиях требуется разработка адаптивных систем управления, способных быстро и точно корректировать движение в зависимости от изменения характеристик опорной поверхности, предотвращая буксование, пробуксовку или «закапывание» в рыхлых грунтах.

Не менее важной задачей является обеспечение автономности и надежности навигации. Современные колесные роботы должны обладать высокой степенью автономности, что включает в себя возможность распознавания и избегания препятствий, самостоятельного планирования маршрута и адаптации к непредсказуемым ситуациям. Для этого активно разрабатываются и внедряются методы машинного обучения, алгоритмы распознавания образов и технологии обработки данных с множества сенсоров, таких как лидары, камеры и ультразвуковые датчики.

Также стоит отметить задачи, связанные с интеграцией колесных роботов в различные сферы промышленности и сельского хозяйства. В сельскохозяйственном секторе внедрение беспилотных колесных машин позволяет значительно повысить эффективность выполнения задач, таких как обработка почвы, посадка и сбор урожая, мониторинг состояния растений и даже борьба с вредителями. В промышленности колесные роботы используются для транспортировки грузов, инспекции опасных зон и автоматизации логистических операций.

Проанализировав работы, опубликованные в последний период, можно отметить следующее:

В работе [1] приведено энергоэффективное управление движителями колесных машин на ровных поверхностях. В данной работе рассматривается адаптация подводимой мощности к условиям ровной твердой опорной поверхности, что позволяет увеличить энергоэффективность при сохранении высоких динамических характеристик машины. Исследование подчеркивает значимость точного регулирования мощности в зависимости от состояния поверхности.

В работе [2] приведено управление распределением мощности в планетоходах на лунной поверхности, был разработан закон энергоэффективного управления. Его применение показало значительный прогресс в обеспечении проходимости и минимизации энергопотреб-

ления планетоходов, что открывает новые перспективы для исследования Луны и других космических тел без значительного увеличения энергопотребления. Проведение экспериментов с использованием грунтового канала показало основное преимущество указанного закона, которое заключается в возможности ограничения буксования движителей на основании данных о силовых факторах, реализуемых на его оси, что позволяет избежать интенсивного эффекта «самозакапывания» колес и, как следствие, потери проходимости планетохода.

В работе [6] исследуется влияние свойств почвы и конфигурации силовой установки на энергопотребление электрических колесных сельскохозяйственных роботов. Моделирование и анализ трех конфигураций привода (задний, передний и полный) на различных почвах показали, что оптимальная конфигурация зависит от типа почвы и нагрузки. Полный привод обеспечивает меньшую вариабельность энергопотребления, что важно для сложных условий, тогда как задний привод может быть эффективен при легких нагрузках благодаря меньшему весу.

В работе [7] представлены алгоритмы предсказания энергопотребления для мобильных роботов с дифференциальным и гусеничным управлением на различных типах поверхностей. Использование методов искусственного интеллекта, таких как нейронные сети, позволило повысить точность прогнозирования энергопотребления без необходимости создания сложных моделей взаимодействия колес с поверхностью. Это особенно важно при работе в изменяющихся условиях эксплуатации.

Роботизированная танкетка для интеллектуального биоэнергетического сельского хозяйства была описана в статье зарубежных ученых [3]. Данный проект показывает разработку и испытания мобильного робота для сельскохозяйственных задач на плантациях сахарного тростника. Были проведены испытания на сельскохозяйственной плантации, которые показали возможности применения беспилотных технологий при движении по пересеченной местности и выявили недостатки, такие как трудность распознавания объектов в зарослях растений. Применение данного робота демонстрирует потенциал увеличения производительности и точности сельскохозяйственных работ при одновременном снижении воздействия на окружающую среду и улучшении условий труда.

Математическая модель [4] описывает взаимодействие между колесным движителем и лесными дорогами. Полученные в результате моделирования данные полезны для прогнозирования и расчета про-

ходимости территории, расчета вибрационных нагрузок при движении по дорогам рассматриваемого типа, а также нагруженности силовых передач в трансмиссии.

В работе [5] об управлении мобильным роботом на основе алгоритма распознавания образов показано использование алгоритмов распознавания образов для навигации мобильного робота. Это открывает новые возможности для автономной работы в сложных условиях, увеличивая эффективность и точность выполнения задач.

Развитие исследований и разработок в области управления мобильными роботизированными системами имеет значительный потенциал для повышения их энергоэффективности и функциональности. Применение различных моделей управления и планирование энергопотребления, а также использование алгоритмов машинного обучения открывают новые возможности для оптимизации работы колесных роботов в сложных и изменяющихся условиях эксплуатации. Особое внимание необходимо уделять адаптации систем управления к типам поверхностей и нагрузкам, что позволит улучшить автономность и производительность машин. Исследования подчеркивают важность интеграции знаний о взаимодействии машины с почвой и параметрах движения в алгоритмы управления, что позволяет снизить энергопотребление, повысить проходимость и обеспечить надежную работу машин в самых сложных условиях. Внедрение и дальнейшее совершенствование предложенных решений позволит не только повысить эффективность работы колесных роботов, но и значительно сократить их экологический след.

Все эти задачи требуют комплексного подхода, включающего разработку законов управления движением, моделирование взаимодействия колесных машин с различными поверхностями и создание эффективных алгоритмов для анализа данных с сенсоров. Решение этих задач позволит вывести колесные роботизированные системы на новый уровень функциональности и надежности, расширив их возможности в самых различных условиях эксплуатации. Так, энергоэффективно распределяя мощность, подводимую к движителю, можно увеличить радиус действия беспилотной машины на одном запасе хода. С другой стороны, это дает возможность использовать аккумуляторы меньшего объема и количества, что позволит минимизировать массу.

Литература

1. Газизулин Р.Л. Разработка закона управления подводимой мощностью к движителю колесной машины при движении по плотной ровной опорной поверхности: дис. – МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023.
2. Чжэн Хуайюй Разработка энергоэффективного закона управления распределением подводимой мощности к колесам планетохода при движении по поверхности: дис. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023.
3. Xaud M. F. S. et al. Robotic tankette for intelligent bioenergy agriculture: design, development and field tests //arXiv preprint arXiv:1901.00761. – 2019.
4. Редкозубов А. В. и др. Математическая модель поверхности движения лесных дорог //Труды НГТУ им. РЕ Алексеева. – 2014. – №. 4 (106). – С. 348-352.
5. Нгуен Т. З. Управление мобильным роботом на основе алгоритмов распознавания образов: дис. – Астраханский государственный технический университет, 2015.
6. Kivekäs K., Lajunen A. Effect of Soil Properties and Powertrain Configuration on the Energy Consumption of Wheeled Electric Agricultural Robots //Energies. – 2024. – Т. 17. – №. 4. – С. 966.
7. Góra K. et al. Comparison of energy prediction algorithms for differential and skid-steer drive mobile robots on different ground surfaces //Energies. – 2021. – Т. 14. – №. 20. – С. 6722.

Использование токовых энергозатрат в мобильных роботах, движущихся по разным подстилающим поверхностям

А.С. Беляев✉, О.Ю. Кушнарев, О.А. Брылев
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ФГАОУ ВО НИ ТПУ), г. Томск, Россия, asb22@tpu.ru

Using current energy consumption in mobile robots moving on different underlying surfaces

Aleksandr S. Belyaev✉, Oleg Yu. Kushnarev, Oleg A. Brylev
National Research Tomsk Polytechnic University (TPU), Tomsk, Russia, asb22@tpu.ru

Для мобильных роботов решение задачи навигации в среде их функционирования является обязательной ввиду необходимости корректного выполнения движения в связи с поставленной задачей. Однако в естественных условиях, где количество внешних факторов, влияющих на робота, существенно возрастает по сравнению с условиями внутри помещений, решение данной задачи существенно усложняется. При этом данные факторы можно упрощенно разделить на 2 группы: влияющие на непосредственное движение робота и влияющие на сенсорную систему. Среди факторов первой группы одним из основных является влияние подстилающей поверхности на характер движения робота, что, например, может приводить к потере сцепления, застреванию или неверному определению координат, необходимых для решения задачи управления движением. Для определения данного влияния либо используют модели с предварительной классификацией поверхностей, либо получение обобщенных моделей влияния без учета класса. При этом сами модели могут строиться, как на физических принципах, так и при помощи методов искусственного интеллекта.

С точки зрения определения физических параметров среды, авторами проведены исследования [1], по определению величины проскальзывания колес робота с голономной кинематикой платформы по разным поверхностям с использование токов двигателей робота.

Сенсорная информация с токов двигателей также легла в основу разработанного классификатора типов подстилающих поверхностей на основе нечеткой логики [2]. Данная работа является продолжением исследований о применимости токовых энергозатрат движения робота в качестве информации о влиянии подстилающей поверхности и определении типа данной поверхности.

Литература

1. Belyaev A.S., Brylev O.A., Ivanov E.A. Slip Detection and Compensation System for Mobile Robot in Heterogeneous Environment // IFAC-PapersOnLine. – Volume 54, Issue 13, 2021, Pages 339-344.

2. Belyaev A. S., Kushnarev O. Yu., Brylev O. A. Synthesis of a hybrid underlying surface classifier based on fuzzy logic using current consumption of mobile robot motion // Информационно-управляющие системы. – 2024, № 1, с. 31–43.

Аспекты формирования двухконтурной системы управления преобразователя напряжений мобильных робототехнических систем

А.В. Вынгра✉, В.А. Кучеренко, С.Г. Черный, А.П. Шляхов
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Херсонский технический университет» (ФГБОУ ВО Херсонской области «ХТУ»), г. Геническ, Херсонская область, Россия, avyngra@mail.ru

Aspects of the formation of a dual-circuit control system for voltage converter of mobile systems

Alexey V. Vyngra✉, Vladislav A. Kucherenko,
Sergey G. Chernyi, Andrey P. Shlyuakhov
Kherson Technical University (KhTU), Genichesk, Russia, avyngra@mail.ru

При разработке сложных систем управления компонентами силовой преобразовательной техники возникает ряд проблем, связанных с аппаратной реализацией алгоритмов. Одной из наиболее распространённых проблем является преобразование разработанной линейной непрерывной системы в дискретную. При формировании программ управления необходимо учитывать частоты работы микроконтроллера и его периферии, а также обеспечить согласование опроса и тактирования аналого-цифрового преобразователя для обеспечения точности и устойчивости систем обратной связи.

В работе исследованы аспекты реализации одноконтурной и двухконтурной системы управления мостовым преобразователем для питания мобильных транспортных систем. Реализация происходила на аппаратной платформе микроконтроллеров STM32, в среде программирования Simulink с дополнительными библиотеками для прошивки микроконтроллеров.

Реализованная программа одноконтурной системы управления представлена на рисунке 1.

Программа включает в себя блоки аналого-цифрового преобразователя, обеспечивающих обратную связь по напряжения и гибкую настройку референтного значения выходного напряжения. Ввиду наличия высокочастотного звена в преобразователе, аппаратная часть характеризуется наличием высокочастотных помех. Для устранения их влияния на сигнал обратной связи в структуре регулятора реализован Biquad фильтр.

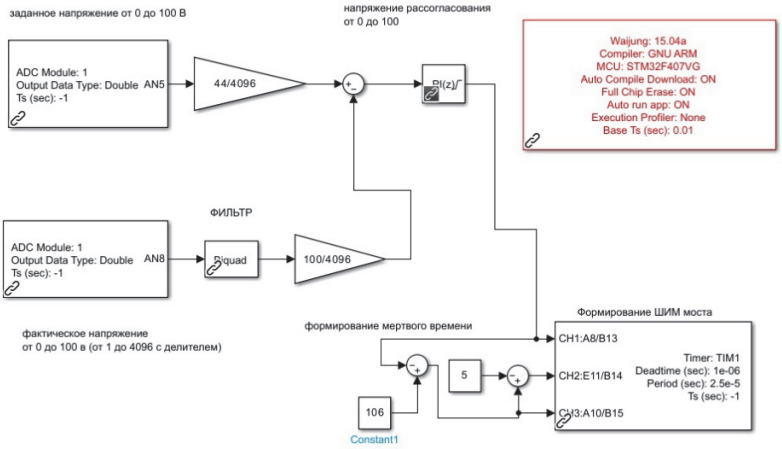


Рисунок 1 — Проект программы управления микроконтроллером в среде Simulink

Сигналом управления является коэффициент заполнения ШИМ-сигнала для полномостового преобразователя. ШИМ сигнал изменяется для двух плеч инвертора, формируя прямоугольные импульсы от 1% до 50% заполняемости в каждом плече. При максимальном заполнении на инвертор подается напряжение типа меандр.

Заключение

В ходе исследования получены результаты для различных значений дискретности системы управления. При повышении дискретности (уменьшении периода работы) наблюдалось повышение точности регулирования, однако снижалась скорость реакции системы на изменения референтных значений. Это обусловлено ограниченными возможностями вычислительный мощности микропроцессора. При снижении дискретности наблюдалось снижение устойчивости системы управления, ввиду снижения частоты выборки значений аналого-цифровым преобразователем.

Литература

1. Вынгра, А. В. Алгоритмы и программные решения для оценки уровня интергармонических составляющих напряжения и тока // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. Серия: Морские технологии. 2024. № 1. С. 6-15.

2. Мелешин, В. Симпозиум по Smart Grids: настоящее и будущее глазами специалистов // Силовая электроника. 2014. Т. 4, № 49. С. 6-8.

3. Шестернева, А. М. Титаренко О. Н., Малюк Е. Г. Энергосберегающие решения в распределительных электрических сетях с применением интеллектуальных сетей Smart Grid // Энергетические установки и технологии. 2020. Т. 6, № 4. С. 103-111.

4. B. A. Avdeev, A. V. Vyngra, O. O. Kaminskaya and A. I. Yashin, «On the Use of a Solid-State Transformer in a Power Supply System with Unbalanced Phase Voltages», 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), St. Petersburg, Moscow, Russia, 2021, pp. 797-801, doi: 10.1109/ElConRus51938.2021.9396469.

5. M. Mohamadi, E. Roshandel, S. M. Gheasaryan and P. Khoshkalamyan, «Stability and power factor improvement in a power system with simultaneous generation of steam and solar power plant», 2016 6th Conference on Thermal Power Plants (CTPP), Tehran, Iran, 2016, pp. 83-88, doi: 10.1109/CTPP.2016.7483058.

Алгоритм адаптивного управления четвероногими роботами в условиях неизвестной высокогорной местности

В.С. Соболев✉, А.С. Соболев, А.С. Кустов, А.В. Дегтярев
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Херсонский технический университет» (ФГБОУ ВО Херсонской области «ХТУ»), г. Геническ, Херсонская область, Россия, sobol_slavik02@mail.ru

Algorithm for adaptive control of quadruped robots in unknown high-mountain terrain

Vyacheslav S. Sobolev✉, Alexander S. Sobolev,
Alexander S. Kustov, Andrey V. Degtyarev
Kherson Technical University (KhTU), Genichesk, Russia, sobol_slavik02@mail.ru

Четвероногие роботы привлекли значительное внимание в области робототехники благодаря своей исключительной динамической устойчивости и способности умело ориентироваться в сложных условиях. Их применение охватывает различные области, включая геологоразведку, спасательные операции после стихийных бедствий и

промышленные инспекции, где их надежная адаптивность к неровной и наклонной местности незаменима. Примечательно, что передвижение по сложной местности, особенно ходьба по склонам, представляет собой ключевую область исследований. Отличительное преимущество четвероногих роботов заключается в присущей им способности динамически корректировать положение тела в ответ на меняющиеся условия местности. Однако сложные задачи по точному определению наклона местности, вычислению крутящих моментов в суставах на основе наклона местности и последующему выполнению точных регулировок для стабилизации положения тела представляют собой серьезные проблемы в этой области исследований.

Традиционно исследователи полагались на внешние визуальные системы для оценки местности на склонах, однако их практическое применение ограничено вычислительной эффективностью и восприимчивостью к световым помехам

С постоянным улучшением вычислительной мощности модельный прогнозирующий контроль (MPC) все чаще применяется в таких областях, как управление роботами. Его основная идея заключается в использовании текущего состояния роботизированной системы и ограничений для прогнозирования будущих состояний робота в пределах выбранного горизонта прогнозирования, а затем в поиске оптимальной последовательности управляющих вводов. Впоследствии в качестве входных данных выбирается только первый набор результатов оптимальной последовательности управления, и этот процесс повторяется на следующем временном шаге, гарантируя, что будущие состояния робота соответствуют ожиданиям, по сути, используя стратегию постепенной оптимизации. По сравнению с другими алгоритмами, зависящими от модели, такими как LQR, преимущество MPC заключается в его способности учитывать множество ограничений, что делает его очень подходящим для роботизированных систем с ограничениями на трение, ограничениями состояния и подобными сценариями.

На этом этапе с использованием широко используемых решателей квадратичного программирования, таких как OSQP, на основе из материалов [1-4], можно получить оптимальное распределение сил реакции грунта на концах опор. Кроме того, желаемые крутящие моменты в суставах могут быть получены непосредственно с помощью обратной динамики:

$$\tau_{st,i} = -J_i^T F_i \qquad (1)$$

где J_i представляет собой матрицу Якоби i-го этапа. По сравнению с

существующими методами, наш контроллер добился наилучших результатов. Четвероногий робот может взбираться по склонам с максимальным углом наклона 43∘ при текущей поступательной скорости 0,7м / с и максимальном угле наклона 32∘ при скорости вращения 2 рад / с во время стационарного вращения.

Литература

1. S. LeCleac'h. Fast contact-implicit model predictive control// S. LeCleac'h, T.A. Howell, S. Yang, C.-Y. Lee, J. / IEEE Trans. Robot., 40 (2024). 1617–1629 с.

2. Nattapong Promkaew. Development of metaheuristic algorithms for efficient path planning of autonomous mobile robots in indoor environments// Nattapong Promkaew, Phiranat Srisan / Results in Engineering Volume 22, июнь 2024, 102280. 67 – 73 с.

3. H.Y. Zhang. Path planning for the mobile robot: a review// H.Y. Zhang, W.M. Lin, A.X. Chen / Symmetry, 10 (10) (2018), 102280. 450 с.

4. Кучеренко, В. А. Моделирование системы диагностики датчиков судовых энергетических систем / В. А. Кучеренко, С. Г. Черный, А. С. Кустов // Новые технологии в судостроении НТС-2023 : Сборник трудов отраслевой научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 22–23 ноября 2023 года. – Санкт-Петербург: Центр технологии судостроения и судоремонта, 2023. – С. 77-82. – EDN DVVAAB.

Разработка многокомпонентного датчика усилия мобильного робота

М.Т. Коротких, И.И. Саитов✉

Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, i.saitov@rtc.ru

Development of a multicomponent force sensor for a mobile robot

Mikhail T. Korotkikh, Igor I. Saitov✉

Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics, St. Petersburg, Russia, i.saitov@rtc.ru

В данной работе рассмотрен процесс разработки и оптимизации геометрии упругого элемента силомоментного датчика. Рассмотрены различные физические принципы и варианты конструкции. Сформулированы требования и ограничения для интеграции датчика в шарнир существующего мобильного робота.

Одним из путей повышения эффективности использования мобильных манипуляционных систем в недетерминированных средах является обеспечение управления с силовой обратной связью. Для реализации такого метода управления необходимо обеспечить измерения усилий, прикладываемых к выходному звену манипулятора. Такие измерения возможно выполнить с помощью многокомпонентных датчиков усилия.

Существует множество физических принципов, на которых может быть реализован такой датчик. Датчики, основанные на оптоэлектронном принципе, измеряют изменение интенсивности освещенности между подвижной и неподвижной частями датчика.

Пьезоэлектрические датчики используют эффект возникновения заряда в пьезоэлектриках при прикладывании к ним механической нагрузки. Такие датчики применяются там, где сила носит динамический характер. Они обладают сочетанием высоких значений осевой чувствительности, собственной частоты и ударной стойкости.

Тензодатчики работают на принципе зависимости электрического сопротивления от деформации. Датчики такого типа являются наиболее широко распространенными они обладают высокой надежностью, удобством компенсации погрешностей в составе тензомоста. В данной работе датчик построен на этом принципе.

На рисунке 1 представлены различные конфигурации расположения упругих элементов тензодатчика от элементарных до более сложных. Боле подробно они рассмотрены в [1].

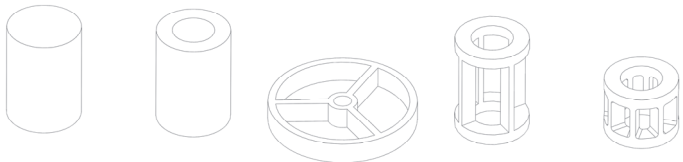


Рисунок 1 — Различные конфигурации упругих элементов датчика: а) цилиндрическая; б) трубчатая; в) дисковая с поперечными спицами; г) трубчатая с продольными спицами; д) трубчатая с увеличенным количеством спиц

В данной работе исходя из компоновочных ограничений, накладываемых конструкцией шарнира робота, наиболее подходящей является конфигурация д.

Сечение шарнира манипулятора с интегрированным датчиком представлено на рисунке 1.

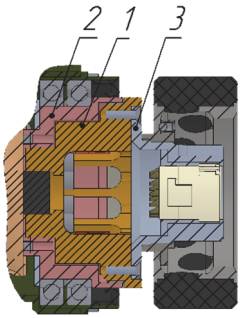


Рисунок 2 — Фрагмент конструкции шарнира с установленным датчиком: 1 – датчик; 2 – стакан шарнира; 3 – фланец быстроразъемного соединения

Один фланец датчика прикручен к стакану шарнира. К второму прикреплён фланец быстросъемного соединения для установки выходного звена. Зазоры между датчиком и стаканом шарнира соответствуют рабочим деформациям датчика и при штатной эксплуатации не оказывают влияния на показания. При превышении нагрузки жесткие стенки стакана выполняют защитную функцию и предотвращают разрушение датчика.

При разработке такого датчика к нему предъявляется ряд противоречивых требований. Одно из основных это баланс между податливостью, необходимой для обеспечения чувствительности и достаточной жесткостью.

Для выполнения всех требований, предъявляемых к датчику необходимо проводить оптимизацию геометрии упругого элемента.

Наружный диаметр и длина датчика ограничена габаритами шарнира. Количество упругих элементов выбрано равным 8 исходя из компоновочных соображений и удобства установки тензорезисторов подключенных по мостовой схеме.

Таким образом доступными для оптимизации остаются только толщина и высота (диаметр внутреннего отверстия) упругого элемента.

Для выполнения задачи оптимизации рассмотрим элементарную математическую модель датчика:

$$f = As,$$

где $s \in R^n, n \leq 6$ вектор нагрузки ;
$f \in R^m$, вектор деформаций под нагрузкой;
$A \in R^{mxn}$ матрица соответвствия.

Матрица соответствия A получается путем решения системы уравнений. В качестве критерия оптимальности конструкции датчика в [2] предлагается использовать число обусловленности матрицы.

$$cond(A) = \|A\|\|A^{-1}\|$$

где $\|A\|$-норма матрицы A

Значение $cond(A) = 1$ говорит о хорошей обусловленности матрицы и изотропии датчика к прикладываемым нагрузкам.

Значение параметра $cond(A) \gg 1$, говорит о неудовлетворительном качестве датчика и анизотропии к прикладываемым нагрузкам.

Задача оптимизации может быть сформулирована как

$$\Phi(p_1, p_2, \dots p_m) = cond(A(p_1, p_2, \dots, p_m))$$

где $p_1, p_2, \dots p_m$ геометрические параметры упругого элемента.

Таким образом для решения задачи оптимизации геометрических параметров упругого элемента необходимо найти вектор параметров p, достающий минимум целевой функции с учетом целевых и фазовых ограничений.

По результатам выполнения оптимизации получены значения геометрии упругого элемента датчика, удовлетворяющие заданным требованиям.

Литература

1. Aghili, F. Joint Torque Sensory in Robotics. // Industrial Robotics: Programming, Simulation and Applicationl, p. 702, DOI:10.5772/4890

2. Бардаев П. П., Данилов М. Н. Особенности разработки измерительновычислительных систем для проведения испытаний моделей летательных аппаратов в аэродинамических трубах // Материалы III отраслевой конференции по измерительной технике и метрологии для исследований летательных аппаратов, «КИМИЛА 2018»: Центральный аэрогидродинамический институт им. профессора

Н.Е. Жуковского (Россия, Москва, Жуковский, Дом ученых ЦАГИ, 5-6 июня, 2018): ISSN 2541-8920. 2018. С.564-573.

Об особенностях управления мобильными роботами в сценариях экстремальной робототехники

Б.А. Спасский
Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, bors@rtc.ru

Благодарности
Настоящая работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России «Разработка предложений по формированию приоритетных направлений поисковых и прикладных научных исследований с учетом анализа динамики развития рынков робототехники в России и за рубежом» № 075-00697-24-02 от 29 мая 2024 г.

On the specific features of mobile robot control in extreme robotics scenarios

Boris A. Spassky
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), St. Petersburg, Russia, bors@rtc.ru

Acknowledgements
This work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of Russia «Development of proposals for the formation of priority areas of exploratory and applied scientific research, taking into account the analysis of the dynamics of robotics markets development in Russia and abroad» № 075-00697-24-02 dated May 29, 2024.

Разнообразные факторы опасности, представляющие непосредственную угрозу для здоровья и жизни людей, возникающие в результате техногенных катастроф или стихийных бедствий, определяют необходимость использования роботов, что минимизирует или вовсе

исключает риски, связанные с участием людей в ликвидации последствий таких бедствий или катастроф. Целесообразность использования роботов в штатных, но опасных для человека обстоятельствах, также является драйвером создания роботов и роботизированных устройств для работы в экстремальных условиях. Несмотря на то, что в последнее время достигнут серьёзный прогресс в области повышения автономности роботов, в большинстве сценариев экстремальной робототехники всё ещё используются не самые высокие уровни автономности и наиболее распространённым режимом управления попрежнему является режим телеуправления. И дело здесь не только в здоровом консерватизме руководства ведомств и организаций, эксплуатирующих такие роботы. В большей степени необходимость использования режима телеуправления, подразумевающего постоянное присутствие оператора в контуре управления, связана со сложностью задач, которые приходится решать в слабоструктурированной, динамически изменяющейся среде в условиях серьёзных ограничений (например, по времени), связанных с опасными факторами этой среды.

Однако следует понимать, что режим телеуправления не ограничивается только подрежимом прямого телеуправления, в котором робот управляется точно так же, как и дистанционно управляемая машина, самостоятельно не выполняя никаких функций, связанных с решением поставленной задачи.

В связи с этим целесообразно рассмотреть различные подрежимы управления и обсудить ряд определений, поскольку они зачастую поразному трактуются не только разными авторами, но, порой, и различными стандартами. Справедливости ради следует добавить, что стандарты тоже меняются, хотя не всегда новое определение оказывается удачнее старого. Более того, некоторую путаницу вносит не вполне корректный перевод ряда терминов. Со временем такие неточности будут, конечно, исправлены.

Экстремальная робототехника охватывает весьма широкий спектр задач, решаемых как в штатных, так и в аварийных условиях, поэтому уровень автономности роботов может широко варьироваться в зависимости от выполняемой миссии. В ряде случаев целесообразно переходить от режима телеуправления (пусть и с поддержкой роботом отдельных действий оператора) к совместному выполнению задачи. Следует однозначно определить понятия смешанной или совместной инициативы, совместного или коллективного управления, рассмотреть возможность использования систем управления, реализующих

переменные уровни автономности, поочерёдное или переключаемое управление.

Отсутствие стандартов, описывающих уровни автономности мобильных сервисных роботов, однозначно трактующих основные термины, относящиеся к различным режимам управления и увязывающих между собой эти понятия, создаёт определённые трудности в понимании сущности управления [1]. Совершенно очевидно, что последствия, возникающие в результате природных стихийных бедствий, техногенных аварий и катастроф, а также в результате военных действий или террористических актов могут кардинально отличаться и требовать разных подходов к управлению роботами. Необходимо обсудить терминологию и рассмотреть различные стратегии управления мобильными роботами с переменными уровнями автономности при выполнении работ в экстремальных условиях и ситуациях.

Литература

1. Спасский Б.А. О возможности использования систем управления с переменными уровнями автономности в задачах экстремальной робототехники / Б.А. Спасский, А.В. Попов // Робототехника и техническая кибернетика. – 2024. – Т. 12. – №2. – С. 99-108. – Текст непосредственный.

Устройство и особенности работы транспортного модуля внутритрубного робототехнического диагностического комплекса высокой проходимости

В.А. Волков✉, Д.Д. Филиппов

Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, volkov.v@rtc.ru

Благодарности

Работа выполнена в рамках НИОКТР, выполняемых ЦНИИ РТК при реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Разработка роботизированного диагностического комплекса для внутритрубного контроля трубопроводов» при

финансовой поддержке Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение о предоставлении субсидии № 075-11-2022-035.

The structure and features of the operation of the transport module of the robotic diagnostic complex for in-line inspection of pipelines

Vladislav A. Volkov✉, Danila D. Filippov
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), St. Petersburg, Russia, volkov.v@rtc.ru

Acknowledgements
The work was carried out within the framework of R&D carried out by the Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics in the implementation of a comprehensive project to create a high-tech production «Development of a robotic diagnostic complex for in-line inspection of pipelines» with financial support from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation; subsidy agreement No. 075-11-2022-035.

Россия обладает уникальной газотранспортной системой (ГТС) с более чем 170 тыс. км магистральных газопроводов (МГ) большого диаметра. ГТС России таких масштабов достигла за десятки лет, и с увеличением возраста МГ и из-за особенностей эксплуатации в природно-климатических условиях различных регионов России происходит образование и развитие различных дефектов [1].

Для оценки состояния старых МГ активно развиваются и применяются внутритрубные диагностические комплексы (ВДК). Современные ВДК не обладают одновременно проходимостью, достаточной для преодоления трубопроводов сложной конфигурации (содержащих переходы диаметров трубопровода, отводы, тройники, большое количество загрязнений), и оборудованием, необходимым для диагностики состояния трубопровода [2].

ЦНИИ РТК разрабатывает внутритрубный робототехнический диагностический комплекс (ВРДК), способный преодолеть и провести диагностику старых МГ сложной конфигурации. Важной частью этого ВРДК является транспортный модуль (см. рис. 1). Запатентованные [3, 4] особенности устройства транспортного модуля и его лучей (см. рис. 2) отвечают за проходимость комплекса [5, 6].

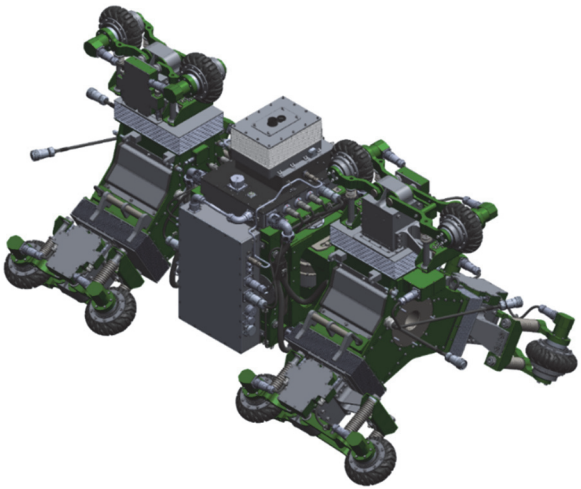


Рисунок 1 — Транспортный модуль ВРДК

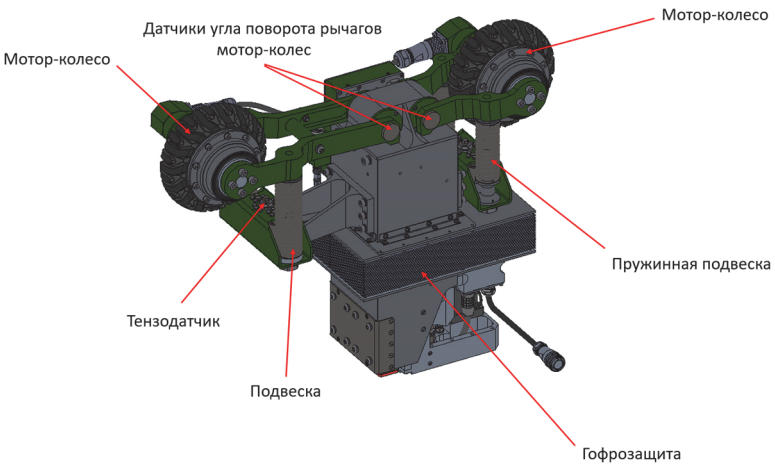


Рисунок 2 — Луч транспортного модуля

Для обеспечения высокой проходимости транспортный модуль оснащен большим количеством подвижных элементов, как управляемых электроприводом, так и пассивных подпружиненных составляющих адаптивной подвески. Наличие каждого элемента транспортного модуля обосновано случаями его использования в определенных режимах работы ВРДК при преодолении различных элементов МГ, однако в сумме наличие этих элементов порождает ряд задач, решение

которых необходимо для построения алгоритмов управления ВРДК: расчет адаптивной подвески транспортного модуля, статическая неопределимость положения ВРДК в трубопроводе, выбор режимов работы составных частей робота в зависимости от типа преодолеваемого участка трубопровода, исследование отказоустойчивости системы. Параметры адаптивной подвески жестко связаны с массогабаритными характеристиками как транспортного модуля, так и полезной нагрузки, носимой ВРДК. Задачу поиска положения робота внутри трубопровода в зависимости от внешних условий возможно решить двумя путями: использованием специального программного обеспечения для моделирования динамики механизмов или написанием собственной программы с использованием итеративных методов сходимости.

Решение данных задач раскрывает особенности устройства и работы транспортного модуля ВРДК, влияющие на проходимость комплекса.

Литература

1. Харионовский, В. В. Надежность магистральных газопроводов: становление, развитие и современное состояние / В. В. Харионовский // Газовая промышленность. – 2019. – № 1(779). – С. 56-68.

2. Волков, В. А. Конструктивные особенности робототехнических комплексов внутритрубной диагностики / В. А. Волков, В. В. Варлашин // Робототехника и техническая кибернетика. – 2022. – Т. 10, № 4. – С. 309-320. – DOI 10.31776/RTCJ.10410.

3. Патент № 2802483 C1 Российская Федерация, МПК F14D 5/06. Транспортный модуль внутритрубного диагностического робота: № 2022135152: заявл. 29.12.2022: опубл. 29.08.2023 / Ю.А. Седелев [и др.]; заявитель ООО «ЭНТЭ».

4. Патент № 2821671 C1 Российская Федерация, МПК F17D 5/06. Адаптивная колесная опора транспортного модуля внутритрубного диагностического робота: № 2023134186: заявл. 20.12.2023: опубл. 26.06.2024 / Ю.А. Седелев [и др.]; заявитель ООО «ЭНТЭ».

5. Транспортный модуль внутритрубного диагностического робота / А. И. Прядко, Н. В. Павлов, Д. С. Попов [и др.] // Робототехника и техническая кибернетика. – 2023. – Т. 11, № 3. – С. 224-231. – DOI 10.31776/RTCJ.11308.

6. Волков, В. А. Адаптивная подвеска внутритрубного диагностического робота / В. А. Волков // Робототехника и техническая кибернетика. – 2024. – Т. 12, № 1. – С. 63-70. – DOI 10.31776/RTCJ.12108.

СЕКЦИЯ «МОРСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Интеллектуальная подводная транспортная система или путь к пятой транспортной моде

В.И. Комашинский[1], В.И. Поленин[2], Д.Ф. Ткачев[1], В.И. Татаринов[1]✉

[1]ФГКВОУ ВО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного» МО РФ (Военная академия связи), Санкт-Петербург, Россия, tatar271@mail.ru

[2]ФГКВОУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-Морского Флота «Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова», Санкт-Петербург, Россия

An intelligent underwater transport system or the path to the fifth transport mode

Vladimir I. Komashinsky[1], Vladimir I. Polenin[2], Dmitry F. Tkachev[1], Vladimir I. Tatarinov[1]✉

[1]Military Academy of Communications named after Marshal Soviet Union C.M. Budyonny, St. Petersburg, Russia, tatar271@mail.ru

[2]Military Educational and Scientific Center of the Navy @Naval Academy named after Admiral of the Fleet of the Soviet Union N.G. Kuznetsov, St. Petersburg, Russia

Освоение подводного пространства остается давней мечтой человечества. Перевозки пассажиров и грузов подводным транспортом становятся все более и более актуальными, что вызвано постоянным расширением добычи подводных полезных ископаемых, увеличением населения земли и сокращением наиболее пригодных для жизни мест обитания, вызванных потеплением климата и возрастающими экологическими проблемами.

Для современной России, живущей в условиях экономических санкций, создание новой подводной транспортной системы приобретает дополнительную экономическую актуальность и кроме того, позволяет сделать несколько новых научно-технологических шагов в развитии транспорта, подводных телекоммуникаций и транспортных интеллектуальных систем управления. Кроме того, построение интеллектуального подводного транспорта позволит существенно расширить область применение других транспортных мод (автомо-

бильной, железнодорожной, авиационной, водной) и обеспечит повышение качества мультимодальных перевозок (своевременности, безопасности и надежности).

В докладе показан комплекс перемен, затрагивающих транспортную индустрию (подводное судостроение), подводные транспортные средства (автономные и роботизированные) и магистрали подводной транспортной системы. Предложены новые подходы к интеллектуализации подводного пространства за счет создания подводной энергоинформационной системы, построенной на основе широкого использования подводного гибридного (оптико - электрического) кабеля, подводных сенсоров и исполнительных устройств. Отмечена ведущая роль новых информационно-телекоммуникационных технологий и технологий искусственного интеллекта в формировании национальной и международной интеллектуальной системы подводного транспорта в период 4-й индустриальной революции.

Система управления необитаемыми подводными аппаратами, оснащенными многозвенными манипуляторами, для автономного выполнения силовых манипуляционных операций

Н.А. Красавин✉, А.Ю. Коноплин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем морских технологий им. академика М.Д. Агеева Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИПМТ ДВО РАН), г. Владивосток, Россия, NAKrasavin@yandex.ru

Благодарности

Работа выполнена за счет средств Российского научного фонда, грант № 23-71-10038, https://rscf.ru/project/23-71-10038/.

Control system for unmanned underwater vehicles equipped with multilink manipulators for autonomous performing of contact manipulation operations

Nikita A. Krasavin✉, Alexander Y. Konoplin
Academician M. D. Ageev Institute of Marine Technology Problems Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences (IMTP FEB RAS), Vladivostok, Russia, NAKrasavin@yandex.ru

Acknowledgements
The research was supported by Russian Science Foundation grant № 23-71-10038, https://rscf.ru/project/23-71-10038/.

Разработка систем управления для автономного выполнения технологических операций необитаемыми подводными аппаратами (НПА) с многозвенными манипуляторами (ММ) является важным направлением развития подводной робототехники.

Поскольку в большинстве случаев жестко зафиксировать НПА вблизи объекта работ невозможно, контактные операции должны выполняться в режиме стабилизируемого зависания аппарата.

В этом режиме НПА тягами своих движителей должен компенсировать динамические воздействия, оказываемые на него со стороны работающего ММ и течений. Для этого, помимо развитого движительно-рулевого комплекса, аппарат должен быть оснащен системой технического зрения (СТЗ) для визуальной навигации вблизи целевого объекта.

Однако в реальных условиях стабилизация НПА в режиме зависания осуществляется с неизбежными ошибками, достигающими нескольких сантиметров по линейным смещениям [1, 2]. Это обусловлено в первую очередь ограниченной точностью определения смещений НПА относительно объекта с помощью СТЗ, а также задержками получения этой информации. Кроме того, инерционность НПА, статические и динамические характеристики его движителей, а также ограниченная точность систем стабилизации приводят к неизбежным смещениям НПА относительно желаемого пространственного положения в процессе компенсации влияний на аппарат течений и динамических воздействий со стороны работающего манипулятора.

Поэтому для работы в режиме зависания НПА будут неэффективными используемые в промышленной робототехнике подходы [3, 4], требующие неподвижности основания ММ в процессе его работы, а также непрерывного контакта рабочего инструмента с точно идентифицированной обрабатываемой поверхностью.

С учетом обозначенных проблем в докладе предложен комплексный подход к синтезу систем управления НПА с ММ для автономного выполнения силовых манипуляционных операций в режиме стабилизируемого зависания аппаратов. Это подход заключается в компенсации тягами движителей НПА идентифицируемых воздействий со стороны ММ, коррекции конфигурации ММ с учетом смещений НПА относительно объекта работ, а также управлении силовым воздействием рабочего инструмента за счет дополнительных перемещений ММ.

Результаты исследования системы управления, синтезированной на основе предложенного подхода, подтвердили ее высокую эффективность в ходе компьютерного моделирования, а также проведенных экспериментов с использованием подводного ММ, разработанного ИПМТ ДВО РАН.

Литература

1. Antonelli G. Springer Tracts in Advanced Robotics. In Underwater Robots, 3rd ed; Springer: Dordrecht, The Netherlands. 2014. P. 294.

2. McLain T. W., Rock S. M., Lee M. J. Experiments in the coordinated control of an underwater arm/vehicle system //Underwater Robots. 1996. P. 139-158.

3. Filaretov V., Zuev A. Adaptive force/position control of robot manipulators // 2008 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, July 2-5, 2008, Xi'an, China, 2008.

4. Raibert M. H., Craig J. J. Hybrid position/force control of manipulators // Journal of dynamic systems measurements and control. 1981. Vol. 103(2). P. 126-133.

Подход к идентификации параметров взаимодействия многозвенных манипуляторов с вязкой средой

В.Ф. Филаретов[1], А.В. Зуев[1,2], А.А. Тимошенко[2]✉

[1]Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИАПУ ДВО РАН), г. Владивосток, Россия

[2]Институт проблем морских технологий им. академика М.Д. Агеева Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИПМТ ДВО РАН), г. Владивосток, Россия, timoshenko.aal@mail.ru

Благодарности
Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00218, https://rscf.ru/project/24-19-00218/.

An approach to identifying the parameters of interaction of multi-link manipulators with a viscous medium

Vladimir F. Filaretov[1], Aleksandr V. Zuev[1,2], Aleksandr A. Timoshenko[2]✉
[1]*Institute of Automation and Control Processes Far East Branch of Russian Academy of Sciences (IACP FEB RAS), Vladivostok, Russia*
[2]*M.D. Ageev Institute of Marine Technology Problems of Far East Branch of Russian Academy of Sciences (IMTP FEB RAS), Vladivostok, Russia, timoshenko.aal@mail.ru*

Acknowledgements
The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation № 24-19-00218, https://rscf.ru/project/24-19-00218/.

Для автоматического выполнения различных технологических операций с помощью автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) с многозвенными манипуляторами (ММ) в режиме зависания над объектами работ необходимо использовать высококачественные системы управления [1], включая позиционно-силовые [2], учитывающие все эффекты взаимодействия АНПА и звеньев ММ с внешней вязкой средой. Для этого требуется точно знать присоединенные массы и моменты инерции жидкости звеньев ММ, а также коэффициенты вязкого трения. Существующие методы приближенного определения некоторых указанных параметров [3-4] не дают точной оценки их величины, так как свойства среды, в которой будут производиться работы, заранее точно не известны.

В данной работе предлагается новый подход к точной идентификации параметров взаимодействия подводного ММ, которыми оснащаются АНПА, с вязкой средой, включая присоединенные массы и моменты инерции жидкости, а также коэффициенты вязкого трения. Указанную идентификацию предлагается проводить перед началом выполнения очередных манипуляционных операций вблизи объектов работ, когда текущие параметры среды остаются постоянными. Это позволит обеспечить более качественное автоматическое выполнение различных манипуляционных (в том числе контактных) подводных операций.

Идентификация осуществляется в два этапа (см. рис. 1).

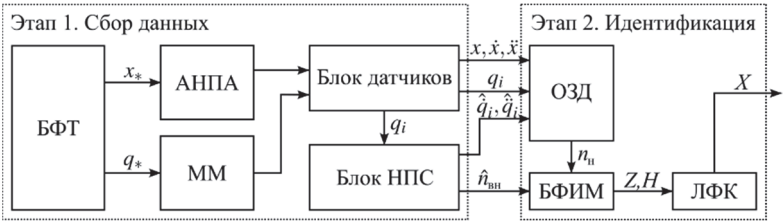


Рисунок 1 — Блок-схема алгоритма идентификации (БФТ – блок формирования траекторий, БФИМ – блок формирования идентификационной модели)

На первом этапе перед началом выполнения манипуляционных операций АНПА с ММ полностью погружают в воду вблизи предполагаемого объекта работ. Затем с для его ММ задают свободное движение в вязкой среде по калибровочным траекториям, а для АНПА должно обеспечиваться линейное смещение в некоторой ограниченной области. При этом во время движения требуется непрерывно определять и записывать положение, ориентацию, скорости и ускорения АНПА x, ẋ, ẍ, определяемых с помощью его бортовой навигационной системы, величины обобщенных координат ММ q_i ($i=\overline{1,k}$, где k – число степеней подвижности ММ), определяемых его датчиками положения. Оценки первых и вторых производных обобщенных координат $\hat{q}_i$, $\hat{\dot{q}}_i$, а также величин суммарных внешних моментов $\hat{n}_{вн}$, действующих в каждом сочленении ММ, можно получить с помощью наблюдателей с переменной структурой (НПС) [5].

На втором этапе из величин суммарных внешних моментов $\hat{n}_{вн}$ вычитают известные составляющие $n_н$, обусловленные номинальными взаимовлияниями между звеньями манипулятора, гравитационными силами, силами Архимеда и которые получают после решения обратной задачи динамики (ОЗД) для подводного ММ [6]. Оставшиеся составляющие момента, обусловленные только воздействиями вязкой среды, представляются в виде идентификационной модели Z = HX (линейной регрессии), в которой все неизвестные параметры X входят линейно относительно известных функций H [7]. Эти модели затем используются для оффлайн определения искомых параметров с помощью линейного фильтра Калмана (ЛФК).

Эффективность разработанного подхода была проверена с помощью математической модели АНПА с ММ. Неизвестные коэффициенты были идентифицированы со средней ошибкой 7% относительно заданных значений.

Литература

1. Filaretov V., Yukhimets D. Synthesis method of control system for spatial motion of autonomous underwater vehicle // International Journal of Industrial Engineering and Management. – 2012. – Vol. 3. – № 3. – P. 133-141.

2. Зуев А.В., Филаретов В.Ф. Особенности создания комбинированных позиционно-силовых систем управления манипуляторами // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2009. – № 1. – С. 154-162.

3. Newman J. N. Marine hydrodynamics. The MIT press, 2018.

4. Javanmard E., Mansoorzadeh Sh., Javad A. M. A new CFD method for determination of translational added mass coefficients of an underwater vehicle // Ocean Engineering. – 2020. – Vol. 215. – P. 1-9.

5. Filaretov V.F., Zuev A.V., Timoshenko A.A. A Method for Constructing Adaptive Control Systems for Electric Drives of an Underwater Multi-Link Manipulator // 2023 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). – IEEE, 2023. – С. 1028-1033.

6. Филаретов В.Ф. Коноплин А.Ю. Система автоматической стабилизации подводного аппарата в режиме зависания при работающем многозвенном манипуляторе. Часть 1 // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2014. – № 6. – С. 53-56.

7. Колюбин С.А. Динамика робототехнических систем / С.А. Колюбин. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2017.

Маневренная подводная платформа для детектирования утечек в водопроводных трубах

Н.В. Михалькова✉, А.С. Прутский

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный университет» (ФГБОУ ВО «КубГУ»)
Краснодар, Краснодарский край, Россия, nadiiamiixx@gmail.com

Maneuverable underwater platform for detecting leaks in water pipelines

Nadya V. Mikhalkova✉, Alexey S. Prutsky
Kuban State University (FSBEI HE «KubSU») Krasnodar, Krasnodar Krai, Russia,
nadiiamiixx@gmail.com

Современные водопроводные системы сталкиваются с множеством проблем, включая износ труб и трудности с локализацией утечек, особенно в труднодоступных местах. Утечки могут привести к значительным потерям воды, повышению затрат на эксплуатацию и ремонты, а также вызвать негативные экологические последствия, такие как загрязнение подземных вод [1]. Для решения этих проблем требуется создание системы, способной эффективно и точно обнаруживать повреждения (рис. 1).

Рисунок 1 — Роботизированная платформа

В рамках данного проекта был разработан прототип платформы, который оснащён двумя бесколлекторными моторами. Эти моторы обеспечивают платформе высокую маневренность и возможность передвижения по трубопроводам, включая сложные и извилистые участки. Основным сенсорным элементом платформы является камера высокого разрешения, которая используется для визуального осмотра внутренней поверхности труб и обнаружения признаков утечек. Для обработки и передачи данных используется беспроводная система на основе протокола IBUS, которая передает информацию и позволяет оператору получать данные в реальном времени.

Платформа оснащена разработанной платой на базе микроконтроллера Arduino Mega 2560, которая обеспечивает управление всеми основными функциями устройства. [2]. Arduino Mega 2560 был выбран за его производительность, достаточное количество входов/выходов и доступность. Программное обеспечение было разработано с учетом автоматической калибровки компонентов, что минимизирует необходимость в ручной настройке и обеспечивает стабильную работу в различных условиях эксплуатации.

Для оценки эффективности платформы были проведены комплексные испытания в лабораторных условиях. В ходе испытаний проверялась устойчивость системы к механическим воздействиям и её способность работать в водных средах. По итогам проведенного эксперимента были получены следующие результаты: Роботизированная платформа продемонстрировала прекрасные маневренные характеристики, осуществляя повороты при различных уровнях мощности двигателя. Робот успешно удерживал горизонтальное и вертикальное положение, что обеспечивало высокую точность выполнения задач. Работа гироскопа была признана удовлетворительной. Проверка водонепроницаемости показала, что герметизация корпуса выполнена качественно, так как внутрь корпуса не проникла вода, что подтверждается работающей электроникой после тестирования.

Разработанная маневренная подводная платформа для детектирования утечек в водопроводных трубах является важным шагом в улучшении систем водоснабжения. В будущем планируется усовершенствование функциональных возможностей платформы, интеграция дополнительных сенсоров и внедрение новых алгоритмов обработки данных для повышения эффективности системы.

Литература

1. Яковенко Н. М. Утечки воды из водопроводных систем и их определение / Яковенко Н. М., Беляева В. М. //Коммунальное хозяйство городов. – №. 99. – С. 283-292

2. Гизитдинова М. Р. Мобильные подводные роботы в современной океанографии и гидрофизике / Гизитдинова М. Р., Кузьмицкий М. А. //Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2010. – Т. 3. – №. 1. – С. 4-13.

Распознавание объектов в задачах навигации подводного аппарата с использованием системы технического зрения

Г.К. Тевяшов
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН), Москва, Россия, glebtevyashov96@yandex.ru

Object recognition in underwater vehicle navigation tasks using vision system

Gleb K. Tevyashov
V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences (ICS RAS), Moscow, Russia, glebtevyashov96@yandex.ru

Мониторинг водной среды

Экологический мониторинг представляет собой систему регулярных наблюдений и оценки состояния окружающей среды с целью выявления изменений, которые могут негативно влиять на экосистемы. В аквакультуре такой мониторинг является важным инструментом для сохранения среды обитания водных организмов. Интенсивное разведение водных биоресурсов может приводить к ухудшению качества воды и накоплению загрязнителей, что создает угрозу для здоровья экосистемы. Постоянное наблюдение за ключевыми параметрами, такими как уровень кислорода, содержание питательных веществ и наличие токсинов, помогает своевременно выявлять экологические проблемы и поддерживать стабильные условия для жизни водных организмов [1].

Подводные аппараты (ПА) находят широкое применение в аквакультуре для выполнения различных задач, таких как контроль состояния подводных сооружений, обследование дна водоемов, мониторинг здоровья водных организмов и выявление источников загрязнения. Подводные аппараты могут эффективно собирать данные в труднодоступных зонах и выполнять инспекцию рыбоводных сетей, резервуаров и трубопроводов. Внедрение систем технического зрения на основе нейронных сетей значительно расширяет возможности подводных аппаратов, позволяя им автоматически распознавать объекты и особенности подводной среды. Использование ПА спо-

собствует более точному и оперативному экологическому мониторингу, обеспечивая высокую эффективность управления аквакультурными хозяйствами [2].

Подводные аппараты, оснащенные системами технического зрения и нейронными сетями, могут автоматически распознавать и классифицировать виды рыб в водоеме, определяя их количество и поведение. Это позволяет проводить мониторинг здоровья популяций, выявлять признаки заболеваний или стрессовых состояний, а также оптимизировать кормление и управление аквакультурными хозяйствами на основе анализа данных в реальном времени.

Для навигации в подводном пространстве используются также СТЗ с дальнейшей обработкой поступающей информации. Был разработан нейросетевой алгоритм сегментирующий и детектирующий трубу в кадре (Рисунок 1), так как изучаемый аппарат будет использован в решениях задач мониторинга параметров воды и водной среды.

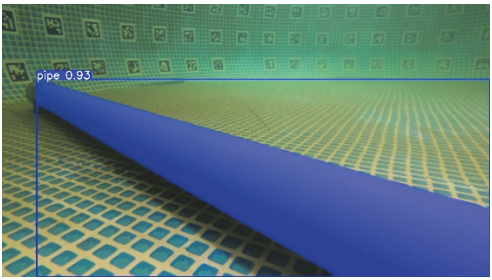


Рисунок 1 — Результат работы алгоритма

Литература

1. Мещеряков Р.В., Тевяшов Г.К., Ананьев П.П., Ананьева А.В., Беляков К.О., Неврединов А.В., Михайлова М.В. Using the Digital Reef to Monitor and Enhance Biological Resources in Aquaculture / Agriculture Digitalization and Organic Production. St Petersburg, RUSSIA: Springer, 2022. С. 425–437.

2. Bayusari, N. A. Adawiyyah, S. Dwijayanti, H. Hikmarika, Z. Husin and B. Y. Suprapto, «Water Quality Monitoring System in Autonomous Underwater Vehicle Based on Internet of Things (IoT)», 2021 8th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI), Semarang, Indonesia, 2021, pp. 328-334, doi: 10.23919/EECSI53397.2021.9624211.

Модели миграционного и территориального поведения рыб для задачи распределения роботов по акватории

М.А. Ровбо, Н.А. Гревцова, В.В. Воробьёв✉
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт»), Москва, Россия, Vorobev_VV@nrcki.ru

Благодарности
Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

Models of migratory and territorial fish behavior for the area coverage problem of robots across a water area

Maksim A. Rovbo, Natalya A. Grevtsova, Vitaliy V. Vorobev✉
National Research Center «Kurchatov Institute» (NRC «Kurchatov Institute»), Moscow, Russia, Vorobev_VV@nrcki.ru

Acknowledgements
The work was carried out within the state assignment of NRC «Kurchatov institute».

Задача мониторинга подводной среды множеством роботов является одной из актуальных задач робототехники [1]. Она решается с помощью подводных сенсорных сетей [2], комбинации таких сетей с надводными аппаратами [3], групповыми распределенными системами [4]. При этом важными остаются вопросы распределения роботов в акватории, особенно при ограниченной численности группы мониторинга и реакции особей на объекты интереса. Часто такие системы являются централизованными, наблюдается интенсивный информационный обмен между агентами, необходима синхронизация их взаимодействия и др. В таких условиях уместно использовать природоподобные модели поведения, например, рыб. Это позволяет проектировать систему управления с помощью набора базовых поведенческих блоков, набор которых определяет общий функционал агента в целом. При этом часть его реакции направлена на конспецификов, что определяет их групповое взаимодействие.

Во многом поведение рыб, в частности миграционное и территориальное, позволяют решать схожие с мониторингом задачи. Они

являются инстинктивными, т.е. проявляются без предварительного обучения, и иерархическими [5]. Так, без обнаружения своего участка, рыба не будет проявлять территориальное поведение. Каждый тип поведения включает в себя серии поведенческих актов, которые легли в основу действий роботов.

Миграционное поведение включает в себя поиск свободного или своего участка, обнаружение ориентиров. Оно необходимо при решении задачи динамического распределения роботов по акватории. Территориальное включает в себя патрулирование своего участка и отстаивание его границ, агент является доминантным по отношению ко всем другим на своем участке. Выраженность агрессивности действий (степень активации) прямо зависит от близости к центру участка или оценки нахождения в глубине своего участка (рис. 1).

Исходя из вышеописанных поведенческих компонентов, система управления агентом является иерархической (рис. 2).

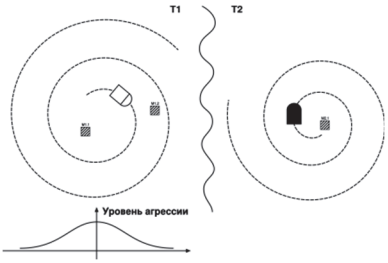


Рисунок 1 — Пример распределения по территории и изменения уровня агрессии агента от близости к центру его области действий

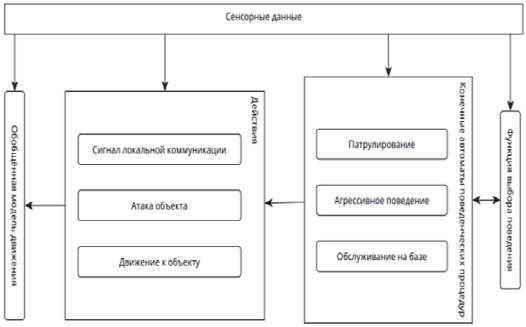


Рисунок 2 — Архитектура системы управления агента

Оценка ситуации агентом приводит к выбору одной из высокоуровневых стратегий поведения – миграционной или территориальной. После выбора стратегии, запускаются серии поведенческих процедур, пока не происходит ее остановка соответствующей функцией прерывания и переоценка ситуации. Например, ими являются продолжение поиска своего участка, движение по маршруту патрулирования или реакция на постороннего агента. В процессе выполнения серии поведенческих процедур могут вызываться различные элементарные действия, такие как использование механизма локальной коммуникации для взаимодействия с другими агентами, движение к объекту, атака (толкание) объекта и т.п.

В данной работе поведенческие процедуры реализованы конечными мета-автоматами, вызывающие автоматы, реализующие действия: подплыть к объекту, двигаться по пеленгу и др. [6].

Работа системы демонстрируется на нескольких сценариях в компьютерной модели для мобильных роботов.

Литература

1. Tingley B. The Navy Is Developing “Bio-Inspired” Drones That Transition Between Air And Water [Electronic resource]. 2021.

2. Awan K.M. et al. Underwater Wireless Sensor Networks: A Review of Recent Issues and Challenges // Wirel. Commun. Mob. Comput. 2019. Vol. 2019.

3. Lončar I. et al. A heterogeneous robotic swarm for long-term monitoring of marine environments // Appl. Sci. 2019. Vol. 9, № 7. P. 1–29.

4. Suresha H.S. et al. Application of Swarm Robotics Systems to Marine Environmental Monitoring // Lect. Notes Electr. Eng. 2022. Vol. 783, № 351. P. 1075–1083.

5. Гороховская Е.А. Этология: рождение научной дисциплины. Алетейя, 2001. 224 p.

6. Карпов В.Э., Ровбо М.А., Воробьев В.В. О некоторых аспектах применения автоматных моделей в групповом управлении // Мехатроника. Автоматизация. Управление. 2023. Vol. 24, № 4. P. 171–180.

Система технического зрения автономного подводного аппарата

В.В. Сергеев, Ю.С. Прибылов, О.К. Пшеничная, В.А. Соколов
АО «НИИ телевидения», Санкт-Петербург, Россия, npk62ypr@niitv.ru

The autonomous underwater vehicle's technical vision system

Vladimir V. Sergeev, Yuriy S. Pribylov, Olga K. Pshenichnaya, Vitaliy A. Sokolov
JSC «Television Scientific Research Institute», St. Petersburg, Russia, npk62ypr@niitv.ru

Автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА), оснащенные системами технического зрения, широко используются при выполнении поисковых работ объектов, работ по контролю технического состояния трубопроводов нефтегазового комплекса, при картографировании морского дна, геодезической разведке полезных ископаемых на шельфе и в глубоководных районах Мирового океана, при выполнении специальных задач в интересах Министерства обороны, других министерств и ведомств.

В докладе рассматриваются структура, составные части и основные технические решения, использованные при создании адаптивной системы технического зрения для решения задач фото и видеосъёмки морского дна, обнаружения и определения положения протяженных объектов в получаемых изображениях для решения задач навигации по ним, обнаружения и распознавания объектов поиска в диапазоне скоростей хода АНПА.

В статье даны рекомендации по выбору преобразователя свет-сигнал для телекамеры с использованием разработанного Европейской ассоциацией машинного зрения стандарта EMVA-1288 (European Machine Vision Association).

В зависимости от размеров объектов поиска, отстоянию до дна (дистанции съёмки), скорости хода АНПА приводятся оценки по необходимому разрешению телекамеры для обнаружения и распознавания объектов поиска.

Исходя из выбранного преобразователя свет-сигнал телекамеры, относительной прозрачности водной среды Zб, дистанции наблюдения и скорости хода АНПА, приводятся оценки необходимого

уровня освещённости объектов наблюдения и осевой силы света светильников и их размещения на АНПА относительно оптической оси телекамеры.

В докладе рассмотрена адаптация фото и видеосъёмки к скорости хода АНПА, дистанции съёмки и к относительной прозрачности водной среды.

С целью уменьшения потребляемой мощности светильников, в режимах фото и видеосъёмки используется импульсный режим излучения, согласованный с временем накопления в телекамере.

В докладе приводится описание программного обеспечения адаптивной системы технического зрения и некоторые иллюстрации цифровой обработки изображений в части контрастирования и обнаружения протяжённых объектов.

Приводятся основные технические параметры составных частей системы технического зрения –телекамеры и светильников и их 3-D модели.

Все оборудование исполнено в герметичных корпусах на рабочую глубину до 3 км.

Рыбоподобный робот с карангиформным типом локомоции

Н.А. Алемпьев✉, И.В. Митин, В.Б. Казанцев
Кафедра нейротехнологий ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (ННГУ), Нижний Новгород, Нижегородская область, Россия, nechit714@gmail.com

Благодарности
Данная работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант №24-19-00420, https://rscf.ru/en/project/24-19-00420/).

A pike robot with a carangiform type of movement

Nikita A. Alempev✉, Ilia V. Mitin, Viktor B. Kazantsev
Neurotechnology Dept. Lobachevsky University (UNN), Nizhny Novgorod, Russia, nechit714@gmail.com

Acknowledgements
The reported study was funded by Russian Science Foundation (project No. 24-19-00420, https://rscf.ru/en/project/24-19-00420/).

В последние годы разработка автономных подводных аппаратов приобретает все большее значение и находит применение в таких областях, как океанография, морская биология и подводные исследования. Они привлекли значительное внимание благодаря своей способности имитировать движения и поведение рыб, позволяя им легко и точно ориентироваться в сложной подводной среде.

На данный момент по всему миру разрабатываются биоморфные роботы- рыбы различных конструкций. Однако, до понимая механик передвижения рыб и их полного воспроизведения при помощи робота пока далеко.

Одной из основных задач при проектировании роботов-рыб является создание автономной системы, способной копировать естественные формы плавания и поведение рыб. Для этого требуется разработать систему, которая может генерировать движущие силы, аналогичные тем, которые генерируются рыбой, а также управлять движением робота и его ориентацией в трехмерном пространстве

Для изучения кинематики движения рыб с карангиформным типом плавания был разработан макет подводного биоморфного робота оригинальной конструкции.

Главная особенность этого работа, заключается в большом количестве свободных сегментов, при небольшом количестве двигателей. Кроме того, специфичность конструкции позволяет добиться большей энергоэффективности по сравнению с классическим импеллером. Прототип робота-щуки (см. рис. 1) состоит из 9 сегментов, напечатанных на 3D принтере, из которых, два сегмента несут на себе сервоприводы sg90, а также хвостовой и головной сегмент с микроконтроллером. Каждый сегмент пронизывает пластина, изготовленная из металлической линейки. Она придает стабильности скелету и позволяет роботу реализовывать корректность исполняемых движений. В качестве источника питания используется Li-Ion аккумуляторы 18650, которые подключены последовательно, и выдают от 8,4В до 7,2В (в зависимости от степени заряда). Для питания сервоприводов используется понижающий преобразователь LM2596S, который снижает напряжение до 5В, а в качестве драйвера сервоприводов используется плата Arduino Nano на базе микроконтроллера ATmega328. Герметичность системы достигается заливкой всех компонентов расплавленным парафином.

Рисунок 1 — Прототип робота-щуки

Устройство позволяет исследовать зависимость скорости перемещения робота по поверхности воды, от таких настроек серводвигателей как: амплитуда, фазировка, скорость вращения.

Литература

1. Yan, Q., Han, Z., Zhang, S., & Yang, J. (2008). Parametric Research of Experiments on a Carangiform Robotic Fish. Journal of Bionic Engineering, 5(2), 95–101. doi:10.1016/s1672-6529(08)60012-8.

2. Raj, A., & Thakur, A. (2016). Fish-inspired robots: design, sensing, actuation, and autonomy—a review of research. Bioinspiration & Biomimetics, 11(3), 031001. doi:10.1088/1748-3190/11/3/031001.

3. Liu, Y., Jiang, H. Research Development on Fish Swimming. Chin. J. Mech. Eng. **35**, 114 (2022), doi:10.1186/s10033-022-00791-4.

4. Lauder, G.V., Tangorra, J.L. (2015). Fish Locomotion: Biology and Robotics of Body and Fin-Based Movements. In: Du, R., Li, Z., Youcef-Toumi, K., Valdivia y Alvarado, P. (eds) Robot Fish. Springer Tracts in Mechanical Engineering. Springer, Berlin, Heidelberg, Doi: 10.1007/978-3-662-46870-8_2.

5. EunJung Kim, & Youngil Youm. (n.d.). Simulation study of fish swimming modes for aquatic robot system. ICAR ’05. Proceedings., 12th International Conference on Advanced Robotics, 2005. doi:10.1109/icar.2005.1507388.

Мониторинг относительного положения автономных подводных аппаратов в группе на основе анализа больших уклонений

С.А. Дубовик, А.А. Кабанов✉, И.Ю. Липко
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет» (ФГАОУ ВО СевГУ), Севастополь, Россия, kabanovaleksey@gmail.com

Благодарности
Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, шифр FEFM-2024-0015.

Monitoring of the relative position of autonomous underwater vehicles in a group based on the analysis of large deviations

Sergey A. Dubovik, Alexey A. Kabanov✉, Ivan Yu. Lipko
Federal State Educational Institution of Higher Education «Sevastopol State University» (Sevastopol State University), Sevastopol, Russia, kabanovaleksey@gmail.com

Acknowledgements
The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, FEFM-2024-0015.

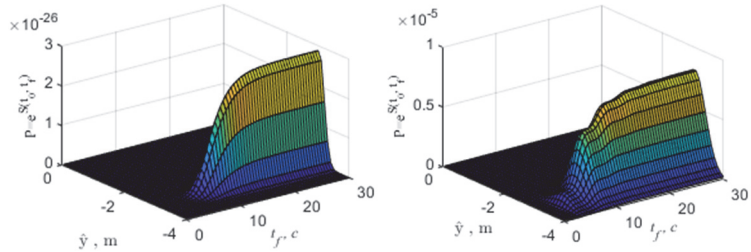
В статье предлагается приближенный метод построения алгоритма мониторинга относительного положения всех членов группы с целью избегания взаимных столкновений для длительных передвижений аппаратов, в которых плотность группы может быть достаточно малой. Проблема мониторинга формулируется как задача контроля больших уклонений [1]. Стохастическая задача оценки вероятности столкновения сведена к детерминированной задаче оптимального управления. Столкновение рассматривается как редкое событие, к которому приводит совпадение факторов, которые образуют определенную последовательность во времени – экстремаль задачи оптимального управления.

Рассматривается задача управления движением подводных аппаратов, двигающихся в горизонтальной плоскости с постоянной продольной скоростью на заданной глубине. Взаимное поперечное движение пары аппаратов, описывается стохастической системой

$$\dot{X}^{\varepsilon} = a(X^{\varepsilon}) + \varepsilon\sigma(X^{\varepsilon})\dot{w}, X^{\varepsilon}(t_0) = X_0^{\varepsilon} \in D, \qquad (1)$$

где $\dot{w} - k$ -вектор «белого шума», a, σ– гладкие матричные функции, $\varepsilon > 0$– малый параметр.

Для (1) определяется, что на указанный момент t и по прошествии не менее $t_f - t$ (с) возможно столкновение двух аппаратов с вероятностью $P_{tt_f} \approx e^{-(S_{tt_f})/\varepsilon^2}$, где $S_{t_0t_f} = \left(W(t_0)\varphi_0 - \varphi_f\right)^T C^T M^{-1} C\left(W(t_0)\varphi_0 - \varphi_f\right)$ – минимальное значение функционала, получаемого при решении задачи оптимального управления, связанного с (1) и критерием $\frac{1}{2}\int_{t_0}^{t_f} u^T u dt$.



а) **б)**

Рисунок 1 — Зависимость функционала действия от координаты столкновения $\hat{y}$ и времени столкновения t_f (а – апериодический режим; б – вариант с осциллятором)

Принятая в статье методика [2] реализации принципа больших уклонений ограничивается требованиями управляемости (по возмущениям) и гурвицевости матрицы диффузии, что даёт более широкие возможности по моделям возмущений. Для предельного решения усредненной системы в статье получена грубая оценка вероятности столкновения для двух аппаратов.

Литература

1. Дубовик С.А., Кабанов А.А. Асимптотический метод прогнозирования рисков в задачах стохастического контроля и управления

// Мехатроника, автоматизация, управление, 2022. Т. 23 (8). С. 395-405. DOI: 10.17587/mau.23.395-405.

2. Пухальский А.А. Большие уклонения стохастических динамических систем. Теория и приложения. М.: Физматлит, 2005. 512 с.

Опыт практического применения морских роботов, разработанных в СКБ СПбГМТУ

Ю.А. Счетчиков, Н.В. Торопов, М.С. Маршалов,
Д.С. Скопцов, А.А. Синишин, М.Н. Чемоданов
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (СПбГМТУ), Санкт-Петербург, Россия, yura.schetchkov@mail.ru, kolya.toropof@gmail.com, dm.sk0p4@gmail.com, ands1n@yandex.ru

Experience of practical application of marine robots developed at SDB SMTU

Yurii A. Schetchikov, Nikolay V. Toropov, Maxim S. Marshalov,
Dmitriy S. Skoptsov, Andrey A. Sinishin,
Mikhail N. Chemodanov
Saint-Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia, yura.schetchkov@mail.ru, kolya.toropof@gmail.com, dm.sk0p4@gmail.com, ands1n@yandex.ru

Студенческое конструкторское бюро (СКБ) СПбГМТУ занимается активной разработкой морских роботов всех типов. За годы работы в СКБ СПбГМТУ были созданы ТНПА, АНПА, БЭК, волновые глайдеры. Однако, если ранее разработки были ориентированы больше на исследовательскую деятельность и на педагогическую работу (включая участие в соревнованиях), то начиная с текущего года было принято решение о смещении направления работ в сторону практической деятельности.

Практическая деятельность наиболее четко выявляет реальные требования применения аппаратов, ошибки в проектировании и тактике применения.

В связи с тем, что затраты на мобилизацию и демобилизацию автономного аппарата, глайдера или тяжелого ТНПА могут быть чрезвычайно велики, было принято решение в пользу активного использования легких аппаратов.

Оба аппарата могут управляться с единого пульта управления - на базе открытого программного обеспечения «Nonius» от фирмы «Ниус Инжиниринг», таким образом, работы позволили улучшать не только непосредственно аппараты, но и программное обеспечение.

Один из выбранных аппаратов - малый БЭК «Водомерка», пригодный для работы на волнении до двух баллов. На текущий момент катамаран оснащен однолучевым эхолотом Kogger BASIC 2D-Sonar, системой ГНСС-позиционирования и видеокамерой. Аппарат может выполнять промерные работы, как в режиме телеуправления, так и в режиме движения по заранее заданному маршруту.

Рисунок 1 — Результаты промеров одного из озёр (слева) и кадр работы аппарата (справа)

При помощи аппарата «Водомерка» были выполнены промерные работы на 3-х озерах Санкт-Петербурга и Ленинградской области (см. рис. 1) и промер вблизи причальной стенки в устье реки Невы (причал Секабель порт), по заказу водолазной фирмы.

Результаты работы позволили зафиксировать необходимость внести в аппарат следующие улучшения:

– добавление функции автоматического возврата в «домашнюю точку»;

– обеспечение легкой замены аккумуляторов, для возможности авиаперевозки аппарата;

– оборудование аппарата системой облегчения спуско-подъёма с высоких причальных стенок или высокого борта судна.

Кроме того, в планах доработка аппарата:

– установка ГНСС-приёмника с возможностью работы в режиме RTK (с приёмом поправок через интернет);

– разработка крепления для ГБО-антенны и поддержки отображения ГБО-мозаики;

– разработка модуля пробоотборника для взятия проб воды, для обеспечения экологических функций.

Малый ТНПА «Вариола» - аппарат легкого класса для осмотра подводных объектов и небольших работ, которые можно выполнить при помощи манипулятора. Планируется довести аппарат до состояния, позволяющего слабо подготовленному оператору провести осмотр подводной части судна.

Первые подобные работы были выполнены силами СКБ в Мурманске, в районе Белокаменки. Работы показали, что при работе на течении довольно легко потерять обследуемый объект из виду камеры и, не имея ориентиров, «заблудиться». Данная проблема могла бы быть решена за счёт использования гидролокатора секторного или кругового обзора, либо за счёт использования системы подводного позиционирования.

Другим выявленным недостатком, была необходимость внешнего источника питания, что означает либо необходимость стационарного источника питания, либо требует наличие бензинового генератора (данную проблему планируется решить путем перехода на аккумуляторную схему питания).

Рисунок 2 — Зимние испытания ТНПА «Вариола»

После испытаний было принято решение внедрить в ТНПА систему подводного позиционирования на ультракороткой базе, разра-

ботанной в СПбГМТУ. После внедрения данной системы было проведено успешное обследование подводной части судна на базе «Горская».

Практическая работа с подводными аппаратами позволяет СКБ СПбГМТУ следующим образом улучшить свою работу:

– улучшить качество обучения студентов, позволяя дать им уникальный опыт практической работы, в удобной форме, позволяя сочетать работу и обучение;

– повысить качество разрабатываемых аппаратов, за счёт выявления и исправления недостатков, не заметных при исследовательских работах;

– получить дополнительное финансирование организации за счёт выполнения коммерческих работ.

Литература

1. Chemodanov M.N., Semenov N.N. Increasing the efficiency of searching for sunken objects at the bottom by a group of robots. Proceedings of Interpol law enforcement forum «Unmanned systems (Air, Land and Sea)». Naif Arab University for Security Sciences. Riyadh, 10-11 May 2023. pp 183-187.

2. Семенов Н.Н., Чемоданов М.Н., Синишин А.В., Путинцев И.А. Разработка необитаемых подводных аппаратов в СПбГМТУ для группового применения // Труды СПбГМТУ – 2024 – №2(10) – С. 85-93.

Анализ современных пультов управления морских роботизированных платформ и тенденции развития

Н.В. Торопов, М.С. Маршалов, Д.С. Скопцов,
Ю.А. Счетчиков, А.А. Синишин, М.Н. Чемоданов
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (СПбГМТУ), Санкт-Петербург, Россия, kolya.toropof@gmail.com, dm.sk0p4@gmail.com, yura.schetchkov@mail.ru, ands1n@yandex.ru

Analysis of modern control panels for marine robotic platforms and development trends

Nikolay V. Toropov, Maxim S. Marshalov, Dmitriy S. Skoptsov,
Yurii A. Schetchikov, Andrey A. Sinishin,
Mikhail N. Chemodanov

Saint-Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia,
kolya.toropof@gmail.com, dm.sk0p4@gmail.com, yura.schetchkov@mail.ru,
ands1n@yandex.ru

Активное развитие морских роботизированных платформ стимулировало создание пультов управления для аппаратов различных типов. Эти пульты управления реализуют схожий функционал различными способами. Цель работы — рассмотреть возможности существующих и перспективных пультов управления, выявить задачи, решаемые при помощи пульта для того, чтобы впоследствии создать оптимальный пульт для управления разнообразными морскими роботами, разрабатываемыми в СПбГМТУ, на базе open-source ПО «Nonius Robotics», которое развивают совместно СПбГМТУ и Ниус инжиниринг.

В результате анализа пультов управления, описанных в открытых источниках, были выделены некоторые общие черты.

1. Этапность работы с пультом. Большая часть пультов в том или ином виде реализует следующие этапы работы с аппаратами: подготовка миссии, выполнение миссии и анализ результатов.

2. В пультах можно выделить крупные программные модули, которые могут играть различную роль на различных этапах работы. В список таких модулей входит:

a. модуль работы с картографической информацией
b. модуль управления аппаратом
c. модуль контроля состояния характеристик
d. иные, менее значимые модули

Таблица 1 — Общие требования для пультов управления

Параметр	Требования
Карты	Поддержка различных картографических подложек: OSM, GoogleMaps, морские карты, видеомозаика, ГБО-изображения, и тд.; Поддержка различных систем координат; Отображение координатных сеток; Нанесение геометрии на карту: точки, полигоны, линии, и тд.
Управление аппаратом	Камера (подсветка, фокус, поворот, зум); Манипуляторы;

Параметр	Требования
	TMS/гараж для больших ТНПА; Перемещение при помощи двигателей; Перезагрузка каждого из модулей аппарата по питанию
Контроль состояния аппарата	Визуализация систем оптического и акустического зрения

Этап подготовки миссии (см. табл. 1) заключается в планировании набора манёвров, который должен выполнить аппарат, затем миссия проверяется на выполнимость на данном аппарате (проверка достаточности длины кабеля, достаточности заряда батареи, наличие исполнительных устройств и т.п.). На этом же этапе желательно обеспечивать поддержку справочной информации об объектах, с которыми предстоит работать в ходе миссии (фото, глубины, иная информация).

Во время выполнения миссии меняются требования к модулям пульта управления (см. табл. 2).

Таблица 2 — Требования к пультам управления на этапе выполнения миссии

Параметр	Требования
Карты	Отображение трека аппарата; Позиционирование сразу по нескольким системам координат (несколько отключаемых треков); Отображение косвенных данных; Отображение позиций: аппаратов, гаражей, обеспечивающих судов, маяков, и иных вспомогательных объектов; Отображение плана миссии и возможности посмотреть для каждого манёвра: его параметры, его состояние (выполнен не выполнен), выполнить действия с маневром (пропустить, повторить)
Управление аппаратом	Обеспечение возможности работы нескольких операторов: пилот, второй пилот, инженер; Для телеуправляемых: задний ход, парковка, точные движения; Автоматизация для телеуправляемых: автоглубина, автовысота, автокурс, автоудержание вдоль борта, тримы, автоматическое управление манипулятором;

Параметр	Требования
	Другие элементы управления этапами миссии и отображения информации
Контроль состояния аппарата	Визуализация информации о текущем этапе миссии; Симуляция ожидаемого состояния аппарата при выполнении миссии; Контролировать дополнительные системы: гараж, TMS, бортовую систему питания; Использование аппаратных средств управления: кнопки, джойстики, педали, виртуальные шлемы, ползунки, и т.п.; Косвенные данные: опасность столкновения с дном, натяжение кабеля, ограничения длины кабеля; Отдельное окно/виджет для аварийных сообщений; Справочный список контролируемых параметров

На этапе анализа результатов требования к функциям модулей вновь меняются: необходимо накладывать на карту такие данные, как: реальный маршрут, кадры видео, гидролокационное изображение и отображение отметок с гидролокационного изображения на карте. Также должна быть разработана: система скачивания логов, ползунок таймлайна миссии, предоставление данных в виде графиков и таблиц, возможность автоматического формирования отчёта.

В результате проведенного анализа появляется возможность осуществлять более детальный поиск возможностей улучшения функционала пульта, например, функции картографического модуля логично искать в геодезичесом (и в первую очередь гидрографическом ПО), а идея для улучшения отображение состояния аппарата логично искать среди СКАДА-систем.

Кроме того, стали очевидны некоторые общие требования, которые необходимо предъявлять к разрабатываемому ПО, а именно: кроссплатформенность, работу в сетевом режиме (синхронизация работы на нескольких компьютерах).

Литература

1. Michael R. Benjamin, Henrik Schmidt, Paul Newman, John J. Leonard An Overview of MOOS-IvP and a Users Guide to the IvP Helm - Release 13.5 – Available at: https://oceanai.mit.edu/moos-ivp-pdf/moosivp-helm-12.2.pdf.

2. https://www.oceanscan-mst.com/products/neptus/.

Надводный автономный дрон для информационно-навигационного обеспечения водолаза

А.А. Тузова✉, А.Г. Кузнецов, А.М. Назаров, С.С. Гойман, И.В. Кожемякин
Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический Университет, Санкт-Петербург, Россия, tuzova.smtu@yandex.ru

Благодарности
Работа выполнена в рамках программы стратегического развития «Приоритет-2030».

Autonomous surface drone for information and navigation support of a diver

Anna A. Tuzova✉, Andrei G. Kuznetsov, Andrei M. Nazarov, Sergei S. Goyman, Igor V. Kozhemyakin
State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia, tuzova.smtu@yandex.ru

Acknowledgements
The work was carried out within the framework of the strategic development program «Priority-2030».

В работе представлен надводный автономный дрон для информационно-навигационного обеспечения водолаза, разработанный Санкт-Петербургским государственным морским техническим университетом. Макетный образец дрона можно увидеть на рисунке 1. Дрон представляет из себя автономный надводный аппарат, состоящий из двух основных частей: герметичного корпуса, в котором располагаются все электронные модули и аккумуляторы, и гидроакустической (ГА) системы позиционирования с ультракороткой базой (УКБ) [1] на выдвижной штанге.

Основные функции, выполняемые дроном, включают в себя: сопровождение – определение траектории движения водолаза и автоматическое следование за ним; и GSM телефон – двухсторонняя звуковая подводная связь с водолазом.

Рисунок 1 — Макетный образец дрона в собранном виде: длина 670 мм, ширина 370 мм, высота 320 мм

Функция сопровождения водолаза выполняется за счет следующего алгоритма: с помощью системы с УКБ определяется курс на водолаза и дистанция до него; модуль ГНСС считывает текущие координаты дрона и его ориентацию в пространстве; с помощью расширенного фильтра Калмана [2] оценивается скорость движения дрона; далее значения угла на цель, текущего курса дрона, его текущая и требуемая скорости передаются на три ПИД-регулятора [3, 4], которые обеспечивают выполнение наведения дрона на цель и движения в ее сторону с заданной скоростью с помощью модуля управления гребными винтами.

Работоспособность алгоритма была проверена путем математического моделирования. Математическая модель учитывает реальные размеры разработанного макета дрона, воздействие на дрон силы тяги гребных винтов, воздействие волн и течения, а также гидродинамику и гидростатику судна [4]. На рисунках 2-5 представлены примеры траекторий движения дрона и водолаза, полученные с помощью математического моделирования.

Как можно видеть на рисунках 2-5, математическое моделирование движения дрона вслед за водолазом подтверждает работоспособность алгоритма. Также можно наблюдать, что расхождение между траекториями дрона и водолаза стремится к 0 м со временем, что указывает на корректный выход дрона на цель и последующее удержание наименьшей дистанции.

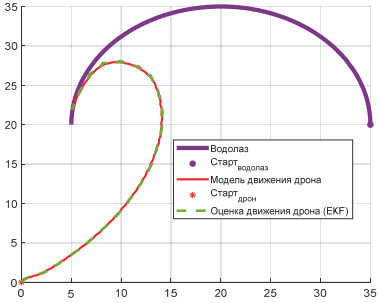


Рисунок 2 — Пример сопровождения водолаза 3

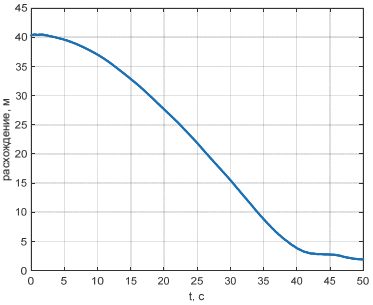


Рисунок 3 — Расхождение между траекториями 3

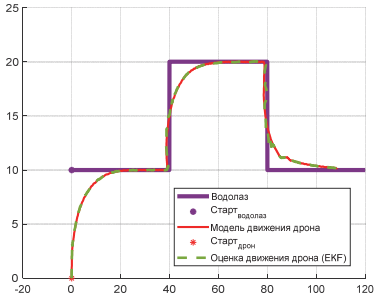


Рисунок 4 — Пример сопровождения водолаза 5

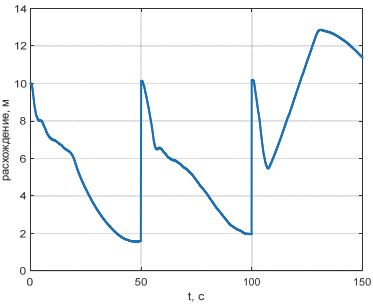


Рисунок 5 — Расхождение между траекториями 5

Литература

1. Luo Q., Yan X., Ju C., Chen Y., Luo Z. An Ultra-Short Baseline Underwater Positioning System with Kalman Filtering // Sensors. – 2021. – Vol. 21, No. 1. – Article ID 143. – DOI: 10.3390/s21010143.

2. Wickert M., Siddappa C. Exploring the Extended Kalman Filter for GPS Positioning Using Simulated User and Satellite Track Data // Manuscript. – 2018. – P. 84-90. – DOI: 10.25080/Majora-4af1f417-00d.

3. Ang K.H., Chong G., Li Y. PID control system analysis, design, and technology // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 2005. – Vol. 13, No. 4. – P. 559-576. – DOI: 10.1109/TCST.2005.847331.

4. Fossen T.I. Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control. – John Wiley & Sons Ltd., 2011. — ISBN: 978-1-119-99149-6.

Симулятор управления безэкипажным катером

А.А. Халутин ✉, Д.В. Егоров
Санкт-Петербургский Государственный морской технический университет (СПбГМТУ), Санкт-Петербург, Россия, antonykhaltin@gmail.com

Благодарности
Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации программы «Приоритет 2030».

Unmanned boat control simulator

Anton A. Khalutin✉, Dmitry V. Egorov
Saint-Petersburg State Marine Technical University (SPbSMTU), St. Petersburg, Russia, antonykhaltin@gmail.com

Acknowledgements
Ministry of Education and Science of Russia within the framework of the strategic academic leadership program «Priority-2030».

Симулятор управления безэкипажным катером (БЭК) (рис. 1) — это программный продукт, который симулирует реалистичное перемещение катера на волнах. Проект разработан Институтом робототехники и интеллектуальных систем Санкт-Петербургского государственного морского технического университета.

Данный симулятор предназначен для обучения пилотов управлению реальным безэкипажным катером, а также навыкам управления им и отработке различных маневров при различных настраиваемых погодных условиях, таких как шторм, штиль, различных направлениях и силе ветра, различной высоте волн.

Рисунок 1 — Симулятор управления безэкипажным катером

Симуляция волн. Волны симулируются за счет синусоидального математического уравнения (Уравнение 1) [1-3].

$$z(x,y) = \sum_{i=1}^{n} a_i \cdot sin\left(\frac{x}{l_{x\,i}} + \frac{z}{l_{z\,i}} + t \cdot \varphi_i\right), \quad (1)$$

где a – амплитуда, l_x – длина волны по оси x, l_z – длина волны по оси z, t – время, φ – скорость волны, i = 1, …, n – порядок уравнения волны.

Данное уравнение представляет сумму нескольких синусоидальных функций, которые в результате дают водяную поверхность, подобную реальной. Для отображения волн с помощью формулы (1) высчитываются координаты каждой вершины водяной поверхности. Чтобы вода выглядела реалистично и имела правильную форму, использовались различные инструменты. Например, шейдеры создают эффект глубины и реалистичные блики на воде. За брызги от катера отвечает система частиц. На данный момент в программе представлены три типа волн – слабые, средние и сильные. Планируется изменить типы волн, чтобы они соответствовали реальным шкалам измерения морских погодных условий, таким как шкала Боффорта, которая включает от нуля до двенадцати баллов.

Физика плавания. В данном проекте для расчета физики плавания была использована система объектов типа Floater. Данный объект привязывается к точке судна и высчитывает силу, с которой данная точка выталкивается из воды. Расположив множество Floater-ов вдоль поверхности судна (рис. 2) и настроив их параметры, получаем модель, достаточно реалистично отображающую плавучесть катера и в то же время достаточно производительную, чтобы работать в реальном времени.

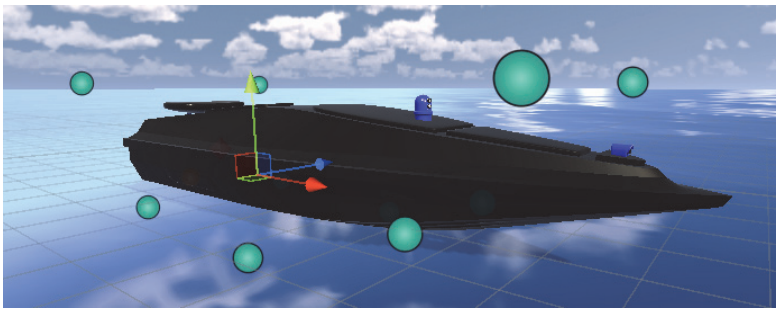


Рисунок 2 — Расположение Floater-ов

Помимо вышеперечисленных особенностей в проекте реализованы и другие функции, такие как динамическое изменение погодных условий и освещения, установка желаемого времени суток, система навигации, позволяющая судам, управляемым программно, курсировать по заданному маршруту. В существующем в проекте тестовом уровне представлена МЛСП «Приразломная», вокруг которой и курсирует судно.

Дальнейшие планы:

– работа над физической моделью (настройка модели для улучшения соответствия управления в сравнении с реальным безэкипажным катером);

– работа над внешним видом волн (добавление собственных волн и реалистчиной пены, работа над водяной поверхностью и ее динамической настройкой);

– работа над интерфейсом.

Литература

1. Фоссен, Т. И. Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control / Т.И. Фоссен ; Норвежский университет естественных и технических наук – Тронхейм, NTNU, 2011. - 582 с: - ISBN 978-1-119-99149-6. – Текст: непосредственный.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024617444 Российская Федерация. Программа моделирования системы обтекания тел жидкостью: № 2024615543: заявл. 20.03.2024: опубл. 02.04.2024 / А. А. Жиленков, П. Е. Царева; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет». – EDN XPWGCP.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024665818 Российская Федерация. Ирис-к: № 2024664594: заявл. 27.06.2024: опубл. 05.07.2024 / А. А. Жиленков, М. Ю. Серебряков; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет». – EDN TSVEET.

Трёхмерное численное моделирование обтекания подводного аппарата струёй в бассейне с целью набора обучающих данных для нейросети

Н.А. Щур, А.А. Пожилов
Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, koliambos@mail.ru aapozhilov@mail.ru

Благодарности
Работа выполнена в рамках Государственного задания № 075-00697-24-03 от «04» июля 2024 г. «Исследование методов применения нейронных сетей для моделирования нелинейных нестационарных физических полей в анизотропных средах при решении задач механики разрушения и гидрогазодинамики турбулентных потоков» (FNRG-2024-0001, регистрационный номер 1023101000004-2-1.2.1;2.3.1).

Three-dimensional numerical simulation of a jet flow around an underwater vehicle in a pool intended to collect training data for a neural network

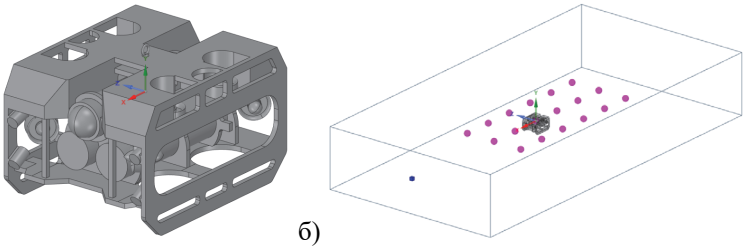
Nikolai A. Tschur, Aleksei A. Pozhilov
Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics, St. Peterburg, Russia, koliambos@mail.ru, aapozhilov@mail.ru

Acknowledgements
The work was carried out as part of the State assignment No. 075-00697-24-01 from July 04, 2024 «Investigation of using neural networks methods for modeling nonlinear unsteady physical fields in anisotropic media in solving problems of fracture mechanics and turbulent flows hydrogas dynamics» (FNRG-2024-0001, Registration number 1023101000004-2-1.2.1;2.3.1).

В настоящее время при создании систем управления всё более актуальным и перспективным становится применение нейросетей. В настоящей работе, с целью набора обучающих данных для нейросети, было проведено трёхмерное численное моделирование

обтекания телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) типа «Дельфин» струёй в бассейне.

Геометрия аппарата показана на рисунке 1а. Расчётная область, представляющая собой параллелепипед (бассейн) размером 12 х 2 х 6 м, показана на рисунке 1б. На внешних границах области задаётся условие симметрии. Источник струи показан на рисунке 1б синей точкой. Струя создаётся с помощью задания в одной ячейке сетки (объёмом 10^{-3} м^3) объёмного источника *x*-компоненты импульса величиной -80 кН/м3.



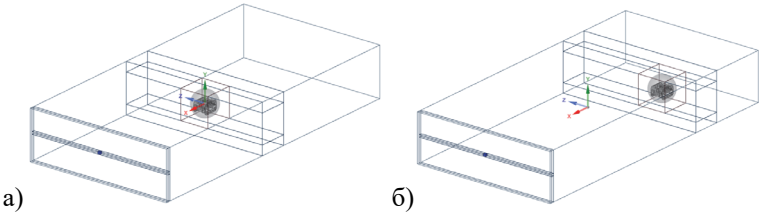
а) б)

Рисунок 1 — Геометрия аппарата (а) и расчётная область (б)

В работе проведена серия расчётов с различным положением аппарата, рассмотренные положения аппарата показаны на рисунке 1б фиолетовыми точками (шаг между точками составляет 1 м). В рамках каждого из отдельных расчётов положение аппарата зафиксировано и не меняется, расчёты проводятся в стационарной постановке. Для моделирования турбулентности применяется RANS подход.

Для автоматического перестроения сетки при изменении положения аппарата, расчётная область поделена на блоки, как показано на рисунке 2а. Наиболее сложная для построения сетки область вокруг аппарата вынесена в отдельный сферический блок. Остальная область поделена на параллелепипеды, для упрощения настройки и генерации сетки. При задании нового положения аппарата, блок с аппаратом смещается, как показано на рисунке 2б, и сетка генерируется заново.

Для иллюстрации получаемого в расчёте течения, на рисунке 3 приведено распределение x-компоненты вектора скорости в центральном сечении области. В качестве основных результатов получены значения действующих на аппарат сил и моментов в разных точках бассейна.



а) б)

Рисунок 2 — Разделение расчётной области на блоки для положения аппарата в центре бассейна (а) и смещённого положения (б)

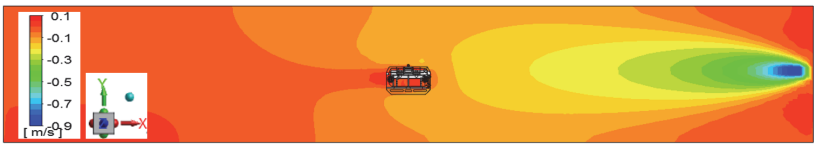


Рисунок 3 — Поле *x*-компоненты вектора скорости в центральном сечении области

Перспективы развития морских робототехнических комплексов с учётом группового применения

А.С. Проценюк✉, И.Б. Калинин

Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия,
a.procenyuk@rtc.ru

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0025 1021101316168-7-2.2.2 № 075-01623-22-01 «Алгоритмы группового управления автономными необитаемыми подводными аппаратами в условиях ограниченной пропускной способности гидроакустических каналов связи».

Prospects for the development of marine robotic complexes taking into account group applications

Aleksey S. Procenyuk✉, Ilya B. Kalinin
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics, St. Petersburg, Russia, a.procenyuk@rtc.ru

Acknowledgements
The results were obtained within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of Russia FNRG-2022-0025 1021101316168-7-2.2.2 No. 075-01623-22-01 «Algorithms for group control of autonomous unmanned underwater vehicles in conditions of limited bandwidth of hydroacoustic communication channels».

Роботы, как свидетельствует опыт их создания и применения, внедряются в первую очередь там, где труд человека и его жизнедеятельность затруднены, невозможны или сопряжены с угрозой для жизни и здоровья. Например, это имеет место в зонах радиоактивного или химического загрязнения, в условиях боевых действий, при проведении подводных или космических исследований, работ и т.п.

Важнейшим направлением развития мировой цивилизации в третьем тысячелетии стало освоение ресурсов Мирового океана. Для России океанский шельф интересен не только с точки зрения освоения природных ресурсов Мирового океана, но и в плане обеспечения национальной безопасности страны.

Общемировыми тенденциями в области морской робототехники являются:

1. Значительное увеличение количества морских робототехнических средств (МРТС).
2. Значительное увеличение числа морских операций, проводимых с применением МРТС.
3. Значительное увеличение автономности средств.
4. Развитие средств автоматизации, в том числе за счет искусственного интеллекта.
5. Комплексное коллективное согласованное применение МРТС.

Наиболее перспективными областями применения МРТК гражданского назначения, являются задачи, связанные с обследованием акваторий в целях:

1. Проектно-изыскательских работ при укладке трубопроводов или освоении подводных месторождений.

2. Геологоразведка.
3. Очистка дна от потенциально опасных объектов.
4. Обследование трассы подводных трубопроводов.
2. Обеспечение безопасности акваторий морских и прибрежных объектов.
3. Экологический мониторинг.
4. Ликвидация последствий аварийных ситуаций (аварийно-восстановительные работы).

Основными задачам морских роботехнических комплексов (МРТК) военного назначения являются:

1. Решение ударных задач.
2. Противоминные действия.
3. Ведение разведки.
4. Охрана объектов.
5. Осуществление снабжения.

С точки зрения тактики наиболее эффективно могут применяться группы разнородных робототехнических средств, состоящих из воздушных, надводных и подводных комплексов. Имея в своём составе разведывательные и ударные робототехнические средства. Сама угроза внезапного нападения с применением роботов-камикадзе или роботов носителей ударных вооружений, которые возможно обнаружить только на малых дальностях, способна вымотать любого противника. Гибридная группа роботов действующих по общему замыслу, под управлением единого алгоритма, в состоянии нанести существенный ущерб противнику.

В настоящее время повышение эффективности использования группы роботов достигается путём применения гибридных групп, состоящих из безэкипажных катеров (БЭК), автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) и телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА). В первую очередь, применение гибридной группы обеспечивает резкое расширение операционной зоны и новый уровень функциональности. Зона работ гибридной группы может достигать десятков километров за счет формирования мобильной сети воздушных/надводных ретрансляторов или подводных гидроакустических маяков при выполнении работ под водой. Применение гибридной группы позволяет получить максимально полную и достоверную интегральную информацию об обстановке, поскольку гибридная группа роботов реализует принцип мультимодальной сенсорики, когда информация формируется принципиально разными способами с последующим её комплексированием. В том числе, становится возможным создание реалистичных интегральных

многомерных цифровых моделей надводной и подводной обстановки.

В то же время, результаты практического применения технологий группового управления показывают, что многие решения ориентированы на функционирование группы роботов в идеализированной или хорошо детерминированной среде и не работают в условиях многообразия и высокой скорости изменения данных. Эта проблема обостряется для гибридных групп автономных роботов, поскольку увеличивается не только объем анализируемых данных, но и многообразие поведенческих реакций группы при невозможности вмешательства со стороны человека-оператора.

Для повышения эффективности применения групп МРТК в первую очередь необходима глобальная устойчивая радиосвязь для передачи данных телеметрии и видеоинформации по направлению МРТК – оператор и выдачи целеуказания и команд управления по направлению оператор – МРТК. Космический канал связи является наиболее предпочтительным. На настоящий момент, такой канал связи с высокой пропускной способностью в РФ отсутствует.

Целесообразно совершенствование отечественных малогабаритных систем навигации, гидроакустических средств освещения внешней обстановки, неакустических систем обнаружения, основанных на различных физических принципах, датчиков внешней среды, систем единого времени, систем гидроакустической связи, шифраторов, систем управления.

Построение стабилизированных систем в условиях подвижных оснований

С.А. Дмитриев, И.Б. Калинин✉, А.С. Проценюк

Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, i.kalinin@rtc.ru

Благодарность

Работа проводилась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0025 1021101316168-7-2.2.2

№ 075-01623-22-01 «Алгоритмы группового управления автономными необитаемыми подводными аппаратами в условиях ограниченной пропускной способности гидроакустических каналов связи».

Construction of stabilized systems in conditions of mobile bases

Stanislav A. Dmitriev, Ilya B. Kalinin✉, Aleksey S. Procenyuk
The Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics
St. Petersburg, Russia, i.kalinin@rtc.ru

Acknowledgements
The results were obtained within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of Russia FNRG-2022-0025 1021101316168-7-2.2.2 No. 075-01623-22-01 «Algorithms for group control of autonomous unmanned underwater vehicles in conditions of limited bandwidth of hydroacoustic communication channels».

В целом ряде практических приложений, связанных с эксплуатацией оборудования в условиях нестабильных оснований возникает проблема стабилизации положения рабочего оборудования.

Так, одной из сложных задач является спуск и приемка подводных аппаратов с палубы судна-носителя. И если спуск подводного аппарата, как правило, является плановым мероприятием и, соответственно, выполняется сообразно погодным условиям, то обратная операция – прием подводного аппарата представляет собой куда более сложную задачу, поскольку помимо непростой задачи стыковки подводного аппарата с причальными приспособлениями, подключается фактор погоды и, связанной с ней, изменением состояния водной поверхности. Таким образом, уже в условиях 3-бального моря прием подводного аппарата на борт судна-носителя становится крайне сложной и опасной задачей.

Еще одной задачей, требующей применения стабилизированных систем, является работа с гидроакустическими комплексами, в частности батиметрические измерители. Батиметрические исследования обычно проводятся при помощи многолучевых эхолотов. Будучи жестко установленные на надводном носителе, многолучевые эхолоты, соответственно повторяя движения этого судна, подвержены влиянию как бортовой, так и килевой качки. Кроме того, судно-носитель вместе с массами воды перемещается вдоль вертикальной

оси. Хотя в современных эхолотах присутствуют алгоритмы компенсации бортовой и, значительно реже, килевой качки, компенсировать вертикальные перемещения они не могут. Все эти движения существенно сказываются на точности измерений.

В качестве инструмента для решения таких задач рассматриваются многозвенные механизмы типа Гоффа-Стюарта с шестью степенями свободы, оснащенные быстродействующими линейными приводами и обеспечивающие, соответственно, перемещение опорной платформы по трем осям и вращение вокруг трех осей. В данных системах источником позиционирования являются датчики взаимного положения двух механически несвязанных платформ, например, система «судно-носитель – необитаемый аппарат». В таком случае осуществляется только взаимная стабилизация двух платформ, без привязки к внешним базисным платформам (например, береговым станциям).

При необходимости же стабилизации измерительных приборов (например, эхолота относительно морского дна) в систему «судно-носитель – прибор» требуется введение третьего звена, относительно которого будет производиться позиционирование механизма стабилизации. В условиях близости берегов, в роли третьего звена может выступать береговые ориентиры с датчиками позиционирования. В условиях открытого моря в качестве третьего звена может выступать инерциальная система навигации (ИНС), работающая совместно с системой спутникового позиционирования, относительно которой механизм стабилизации будет выдерживать положение измерительного прибора. Такие системы позиционирования, как правило, входят в комплект многолучевых эхолотов.

Применение стабилизированных платформ позволяет решить проблему влияния угловых и линейных перемещений при эксплуатации морских измерительных комплексов, упростить и обезопасить эксплуатацию подводных аппаратов. Кроме того, механизмы стабилизации позволяют расширить погодный диапазон работы морских комплексов.

Математическое моделирование управляемого движения подводного манипулятора при перемещении груза

В.А. Леонтьев
Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, vleont@rtc.ru

Благодарности
Работа выполнена в рамках Государственного задания № 075-00697-24-01 от «03» апреля 2024 г. «Поиск путей создания глубоководного гидравлического манипулятора для подводно-технических работ, в том числе в условиях ионизирующего излучения» (FNRG-2022-0021, регистрационный номер 1021101316133-1-2.2.2).

Mathematical modeling of the controlled movement of underwater manipulator when moving the load

Victor A. Leontev
Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics (RTC), St. Petersburg, Russia, vleont@rtc.ru

Acknowledgements
The work was carried out as part of the State assignment No. 075-00697-24-01 from April 03, 2024 «The search for ways to create a deep-sea hydraulic manipulator for underwater work, including the conditions of ionizing radiation» (FNRG-2022-0021, Registration number 1021101316133-1-2.2.2).

Постановка задачи

Необходимо исследовать точность управления подводным манипулятором с грузом в схвате, построив модели двух типов PID регуляторов, действующих по трем основным (транспортным) степеням подвижности. Прежде всего нужно построить механическую модель манипулятора с учетом всех действующих на него сил под водой. Необходимо в итоге сравнить возможности простого PID управления только по ошибкам в скоростях штоков гидроцилиндров, с возможностями расширенного PID+ регулятора управляющего не

только по ошибкам в скоростях, но и по ошибкам в положениях гидроцилиндров. При этом рассматривается движение по заданному плоскому перемещению схвата с грузом по траектории в виде замкнутого квадрата - см. рис.1.

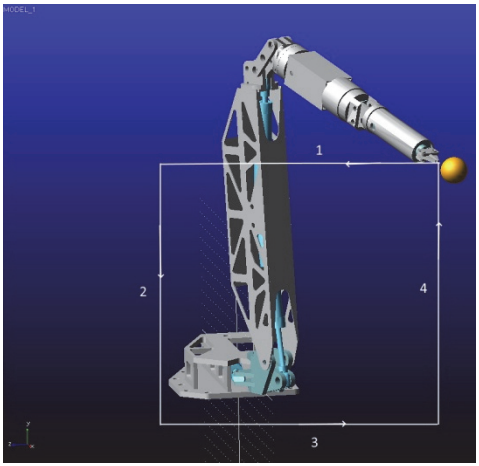


Рисунок 1 — Требуемое движение схвата манипулятора с грузом

Разработка компьютерной модели подводного манипулятора

В расчетной программе была построена реалистичная модель подводного манипулятора с грузом на конце и с основными звеньями, вращающимися под действием трех гидроцилиндров со штоками, движущимися под воздействием управляющих сил. Были учтены не только силы веса всех элементов конструкции и выталкивающие архимедовы силы, но учтены также все гидродинамические силы сопротивления, и так называемые силы присоединенных масс воды по известным формулам из [1].

Построены также модели регуляторов PID и PID+, управляющих перемещением штоков по ошибкам в их движении.

Далее была задана плоская траектория движения схвата с грузом, и сняты в виде сплайнов по времени соответствующие необходимые законы перемещений штоков.

Затем было произведено соответствующее сравнительное численное моделирование работы регуляторов PID и PID+, при выполнении перемещения схвата по заданному квадрату. Найдены значения коэффициентов регуляторов в обоих случаях движения, дающие

наилучшее воспроизведение формы квадрата. На полученных сравнительных графиках видно заметное преимущество в точности управления регулятора PID+ над случаем управления с помощью простого PID регулятора (рис. 2).

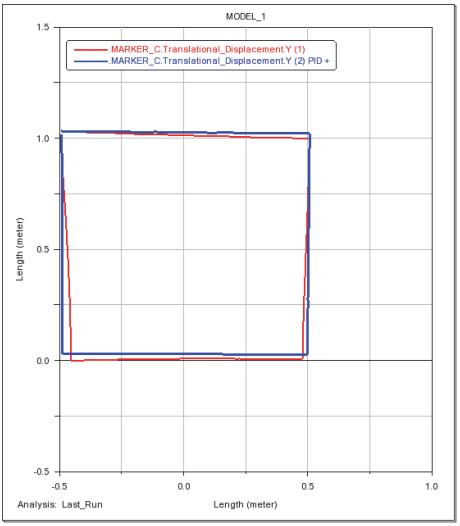


Рисунок 2 — Результат моделирования управляемого движения с помощью обоих вариантов регуляторов

Здесь видно, что PID+ регулятор (синяя кривая) намного лучше воспроизвел форму заданного квадрата, чем простой PID регулятор (красная кривая). Соответственно, рекомендуется использовать именно PID+ управление, не только по ошибкам в скоростях движения штоков, но и по ошибкам в текущем положении штоков гидроцилиндров, прикладывающим управляющие усилия к звеньям подводного манипулятора.

Литература

1. Е.Н. Пантов, Н.Н. Махин, Б.Б. Шереметов. Основы теории движения подводных аппаратов. Ленинград. «Судостроение». 1973. -216 с.

Формирование сценариев действий робототехнических средств на отладочно-моделирующем комплексе

И.С. Бунар, А.Г. Любимов, И.К. Петушок
Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, i.bunar@rtc.ru, lubimov@rtc.ru, i.petushok@rtc.ru

Благодарности
Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0008 № 075-00697-24-01 «Исследование методов и разработка технологий создания отладочно-моделирующих комплексов для функционального и поведенческого моделирования РТК и групп РТК».

Formation of scenarios for the actions of robotic tools on a debugging and modeling complex

Ilona S. Bunar, Andrey G. Lubimov, Igor K. Petushok
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics, St. Petersburg, Russia, i.bunar@rtc.ru, lubimov@rtc.ru, i.petushok@rtc.ru

Acknowledgements
The results were obtained as part of the fulfillment of the state task of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation FNRG-2022-0008 № 075-00697-24-01«Research of methods and development of technologies for creating debugging and modeling complexes for functional and behavioral modeling of RTC and RTC groups».

В статье авторы рассматривают вопросы создания виртуальных сред для разработки робототехнических комплексов (РТК): формирование алгоритмических решений в имитируемой физической среде, в том числе в режиме реального времени; моделирование сценариев выполнения миссий РТК; отладка систем управления РТК.

Изложение материала производится относительно морских РТК, предназначенных для выполнения подводно-технических работ.

Для решения вопросов отладки и тестирования программных компонентов информационно-управляющих систем производится

сопряжение имитационной модели РТК с имитаторами бортового оборудования и моделью внешней среды [1].

При этом имеется возможность:

– осуществить разработку, отладку и тестирование программных компонентов системы управления, как верхних уровней, так и нижнего (драйверов);

– смоделировать разнообразные аварийные и нештатные ситуации в бортовом оборудовании РТК.

Пользователи предлагаемого отладочно-моделирующего комплекса (ОМК) должны иметь возможность пошагового формирования функционального и поведенческого моделирования РТК и групп РТК и получения на выходе результатов расчетов, моделей и алгоритмов поведения.

Сначала осуществляется выбор локации, как из представленного набора карт, так по названию района или координатам (рис.1).

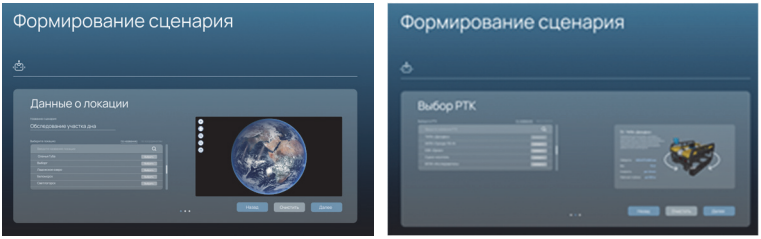


Рисунок 1 — Выбор локации и РТК

Осуществляется выбор одного или нескольких РТК из представленных в наборе, при этом выводится краткая информация о предназначениях и технических характеристиках РТК, с возможностью осмотра со всех сторон 3D модели выбранного РТК (рис. 2).

Затем отображается экран конфигуратора миссии, с помощью которого моделируется конкретная обстановка (рис. 2):

– отдельная панель с информацией о РТК, на которой может задаваться координаты текущего положения каждого робота скорость, направление, глубину погружения и положение относительно дна каждого из РТК;

– точная морская карта, на которой отображается навигационная обстановка, объекты и специальные маркеры (например, маршруты судов);

– отдельная панель, на которой задается дата и время параметры среды и погодные условия.

Рисунок 2 — Экран конфигуратора

В структуре создаваемого ОМК предложен широкий комплекс средств моделирования, конфигурирования, отработки и анализа всех элементов оборудования и системы управления РТК. Для отработки режимов управления должны быть реализованы универсальные интерфейсы с имитаторами пультов/постов управления и с программно-аппаратными средствами виртуального полигона [2].

Литература

1. Е.К. Игнатиади, И.К. Петушок Концепция моделирования внешней среды для морских робототехнических комплексов// Труды 32-й Международной научно-технической конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА», Санкт-Петербург: ЦНИИ РТК, 2021. С. 292–296.

2. Исследование методов и разработка технологий создания отладочно-моделирующих комплексов для функционального и поведенческого моделирования РТК и групп РТК. // Отчет о НИР. рук. Е.К. Игнатиади. СПб 2023.

Разработка технологии сопряженных расчетов динамики подводного реконфигурируемого змееподобного аппарата и гидродинамики обтекающей его жидкости

К.К. Забелло✉, Н.А. Щур
Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, k.zabello@rtc.ru

Благодарности
Результаты получены в рамах выполнения государственного задания № 075-00697-24-00 «Исследование путей создания и областей возможного применения биоморфных подводных роботов» FNRG-2022-0013, 1021060307689-7-1.2.1;2.2.2.

Development of a technology for conjugated calculations of the dynamics of an underwater snake-like reconfigurable apparatus and the hydrodynamics of the fluid flowing around it

Konstantin K. Zabello✉, Nikolai A. Shur
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics, St. Petersburg, Russia, k.zabello@rtc.ru

Acknowledgements
Results were obtained as part of the implementation of state assignment № 075-00697-24-00 «Study of ways of creation and areas of possible application of biomorphic underwater robots» FNRG-2022-0013, 1021060307689-7-1.2.1, 2.2.2.

В данной работе предлагается численная модель подводного реконфигурируемого аппарата типа змея-мурена (рис. 1). Корпус аппарата имеет вытянутую торпедообразную форму с круглым поперечным сечением на концах и в середине аппарата и с эллиптическим сечением в местах утолщения. По бокам вытянутого корпуса прикреплены 3 пары движителей, по одному слева и справа от аппарата.

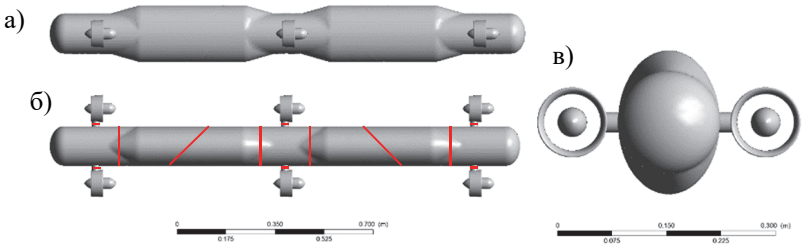


Рисунок 1 — Геометрия аппарата (конфигурация №1) «мурена», вид сбоку (а), сверху (б) и спереди (в), красным выделены плоскости поворотных шарниров

Представленный аппарат является реконфигурируемым, то есть имеет возможность изменять свою форму. Изменение формы аппарата обеспечивается наличием поворотных механизмов (всего 12 штук), расположенных в местах крепления движителей и внутри корпуса аппарата (рис. 1б). В настоящей работе рассматриваются только два поворотных механизма с плоскостью вращения, расположенной под 45º к оси аппарата. Данные поворотные механизмы обеспечивают возможность преобразования из базовой конфигурации аппарата (рис. 1) в П-образную (рис. 2) путем поворота механизмов на 180º.

В ходе реконфигурации аппарат представляется в виде совокупности трех цилиндров, что позволяет учитывать изменения таких характеристик аппарата как центр масс, моменты инерции, присоединённые массы и моменты. Тяга двигателей, неинерционные силы и метацентрическая высота полагаются равными нулю.

Расчеты проводились с использованием пакета ANSYS Fluent 2019. Учет движения границ расчетной области осуществлялся с использованием деформируемых расчетных сеток с авторским алгоритмом деформации, реализованный через механизм пользовательских функций (UDF). Задача рассматривалась в URANS постановке с использованием модели турбулентности k-ω SST Ментера. Использовался второй порядок аппроксимации по пространству и первый порядок аппроксимации по времени. Размерность расчётной сетки (рис. 2) составила 1.7 млн ячеек. Максимальная скорость поворота плеч составляет 0.1 рад/с. Достаточным шагом по времени для данной скорости является 0.01 сек.

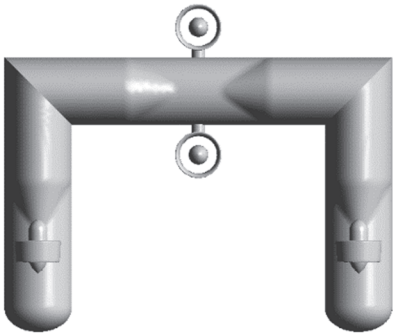


Рисунок 2 — П-образная конфигурация аппарата «мурена» (конфигурация № 2) вид сбоку

В ходе проведения расчетов удалось получить, гидродинамические поля вблизи аппарата, а также силы и моменты, действующие на аппарат во время реконфигурации.

Исследование влияния особенностей аддитивного производства пластиковых элементов конструкции на ресурс роборыбы

Г.В. Казанцев
Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, g.kazancev@rtc.ru

Благодарности
Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России №075-00697-24-00 «Исследование путей создания и областей возможного применения биоморфных подводных роботов» (FNRG-2022-0013, 1021060307689-7-1.2.1;2.2.2).

Investigation of the influence of the features of additive manufacturing of plastic structural elements on the resource of the fishlike robot

Georgy V. Kazantsev
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics, St. Petersburg, Russia, g.kazancev@rtc.ru

Acknowledgements
The work was carried out as the part of the state task of the Russian Ministry of Education and Science №075-00697-24-00 «Investigation of ways to create and areas of possible application of biomorphic underwater robots» (FNRG-2022-0013, 1021060307689-7-1.2.1;2.2.2).

В процессе изготовления деталей из полимерных материалов возникают остаточные напряжения, вызванные неравномерным или слишком быстрым охлаждением материала. Величина этих напряжений является причиной выраженных искажений формы особенно для тонкостенных элементов, а также может приводить к образованию трещин, напрямую влияющих на усталостные характеристики, прочность и долговечность. Теоретическое исследование процесса аддитивного производства путем выполнения численного моделирования является необходимым требованием для сокращения издержек при проектировании детали.

Учет особенностей технологии производства с использованием численного моделирования позволит повысить качество прогнозирования ресурса изготавливаемых деталей. Повышение ресурса, в свою очередь, снижает затраты на обслуживание и ремонт, а также позволяет увеличить продолжительность работы в различных условиях.

Одно из направлений робототехники представляет собой поиск новых решений по созданию биоморфных роботов. В рамках НИОКР в ЦНИИ РТК разрабатывался прототип мобильной робототехнической платформы роборыбы, особенность которого заключалось в способе передвижения с помощью подвижного хвоста [1]. Объектом исследования является биоморфный движитель рыбы, который изготовлен из ABS пластика и приводится в движение с помощью шагового двигателя. Принцип работы заключается в передаче вращательного момента коническими шестерням и от двигателя к цепочке косозубых зубчатых колес, расположенных в четыре ряда. В процессе испытаний и отладки возникла необходимость исследования ресурса подвижной

части движителя, а именно влияние формоизменений в процессе изготовления деталей.

Метод FDM-печати основан на процессе последовательного нанесения расплавленного материала на уже существующий. Для задач теплопроводности при исследовании высокоинтенсивных нестационарных процессов при печати необходимо учитывать, что теплота распространяется хоть и с очень большой, но конечной скоростью, поэтому необходимо использовать дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности в изотропной упруго-деформируемой среде. Задача теплопроводности, наряду с граничными условиями первого рода (условиями Дирихле), также включает в себя определение граничных условий второго рода (условия Неймана), а также граничных условий третьего рода (условия Коши). Граничные условия второго рода задают величину теплового потока через границу области. Математически выражаются как задание значения нормальной производной температуры на границе области. Граничные условия третьего рода объединяют условия первого и второго рода, задавая линейную комбинацию температуры и ее нормальной производной на границе области, и описывают теплообмен между телом и окружающей средой [2].

В результате затраченное время на выполнение расчета для выбранной детали роборыбы составило 139 секунд, в то время как печать на 3Д принтере заняла бы 831 секунду. Были получены характеристики температурного поля и поля напряжений ежесекундно, а также формоизменения детали после ее остывания. Прочностные характеристики получаемой детали намного быстрей исследовать с помощью численного моделирования, так как процесс затраченное время на расчеты в 6 раз меньше, чем процесс печати на 3Д принтере.

Для учета полученных формоизменений было проведено численное моделирование движений хвоста рыбы на частоте 1 Гц. Моделирование в одинаковых условиях работы выполнялось для двух деталей в составе общей конечно-элементной модели хвоста рооборыбы: для детали с формоизменениями и для детали, изготовленной из изотропного материала. В ходе анализа полученных данных был выбран конечный элемент, испытывающий наибольшие нагрузки. Далее с помощью кривой усталостной прочности для ABS пластика определяется количество циклов до разрушения [3]. Исходя из полученных данных можно сделать вывод о том, что способ изготовления FDM-печатью влияет на усталостные характеристики и снижает ресурс роборыбы на 32,5% по сравнению с изотропной деталью (см. табл. 1).

Таблица 1 — Ресурс роборыбы

Описание детали	Максимальное напряжение, МПа	Количество циклов, шт.
Деталь, изготовленная методом послойного наплавления	16,29	776
Деталь, изготовленная из изотропного материала	15,03	1150

Литература

1. Научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа / Исследование путей создания и областей возможного применения биоморфных подводных роботов // РЕГ. № НИОКТР 122022200371-0.– 2023.

2. Вычислительная механика деформируемого твердого тела. Задачи теплопроводности и теории упругости: учеб. пособие / А. И. Боровков [и др.]. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – 162 с.

3. Кузьмин А.А., Яблокова М.А. Выбор допускаемых напряжений при расчете на прочность деталей из пластмасс // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 8-2. – С. 242-246.

Исследование и разработка системы стабилизации длиннофокусной камеры мобильного робота

А.В. Мымрин, В.В. Варлашин✉

Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, v.varlashin@rtc.ru

Research and development of a stabilization system for a long-focus camera of a mobile robot

Anton V. Mymrin, Viktor V. Varlashin✉

Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), St. Petersburg, Russia, v.varlashin@rtc.ru

На сегодняшний день задача стабилизации видео решается в таких областях, как кинематограф, мониторинг дорожного движения, выполнение поисково-спасательных операций с использованием робототехнических комплексов. В случаях, когда камера закреплена на движущемся объекте, таком как БПЛА, наземный или наводный мобильный робот, возникают нежелательные движения камеры, которые могут исказить изображение, особенно в случае выполнения наблюдения на дальних расстояниях при помощи длиннофокусного объектива.

Предполагается, что механический стабилизатор должен эффективно компенсировать нежелательные движения в ограниченном диапазоне внешних воздействий, будь то волны, действующие на плавающую платформу, или пересеченная местность, по которой движется мобильный робот. Анализируя данные нежелательные движения камеры, можно оценить возникающие при движении моменты сил, и на основании полученных данных подобрать приводные системы для стабилизатора, а также синтезировать алгоритмы, обеспечивающие управление с заданной точностью. Сама камера, как и внешние воздействия, могут быть смоделированы при помощи виртуальной среды с физическим движком. Возможность настраивать параметры моделирования внешних воздействий позволяет экспериментально оценить их влияние на движение камеры, а также сгенерировать достаточно большой набор данных для того, чтобы при синтезе алгоритма управления стабилизатора настроить параметры регулятора при помощи нейронных сетей.

В среде Unity создана виртуальная сцена (рис. 1), где наводный робот с установленной на нем камерой двигается по течению с заданной скоростью. Волны генерируются согласно уравнению (1):

$$y = a \cdot cos(c \cdot t + p_1) + b \cdot cos(d \cdot t + p_2), \qquad (1)$$

где $p_1,\ p_2$ – перлиновский шум; *a, b* – амплитуда волн; *c, d* – угловая частота волн.

При проведении экспериментов получены зависимости перемещения и вращения камеры, установленной на движущемся по реке роботе, от времени. Полученные зависимости положений камеры, закрепленной на платформе, движущейся под воздействием волн, заданных согласно уравнению (1), можно воспроизвести с использованием манипулятора типа UR5e ф. Universal Robot для имитации волн при натурном эксперименте. Для получения априорных данных, по-

лученные зависимости можно воспроизвести на его виртуальной модели, достаточно точно повторяющей движения реального манипулятора.

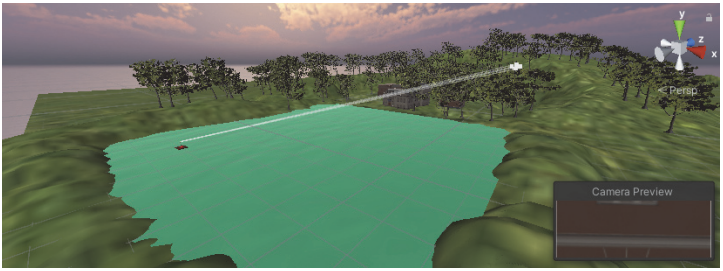


Рисунок 1 — Сцена в Unity, моделирующая движение наводного робота

Полученные в результате моделирования движения камеры зависимости угловых скоростей и ускорений могут быть использованы для оценки необходимых для компенсации движения камеры моментов сил. Таким образом, рассчитав моменты сил, возникающие при движении камеры, а также их зависимости от времени, в дальнейшем может быть выбран привод, компенсирующий колебания камеры по каждой из осей.

Трёхмерное численное моделирование движущихся рядом подводных аппаратов

Н.А. Щур, А.А. Пожилов

Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, n.tschur@rtc.ru, a.pojilov@rtc.ru

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 075-00697-24-01 «Алгоритмы группового управления автономными необитаемыми подводными аппара-

тами в условиях ограниченной пропускной способности гидроакустических каналов связи» (FNRG-2022-0025, 1021101316168-7-2.2.2).

Three-dimensional numerical simulation of underwater vehicles moving together

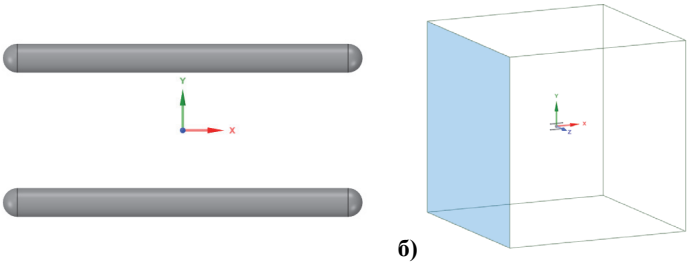
Nikolai A. Tschur, Alexey A. Pozhilov
Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics, St. Peterburg, Russia, n.tschur@rtc.ru, aapozhilov@mail.ru

Acknowledgements
The work was carried out as the part of the state task of the Russian Ministry of Education and Science № 075-00697-24-01 «Algorithms for group control of autonomous uninhabited underwater vehicles taking into account the limited bandwidth of hydroacoustic communication channels» (FNRG-2022-0025, 1021101316168-7-2.2.2).

В настоящее время в ЦНИИ РТК активно развивается методика совместного трёхмерного численного моделирования динамики управляемого подводного аппарата и гидродинамики обтекающей его жидкости, которая используется для разработки и тестирования систем управления одиночных необитаемых подводных аппаратов (НПА). В последнее время, в различных областях всё более актуальным и перспективным становится направление, связанное с групповым управлением аппаратами. При групповом движении важно учитывать, что движущиеся рядом аппараты оказывают друг на друга влияние.

Для количественной оценки взаимного влияния аппаратов, в данной работе проведено детальное трёхмерное численное моделирование пары аппаратов, движущихся с одинаковой постоянной скоростью на заданном расстоянии друг от друга. Аппараты имеют цилиндрическую форму с полусферами на концах, как показано на рисунке 1а. Общая длина аппарата составляет 75 см, а радиус основной цилиндрической части и полусфер на концах – 3 см. Расчётная область показана на рисунке 1б и представляет собой куб со стороной 10 м, в центре которого находятся два аппарата. Задача решается в связанной с аппаратами системе координат, так на одной из границ (показанной синим цветом) задается условие однородного набегающего

потока со скоростью 2 м/с, а на остальных границах – условие нулевого относительного давления.



а) **б)**

Рисунок 1 — Геометрия аппаратов (а) и расчётная область (б)

В ходе работы проведена серия расчётов с варьированием расстояния между аппаратами. Каждый из расчётов проводится в стационарной постановке с применением RANS подходов для моделирования турбулентности. Отдельное внимание уделяется сеточной сходимости результатов, так как в ходе работы обнаружено, что подробность расчётной сетки оказывает влияние не только на величину, но и на направление силы, возникающей при совместном движении аппаратов. В качестве основных результатов получены значения действующих на аппараты сил и моментов в зависимости от расстояния между ними.

Синтез алгоритмов управления биоморфным подводным роботом с использованием концепции вложенных моделей

Д.К. Серов✉, Н.П. Коренко, Е.Ю. Смирнова
Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, d.serov@rtc.ru

Благодарности
Результаты получены в рамах выполнения государственного задания № 075-00697-24-00 «Исследование путей создания и областей

возможного применения биоморфных подводных роботов» FNRG-2022-0013, 1021060307689-7-1.2.1;2.2.2.

Synthesis of algorithms for motion control of biomorphic underwater robot in accordance with the concept of nested models

Danila K. Serov✉, Nikita P. Korenko, Ekaterina Yu. Smirnova
Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics, St. Peterburg, Russia, d.serov@rtc.ru

Acknowledgements
Results were obtained as part of the implementation of state assignment № 075-00697-24-00 «Study of ways of creation and areas of possible application of biomorphic underwater robots» FNRG-2022-0013, 1021060307689-7-1.2.1;2.2.2.

Одним из перспективных направлений подводной робототехники в настоящий момент является применение биоподобных подводных роботов (БПР), в частности, для работы в крупных промышленных акваториях. Использование биоинспирированных движителей при выполнении технологических операций позволяет данным роботам минимизировать вред, наносимой экосистеме, что является значительным преимуществом перед классическими подводными аппаратами с винтовыми движителями.

Одним из ключевых этапов проектирования БПР является разработка системы управления с учетом ограничений, накладываемых бионспирированными движителями. При этом данный процесс осложняется как нестационарным характером водной среды, так и сложностью математического описания динамики движения БПР. Несмотря на то, что существуют различные подходы к аналитическому описанию динамики БПР [1, 2] сильное различие в геометрической форме и составе движительного комплекса биоморфных роботов ведет к тому, что валидность данных подходов для каждого конкретного робота приходится рассматривать в отдельности.

В данной работе в качестве альтернативы существующим подходам рассмотрена возможность синтеза алгоритма управления движением БПР с использованием концепции вложенных моделей, показавшей свою эффективность при разработке алгоритмов управления

применительно к классическим подводным роботам [3]. В частности, для первичной разработки и отладки алгоритмов управления предложено использовать кибернетические модели [4], описывающие динамику робота при выполнении каждой из типовых операций поведения упрощенно, в виде звеньев классической теории автоматического управления. Апробацию разработанных алгоритмов управления, в свою очередь, предложено осуществлять на сеточных гидродинамических моделях, наиболее точно отражающих реальное поведение БПР.

По результатам проведенных математических экспериментов выявлены основные достоинства и недостатки использования концепции вложенных моделей при синтезе алгоритмов управления БПР. Определены основные ограничения и проблемные вопросы использования данной методики применительно к БПР осцилляторного и ундулляторного типов.

Литература

1. Lighthill M.J. Large-amplitude elongated-body theory of fish locomotion//Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences. – 1997. – T. 179. – N 1055. – P. 125-138.

2. Candelier F., Boyer F., Leroyer A. Three-dimensional extension of Lighthill's large-amplitude elongated-body theory of fish locomotion//Journal of Fluid Mechanics. – 2011. – Vol. 674. – P. 196-226

3. Лопота А. В., Половко С. А, Серов Д. К., Щур Н. А. Развитие методики проектирования систем управления необитаемых подводных аппаратов с использованием концепции вложенных моделей // Материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления» – 2024. – С.110-117.

4. Горюнов В. В., Половко С. А., Щур Н. А. Технология создания кибернетических моделей для синтеза и отработки регуляторов системы управления движением автономного необитаемого подводного аппарата // Робототехника и техническая кибернетика – 2020 – Т. 8. – № 4. – С. 308–318.

Опыт проведения экспериментальных исследований для проверки эффективности системы управления движением необитаемого подводного аппарата в режиме позиционирования

С.А. Половко, Д.К. Серов✉, В.В. Горюнов, И.А. Бондаренко, В.Л. Вартанов

Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, d.serov@rtc.ru

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России на 2024 год № 075-00697-24-00 от 27.12.2023 FNRG-2022-0017 1021060307691-2-1.2.1;2.2.2 «Развитие теории синтеза оптимального управления гиперизбыточных роботов подводного базирования в условиях непрогнозируемых нестационарных течений и потоков».

Experience of conducting experimental studies to test the effectiveness of the motion control system of an unmanned underwater vehicle in positioning mode

Sergey A. Polovko, Danila K. Serov✉, Vladimir V. Goryunov, Ilya A. Bondarenko, Vladimir L. Vartanov

Russian State Scientific Centre for robotics and Technical Cybernetics, St. Peterburg, Russia, d.serov@rtc.ru

Acknowledgements

The results were obtained as a part of the state assignment of the Ministry of Education and Science of Russia for 2024 No. 075-00697-24-00 dated 12/27/2023 FNRG-2022-0017 1021060307691-2-1.2.1;2.2.2 «Development of the theory of synthesis of optimal control of hyper-redundant underwater robots in the presence of unpredictable non-stationary currents and flows».

В настоящее время необитаемые подводные аппараты (НПА) находят активное применение при выполнении прикладных и иссле-

довательских задач [1]. При этом одним из ключевых этапов проектирования подводных аппаратов является разработка системы управления, осложняемая как нестационарным характером водной среды, так и ограничениями бортовой вычислительной и измерительной аппаратуры.

В докладе изложен опыт ЦНИИ РТК по разработке алгоритмов управления движением малоинерционного НПА в условиях непрогнозируемых течений и прочих возмущаемых воздействий на примере выполнения операции позиционирования. Представлена методика проектирования системы управления НПА с использованием концепции вложенных моделей [2] и описано поэтапное ее выполнение, включающее апробацию алгоритма управления на макете НПА в экспериментальном бассейне. Приведен состав специализированной стендовой базы для проведения натурных экспериментов, включающий систему технического зрения, световой маркер для решения задачи локализации подводного аппарата и специальное оборудование для создания течения в ограниченном водном пространстве. Представлены соответствующие результаты экспериментальных исследований по выполнению операции позиционирования при наличии внешних возмущающий воздействий.

По результатам проведенных математических и натурных экспериментов продемонстрирована эффективность использования концепции вложенных моделей для синтеза алгоритма управления НПА на примере выполнения операции позиционирования.

Литература

1. Инзариев А. В., Киселев Л. В., Костенко В. В. и др. Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение / ФГБУН Институт проблем морских технологий ДВО РАН. – Владивосток, 2018. – 368 с.

2. Лопота А. В., Половко С. А, Серов Д. К., Щур Н. А. Развитие методики проектирования систем управления необитаемых подводных аппаратов с использованием концепции вложенных моделей // Материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления» – 2024. – С.110-117.

Численное моделирование плавания рыбоподобного робота с двухплавниковым движителем

С.Т. Шекелашвили✉, Н.А. Щур
Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, s.shekelashvili@rtc.ru

Благодарности
Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России №075-00697-24-00 «Исследование путей создания и областей возможного применения биоморфных подводных роботов» (FNRG-2022-0013 1021060307689-7-1.2.1;2.2.2).

Numerical modeling of a fish-like robot with biplane tail fin propulsor

Sergei T. Shekelashvili✉, Nikolai A. Tschur
Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics (RTC), St. Petersburg, Russia, s.shekelashvili@rtc.ru

Acknowledgements
The work was carried out as the part of the state task of the Russian Ministry of Education and Science №075-00697-24-00 «Investigation of ways to create and areas of possible application of biomorphic underwater robots» (FNRG-2022-0013 1021060307689-7-1.2.1;2.2.2).

Одним из перспективных направлений развития пропульсивных систем для необитаемых подводных аппартов является разработка взмаховых движителей, генерирующих тягу за счёт трансляционных и угловых колебаний. Такой метод перемещения широко распространен в природе и позволяет рыбам, птицам и насекомым наиболее эффективно перемещаться в своей среде обитания.

Тот факт, что взмаховые движители могут генерировать существенную тягу с высоким КПД, неоднократно подтверждался в экспериментах. Например, в статье [1] описаны измерения тяги и мощности, затрачиваемой на колебания, для случая гармонических колебаний крылового профиля в гидроканале (число Рейнольдса во было

равным 40000). В достаточно широком диапазоне параметров возможно достить КПД взмаха более 50% и генерировать тягу, сравнимую с тягой винтового движителя. Кроме того, результаты измерений указывают на то, что взмаховые движители позволяют эффективно стартовать с места и маневрировать за счёт изменения закона колебаний. Взмаховые движители находят применение в области проектирования биоморфных роботов, например, MIT RoboTuna [2] и рыбоподобного робота из [3].

Одним из характерных эффектов, обнаруженных в ранних исследованиях по тематике пропульсии за счёт взмахов, является увеличение тяги и КПД при симметричных колебаниях двух профилей в противофазе. Он успешно моделируется методами CFD, что показано, например, в работах [4] и [5].

Целью настоящей работы является исследование динамики упрощенной модели рыбоподобного робота с двухплавниковым движителем. Проводятся сопряженные расчёты динамики аппарата и гидродинамики, используется метод деформируемых сеток с оригинальным алгоритмом деформации. Проводится сопоставление со случаем, когда хвостовой плавник один.

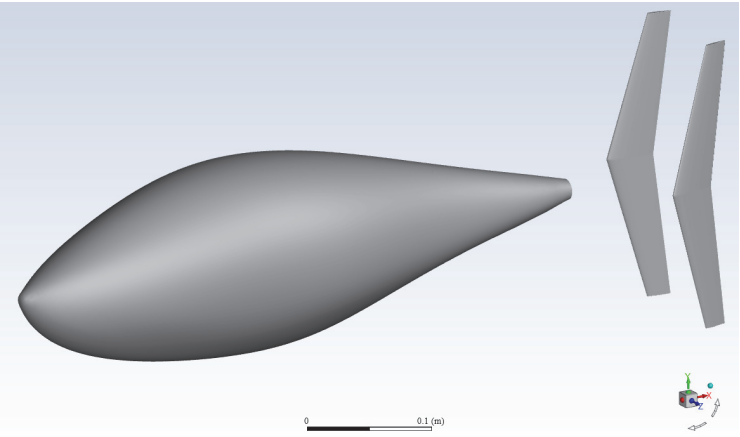


Рисунок 1 — Упрощенная модель рыбоподобного робота с двухплавниковым движителем

Литература

1. Read, D., Hover, F., Triantafyllou, M. Forces on oscillating foils for propulsion and maneuvering // Journal of Fluids and Structures. — 2003. — Jan. — Vol. 17, no. 1. — P. 163—183.
2. Barrett, D. [et al.] Drag reduction in fish-like locomotion // Journal of Fluid Mechanics — 1999. —Vol. 392. — P. 183—212.
3. Mitin, I. [et al.] Modeling Biomorphic Robotic Fish Swimming: Simulations and Experiments // International Conference on Interactive Collaborative Robotics — 2022 — P. 189—198.
4. Zhu J., Lei B. Effect of Wing-Wing Interaction on the Propulsive Performance of Two Flapping Wings at Biplane Configuration // Applied Bionics and Biomechanics. — 2018. — Vol. 2018.
5. Шекелашвили, С. Т. Расчет силовых характеристик двухплавникового движителя // Робототехника и искусственный интеллект : Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Железногорск, 02 декабря 2023 года / Сибирский федеральный университет — Железногорск: ЛИТЕРА-принт, 2023. — С. 45-50.

Обоснование архитектурного облика системы группового управления роботами-спасателями

П.К. Шубин[1]✉, М.В. Кулешова[1], Е.В. Павлов[2]✉

[1]Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, shubin@rtc.ru

[2]Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» (ФГБУ ВНИИПО МЧС России), г. Балашиха, Московская область, Россия, pavlov-vp@mail.ru

Justification of the architectural appearance of the group control system for rescue robots

Peter K. Shubin[1]✉, Kuleshova V. Marina[1], Evgeny V. Pavlov[2]✉
[1]Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), St. Petersburg, Russia, shubin@rtc.ru
[2]Federal State-Financed Establishment «All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters» (FGBU VNIIPO of the Emergencies Ministry), Balashikha, Moscow Region, Russia

Обоснование архитектурного облика системы группового управления роботами (СГУР) основано на анализе существующих стратегий, алгоритмов и моделей группового управления роботами (ГУР), представленном в [1]. Этот анализ выполнен применительно к реализации проекта по разработке и созданию наземного роботизированного комплекса (НРК), как наращиваемой группы беспилотных универсальных спасательных средств (УСС) смешанного базирования «земля-море-воздух», амфибийного типа, имеющих высокую степень автономности, автоматизации и проходимости для поисково-спасательных операций (ПСО) в экстремальных условиях Арктики и Крайнего Севера [2]. Как было показано в [3] основным преимуществом проекта НРК УСС является оперативность проведения ПСО, которая будет определяться, в том числе, и эффективным управлением группой автономных роботов, обеспечивающим их оптимальное функционирование при решении задачи экстренного спасания терпящих бедствие людей с поверхности воды, льда и грунта.

Анализ основных моделей ГУР показал, что цели исследования в наибольшей степени соответствует «оптимизационный подход» [1]. В общем случае под этим термином понимается построение формальных моделей коллективов и групп роботов (ГР), которые допускают применение различного рода методов оптимизации управления [4]. Однако, при построении математических моделей и алгоритмов оптимизации управления и технических характеристик роботов группы присутствует недостаток, который относится к отсутствию явного учета стохастичности, недетерминированности протекающих процессов, требующих вероятностных оценок, как это показано в [5]. Одним из основных факторов, существенно влияющих на величину показателя эффективности выполнения заданного объема работ ГР (решения поставленной задачи, достижения цели ГУР), является вероятность успешного управления (устойчивость связи и управления, передачи и обработки информации) функционированием ГР в течение расчетного времени выполнения работ.

Для наиболее эффективного, оптимального достижения групповой цели действия отдельных роботов группы должны быть согласованы и скоординированы.

Основное внимание в исследовании уделено алгоритмическим, программным и аппаратным проблемам построения именно СГУР, предназначенных для формирования технологий функционального и поведенческого моделирования роботов и ГР в естественной неорганизованной внешней среде. СГУР может быть реализована в рамках мобильной инфокоммуникационной системы (МИС), которая состоит из систем мобильной связи (СМС), обеспечивающих надежный и оперативный информационный обмен между элементами СГУР в зоне функционирования ГР. Целесообразна смешанная структура программно-аппаратных средств СМС, которая предусматривает наличие не менее двух многоканальных командно-телеметрических линий мобильной связи. Должен быть обеспечен приоритет линий мобильной связи верхнего уровня, а также информационный обмен всех ЛПР, ЦУУ и роботов со всеми. Наличие дублирующих вариантов СМС позволит обеспечить высокую надежность и живучесть МИС при реализации СГУР в сложных арктических условиях.

Литература

1. Битный-Шляхто В.М., Шубин П.К., Кулешова М.В. Подход к решению задачи оптимизации функционирования группы автономных роботов при спасании людей в арктических условиях // Экстремальная робототехника. – 2022. – Т. 1, № 1. – С. 334–339. – Текст : непосредственный.

2. Создание наземного роботизированного комплекса универсальных спасательных средств для Арктики и Крайнего Севера / М.А. Шахраманьян, Е.В. Павлов, П.К. Шубин [и др.] // Экстремальная робототехника. – 2021. – Т. 1, № 1. – С. 303–311. – Текст : непосредственный.

3. Shubin P. Comparative assessment of rescue operation effectiveness in Arctic conditions // Arctic: History and Modernity. Works of the Annual International Scientific Conference, 18–19 April 2019 Saint-Petersburg. – SPb.: POLYTECH-PRESS. – 2019. – С. 126–135. – Текст : непосредственный.

4. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Методы и алгоритмы коллективного управления в группах роботов // М.: Физматлит. – 2009. – 280 с. – Текст : непосредственный.

5. Шубин, П.К. Оптимизация группового управления роботами в Арктических условиях / П.К. Шубин, М.В. Кулешова // Робототехника и техническая кибернетика. – Т. 12. – № 1. – Санкт-Петербург : ЦНИИ РТК. – 2024. – С. 31-35. – Текст : непосредственный.

Подход к отладке алгоритмов управления автономного необитаемого подводного аппарата при высокоточном приведении в порт по данным глубоководных телевизионных камер

А.А. Павлов
Открытое акционерное общество «Концерн «Центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор» (ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»), Санкт-Петербург, ialex.science@gmail.com

Благодарности
Работа проводилась при поддержке Российского научного фонда (проект 23-29-00803).

Approach to debugging control algorithms autonomous uninhabited underwater vehicle with high precision driving to port according to data of deep-water television cameras

Alexey A. Pavlov
State Research Center of the Russian Federation – Concern CSRI Elektropribor, JSC (Concern SCRI Elektropribor), St. Petersburg, ialex.science@gmail.com

Acknowledgements
The work was supported by the Russian Science Foundation (project 23-29-00803).

Системы виртуального окружения и комплексы имитационного моделирования активно используются при отладке алгоритмов управления автономным необитаемым подводным аппаратом (АНПА). Многие из них основаны на технологиях виртуального моделирования [1].

Вопросу отладки алгоритмов высокоточного приведения АНПА в виртуальной среде, без необходимости проведения дорогостоящих натурных экспериментов, уделяется достаточно большое внимание.

Одним из «органов чувств», используемом АНПА в решении задачи высокоточного приведения по праву считается глубоководная телевизионная камера (ТК). Моделирование видеопотока ТК может осуществляться с использованием коммерческих систем визуализации и графических движков таких, как Seagull [2], Unity [3] и др. Однако, использование данных продуктов является платным, а применяемые в них методы и алгоритмы, как правило, составляют коммерческую тайну и не описываются в открытых источниках.

В работе приведен подход к отладке алгоритмов управления АНПА при высокоточном приведении АНПА в порт на основе моделируемого видеопотока ТК, с использованием открытой спецификации OpenGL, с учетом геометрии окружающей среды и оптических свойств материалов и характеристик ОП. Процесс затухания светового потока в водной среде осуществляется по закону Бугера-Ламберта-Бера. Взаимодействие светового потока с окружающей средой (геометрией и оптических свойств материала) описывается моделью Фонга. Использование многоядерного графического процессорного устройства (ГПУ) и открытой спецификации OpenGL позволяют в реальном (или ускоренном модельном) времени формировать видеопоток. Приводятся результаты моделирования приведения АНПА в порт по данным ТК.

Программная реализация подхода предполагает задействование вычислительных ресурсов центрального процессорного устройства (ЦПУ) и ГПУ. Формирование видеопотока осуществляется с помощью ГПУ. Реализация алгоритмов управления АНПА, распознавания QR-кода, взаимодействия между программными модулями и пр. – с помощью ЦПУ.

Подход к отладке алгоритмов управления АНПА в процессе приведения АНПА в порт по данным ТК состоит следующих основных этапов.

Этап 1. Задание исходных данных моделей осветительных приборов (ОП), ТК, сцены и порта приведения.

Этап 2. Движение АНПА. Движение АНПА осуществляется по результатам работы алгоритмов управления движением АНПА. Положение центра масс АНПА и его ориентация передаются с ЦПУ на ГПУ матрицей.

Этап 3. Формирование кадра видеопотока. На ГПУ в соответствии с моделью освещения Фонга осуществляется расчет цвета вершин поверхности сцены при взаимодействии со световым потоком ОП. Далее, по закону Бугера-Ламберта-Бера осуществляется учет эффекта затухания светового потока в водной среде и рассчитывается результирующий цвет каждого пикселя кадра.

Этап 4. Выработка формуляра координатной информации. Рассчитанный на этапе 3 кадр видеопотока передается из ГПУ в ЦПУ в алгоритм распознавания QR-кода (маркера). В случае удачного распознавания QR-кода вырабатывается и передается формуляр координатной информации в алгоритмы управления движением АНПА (этап 2).

Во время компьютерного моделирования отслеживалось изменение значения показателя точности приведения АНПА в порт, отражающего близость текущего положения центра масс АНПА и его ориентацию относительно требуемого (рис. 1).

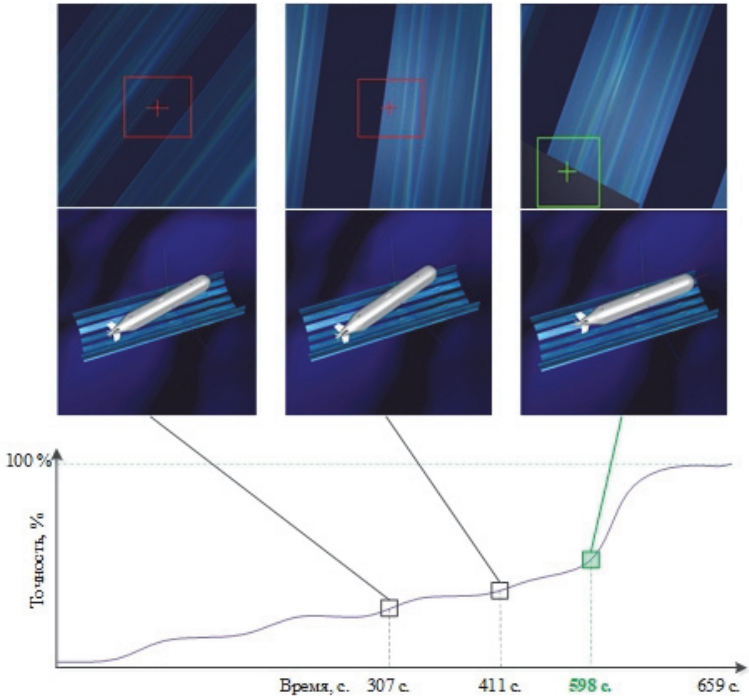


Рисунок 1 — Результаты моделирования приведения АНПА в порт

По результатам моделирования (рис. 1) видно, что в процессе высокоточного приведения АНПА (изменения точности позиционирования АНПА относительно порта) с помощью КМ ТК формируется видеопоток. В частности, через 598 секунд от начала момента моделирования процесса приведения алгоритм распознавания QR-кода на основе кадров видеопотока принимает решение о наличии в кадре QR-coda (зеленая прямоугольная область) и формирует формуляр координатных данных. Далее, точность позиционирования АНПА достигает 100% за 61 секунду. Всего для выполнения задачи высокоточного приведения АНПА в порт потребовалось 659 секунд.

Литература

1. Мальцев А.В. Методы моделирования световых эффектов и искажений видеосигнала в виртуальных средствах наблюдения. // ИТиВС 2, 2019. С. 54-61.

2. Система визуализации Seagull // URL: http://www.transas.ru/products/Seagull (дата обращения 05.04.2024)

3. Unity // URL: https://unity3d.com/ru (дата обращения 05.04.2024)

4. Павлов А.А., Быкова В.С. Имитационная модель средств обследования дна с использованием средств OPENGL // Труды седьмой международной научно-практической конференции «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем», 2023. С. 169-175.

Перспективная модель применения автономного необитаемого подводного аппарата с использованием управляемого изменения крена

Л.А. Мартынова✉, И.В. Пашкевич

Государственный научный центр Российской Федерации Акционерное общество «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» (АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»), Санкт-Петербург, Россия, martynowa999@bk.ru

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-29-00803, https://rscf.ru/project/23-29-00803/.

A promising model for the use of an autonomous unmanned underwater vehicle using controlled roll change

Lyubov A. Martynova✉, Ivan V. Pashkevich
State Scientific Center of the Russian Federation Joint Stock Company «Concern «CSRI «Elektropribor» (JSC «Concern «CSRI «Elektropribor»), St. Petersburg, Russia, martynowa999@bk.ru

Acknowledgements
The study was supported by the grant of the Russian Science Foundation No. 23-29-00803, https://rscf.ru/project/23-29-00803/.

Современный уровень развития автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) позволяет применять их в труднодоступных и опасных для человека районах Мирового океана для решения широкого круга задач [1]: мониторинга морской среды, обследования морского дна и его толщи при поиске полезных ископаемых и антропогенных объектов, для доставки полезной нагрузки на значительные расстояния в течение длительного времени.

Традиционное оборудование АНПА средствами освещения обстановки имеет ограничения по секторам обзора и не позволяет АНПА эффективно решать задачи: поиска полыньи для проведения своевременной его обсервации по сигналам спутниковых навигационных систем при обследовании дна и его толщи для поиска полезных ископаемых и антропогенных объектов в ледовых условиях [2], поиска кратчайшего или энергоэкономичного пути обхода сложного препятствия, требующего обследования боковых и нависающих поверхностей, поиска выхода АНПА из замкнутых пространств – пещер, гротов – в условиях сложного рельефа дна или нижней поверхности льда; уклонения от столкновения с подвижными и неподвижными объектами.

В связи с этим для эффективного решения перечисленных задач в целях безопасности АНПА возникла необходимость дополнить маневрирование АНПА по курсу, скорости и глубине – маневрированием по крену. Расширение возможностей маневрирования АНПА по крену способно, кроме сказанного, обеспечить безопасность АНПА, по аналоги с авиацией, при возникновении критических углов атаки и, как следствие, сваливания АНПА в штопор, а также – при необходимости резкого торможения и затруднения прогнозирования направления движения АНПА при враждебных намерениях по

отношению к нему. Новизна и сложность решения задачи управляемого изменения крена АНПА заключаются в отказе от традиционной направленности корабелов-проектантов и эксплуатантов морских объектов на уменьшение крена, побочно возникающего при маневрировании морских судов по курсу и или при качке.

По результатам исследований определены условия управляемого оперативного изменения крена, связанные с симметричностью корпуса АНПА относительно продольной оси и равномерным размещением оборудования АНПА. В качестве примера для управляемого изменения крена предложено оборудовать АНПА продольными балластными цистернами с размещением их в поперечной диаметральной плоскости АНПА по левому и правому бортам корпуса, а также в верхней и нижней частях корпуса АНПА [3].

Для управляемого изменения крена специально разработан алгоритм, включающий в себя: расчет рассогласования между текущим и заданным углами крена, расчет требуемого значения кренящего момента, определение балластных цистерн для перегонки воды в целях создания кренящего момента, расчет кренящего момента, возникшего в результате перегонки воды, расчет координат нового положения центра тяжести АНПА, метацентрической высоты, момента инерции, изменения угловой скорости вращения корпуса АНПА вокруг продольной оси, расчет скорости изменения крена и текущего угла крена.

Для тестирования алгоритма разработана математическая модель и получены результаты численных экспериментов по переводу АНПА из состояния с нулевым креном в устойчивое состояние «оверкиль». Результаты численного эксперимента подтвердили правильность предложенного алгоритма управляемого изменения крена. При рассмотрении практической задачи поиска аппаратом полыньи для проведения обсервации по сигналам спутниковых навигационных систем предложенное решение маневрирования по крену позволило перевести зоны обзора средств технического зрения, расположенных в подкильной области АНПА, из нижней полусферы в верхнюю, что привело, в свою очередь, к 10-кратному сокращению времени, энергии и пройденного пути на обнаружение подходящей по размеру полыньи.

Литература

1. Лопота А.В., Николаев А.Б. Морские робототехнические комплексы военного и специального назначения. СПб.: ЦНИИ РТК. 2016. 48 с.

2. Боженов Ю.А. Использование автономных необитаемых подводных аппаратов для исследования Арктики и Антарктики / Ю.А. Боженов // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2011. Т. 4. № 1. С. 47-68.

3. Мартынова Л.А., Пашкевич И.В. Способ управляемого изменения крена автономного необитаемого подводного аппарата. Патент № 2823820. 25.03. 2024. Бюл.№22.

СЕКЦИЯ «РОБОТИЗАЦИЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ»

Цифровизация экспериментов на стендах для критических сборок

С.Ю. Касьянов, С.А. Андреев
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», г. Снежинск Челябинской области, Россия, dep5@vniitf.ru

Digital technologies for critical assembly experiments

Sergey Yu. Kasyanov, Sergey A. Andreev
FSUE «RFNC-VNIITF named after Academ. E.I. Zababakhin», Snezhinsk, Chelyabinsk region, Russia, dep5@vniitf.r

Во всем мире цифровизация является важнейшим направлением развития производств. В научной и промышленной среде под цифровизацией понимают, в том числе, внедрение в технологические процессы различных методов и информационных систем, средств автоматизированной поддержки принятия решений, обладающих интеллектуальными свойствами, называемыми «умными» решениями.

Необходимость в проведении цифровизации продиктована, прежде всего, такими глобальными факторами, как дефицит человеческих ресурсов, усложнение техники и технологий. Замена человека на «машину» позволит перераспределить освободившиеся человеческие ресурсы и перенаправить их для дальнейшей оптимизации, переосмысления и разработки еще более совершенных технологий производства. Стоит отметить, что такой труд носит, прежде всего, интеллектуальный характер и является более безопасным для человека.

Ядерно опасные работы представляют собой работы с делящимся материалом, в том числе и на исследовательских ядерных установках, сопряжённые с риском образования критической массы и возникновения ядерной аварии с тяжелыми последствиями для людей и окружающей среды. Большая часть ядерно опасных операций, связанных, в том числе, с разработкой и изготовлением ядерного оружия, в настоящее время производится вручную. Имевшие место происшествия, связанные с образованием критической массы, обусловлены преимущественно, человеческим фактором.

Исключение человека и замена его техническими средствами, где это экономически и технически обосновано, не только позволит существенно повысить безопасность проводимых работ, но и откроет новые возможности за счет существенного сдвига эксплуатационных ограничений с обеспечением необходимого уровня точности и надежности. Сложность внедрения, даже поэтапной, цифровизации ядерно опасных работ, обусловлена необходимостью совмещения двух типов моделей. С одной стороны, это традиционные инженерные модели (механические, административные и другие), а с другой — модели компьютерные (виртуальные), которые называют цифровыми двойниками. Среди причин низких темпов внедрения робототехнических комплексов в ядерные технологии можно выделить технические – высокие и специфические требования к радиационной стойкости, дезактивируемости и ментальные – консервативное профессиональное сообщество.

С учетом современного уровня цифровизации возможно создать специализированное цифротехническое направление для организации ядерно опасных работ на стендах для критических сборок — робототехнические комплексы, которые работают в неразрывной связи с цифровыми двойниками собираемых систем.

В настоящей работе рассматриваются цифровизация работ на компактных размножающих системах, собираемые на критических стендах.

Системы управления электроприводами копирующего манипулятора

Д.Е. Мирославский
Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, dmitrii_miroslav@mail.ru

Control systems for electric drives of a copying manipulator

Dmitry E. Miroslavsky
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), St. Petersburg, Russia, dmitrii_miroslav@mail.ru

Копирующие манипуляторы находят применение при выполнении не детерминированных работ с опасными веществами и грузами в средах, могущих причинить вред здоровью и жизни человека. Одним из важных требований, предъявляемых к системам управления приводами таких манипуляторов, является возможность отражать на задающую сторону усилия, действующие на исполнительный механизм со стороны объекта манипуляции. Выбор структуры и расчет параметров регуляторов, управляющих приводами манипулятора является весьма сложной задачей, что обусловлено их работой в различных режимах, характеризующихся изменениями момента инерции нагрузки в широких пределах в сочетании с необходимостью обеспечить отражение усилий.

В начале восьмидесятых годов прошлого века в ЦКБ Машиностроения в рамках НИОКР был разработан полнофункциональный копирующий манипулятор грузоподъемностью 10 Кг, имеющий семь степеней подвижности с приводами на базе малоинерционных двигателей постоянного тока. Система управления манипулятором была выполнена по симметричной схеме. В качестве задающего и исполнительного механизмов использовались задающие механизмы электромеханического копирующего манипулятора МЭМ-10. Манипулятор был предъявлен межведомственной комиссии и успешно прошел все необходимые испытания.

В рамках той же НИОКР был разработан копирующий манипулятор с механическими связями, которые обеспечивали передачу движения через герметичную стенку посредством магнитных муфт. Манипулятор имел систему разгрузки от моментов сил сопротивления, также выполненную на базе двигателей постоянного тока.

Функциональная схема привода манипулятора с механическими связями приведена на рисунке 1.

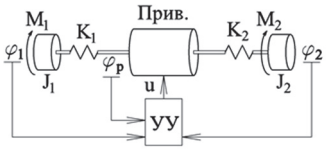


Рисунок 1 — Функциональная схема привода звена копирующего манипулятора с механической связью

Информация о усилиях, действующих на задающий и исполнительный механизмы манипулятора, поступает в устройство управления (УУ), которое на основе этих данных формирует сигнал «u»,

управляющий работой двигателя привода. Нетрудно установить, что этот сигнал должен управлять непосредственно током двигателя и, соответственно, пропорциональным этому току развиваемым приводом моментом.

На рисунке 2 приведена функциональная схема привода манипулятора, выполненного по симметричной схеме.

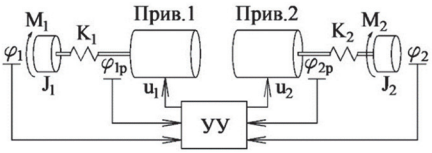


Рисунок 2 — Функциональная схема привода звена копирующего манипулятора с электрической связью.

При проектировании приводов копирующих манипуляторов был использован метод коэффициентов [1], показавший свою эффективности при анализе и синтезе автоматических систем. Методика проектирования системы управления с механической связью и симметричной системы управления приводами манипулятора приведена в [2]. Там же приведена структура и методика расчета быстродействующих регуляторов, управляющих током двигателей манипулятора.

Литература

1. Мирославский Д.Е. Метод коэффициентов и его применение для оценки качества автоматических систем и проектирования регуляторов. Точная наука, выпуск № 45, с. 83 – 94, Кемерово, 2019.

2. Мирославский Д.Е. Проектирование регуляторов обратимых следящих систем копирующих манипуляторов. В сборнике монографий: Актуальные вопросы современной науки и образования, Пенза, 2024, с. 235 – 261.

Адаптивные режимы и системы управления внутрикамерными манипуляторами

М.В. Носиков, И.В. Войнов, Б.А. Морозов
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», филиал в г. Миассе, г. Миасс, Россия, nosikovmv@susu.ru

Adaptive control modes and control systems for intra-chamber manipulators

Maxim V. Nosikov, Igor V. Voinov, Boris A. Morozov
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «South Ural State University (national research university)», Miass branch, Miass, Russia, nosikovmv@susu.ru

В настоящее время на предприятиях атомной промышленности России основным инструментом при проведении операций перемещения специальной технологической тары с радиоактивными материалами внутри герметичных камер являются электромеханические манипуляторы копирующего типа [1]. Управление данными манипуляторами (исполнительными органами) осуществляется оператором вручную – путем перемещения кинематически подобного задающего органа, расположенного на рабочем месте оператора за пределами герметичной камеры. В зависимости от выполняемых технологических операций, размеры камер, их внутренняя геометрия, состав измерительного и другого технологического оборудования, размещенного внутри камеры, а также массо-габаритные размеры специальной тары могут значительно различаться. В процессе работы оператор визуально, через стекло герметичной камеры, отслеживает перемещение исполнительного органа. При этом качество управления манипулятором в значительной степени определяется квалификацией персонала. Оператору при каждой операции приходится заново воспроизводить траекторию движения исполнительного органа, что может привести к столкновению подвижных частей манипулятора с элементами камеры или внутрикамерного оборудования.

В ряде НИОКР, выполненных по заказам предприятий ГК «Росатом», реализована система управления, в которой в качестве задающего органа использован семистепенной джойстик [2] и выполняются

операции в трех различных режимах управления: отдельно по каждой степени подвижности манипулятора; по движению схвата в прямоугольных системах координат; по записи и автоматическому воспроизведению траектории движения.

Применение аппаратно-программной системы управления, построенной на современных технических и программных решениях, позволяет синтезировать адаптивные алгоритмы управления манипулятором, обеспечивает гибкость настройки параметров управления, В частности, актуальной является задача в том числе, исключить удары и касания исключения ударов и касаний манипулятора со стенками, потолком, полом герметичной камеры и внутрикамерным оборудованием, поскольку эффект от столкновения может иметь существенные негативные последствия, а ремонт оборудования в условиях реального производства является весьма трудоемкой задачей. Введение в систему управления режима формирования геометрии допустимой рабочей зоны путем записи массива точек и построения по ним трехмерной поверхности (триангуляции) [3, 4], позволяет при управлении осуществлять автоматический контроль приближения к границам рабочей зоны и адаптировать коэффициенты передачи действий оператора к исполнительным органам манипулятора. Также в системе(-ах) управления реализованы алгоритмы регистрации и анализа действий оператора, алгоритмы выявления нештатных ситуаций при выполнении операций.

В ходе опытно-промышленной эксплуатации в условиях действующего производства формируется необходимый объем информации о практически выполняемых операциях, определяется необходимость уточнения алгоритмов и настройки параметров системы управления, проводится анализ данных с целью дальнейшего повышения эффективности использования новых типов манипуляторов.

Литература

1. Юревич Е.И. Основы робототехники. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005 г. – 416 с. – ISBN 5-941574-73-8.

2. Носиков М.В., Войнов И.В., Морозов Б.А.. Математическая модель, алгоритм формирования вектора состояния и техническая реализация многокоординатного задающего органа внутрикамерных манипуляторов. – Вестник ЮУрГУ, серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника», 2023, № 1, с. 19-30.

3. Скворцов А.В., Мирза Н.С. Алгоритмы построения и анализа триангуляции. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. – 168 с.

4. Bruno Siciliano. Handbook of Robotics. – Springer, 2016 – 2155 pp., ISBN 978-3319325507.

Спектрометрический метод дистанционного измерения мощности дозы гамма-излучения с помощью сцинтилляционных детекторов для авиационного радиационного мониторинга поверхности Земли

И.Э. Новиков
Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, Novikov@rtc.ru

Благодарности
Результаты получены в рамках выполнения автором диссертационного исследования по научной специальности 2.2.8. — «Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды».

The spectrometric method for remote measuring the dose rate of gamma radiation using scintillation detectors for aviation radiation monitoring of the earth's surface

Igor E. Novikov
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), St. Petersburg, Russia, Novikov@rtc.ru

Acknowledgements
The results were obtained as part of the author's dissertation research in scientific specialty 2.2.8. — «Methods and devices for monitoring and diagnostics of materials, products, substances and the natural environment».

В настоящее время в практике авиационного радиационного мониторинга (АРМ) для оценки мощности поглощенной дозы гамма-излучения (МПД) в некоторой точке на местности (как правило, на высоте 1 метр) используется метод пересчётных высотный дозовых коэффициентов. Для этого проводится измерение МПД над этой точкой на высоте полета летательного аппарата с последующим умножением измеренного значения на соответствующий высотный коэффициент. В результате проведенных специалистами ЦНИИ РТК ис-

следований обоснована необходимость учета метеорологических параметров и энергетического состава гамма-излучения для эффективной реализации указанного метода, при этом влияние метеорологических параметров на результаты измерений может быть определено плотностью воздуха [1–3].

В практике радиационного мониторинга известен перспективный спектрометрический метод, позволяющий получать оценку МПД с учетом зависимости от энергетического спектра поля излучения, по крайней мере, для известного радионуклидного состава источника излучения. Данный метод позволяет обходиться без сложных процедур восстановления исходного спектра излучения, путем простого скалярного умножения вектора значений, измеренного аппаратурного спектра на вектор коэффициентов «Спектр-Доза» (спектральных весовых коэффициентов). В известных реализациях этого метода значения соответствующих коэффициентов получаются путем дискретного решения системы линейных уравнений (в ряде случаев с применением методов статистической регуляризации). Указанный метод имеет существенные ограничения и не применим для дистанционных измерений МПД в практике АРМ.

Специалистами ЦНИИ РТК разработан усовершенствованный (многоканальный) спектрометрический метод оценки МПД поля гамма-излучения, применимого для дистанционных измерений АРМ при произвольном нуклидном составе источника излучения [4,5]. Разработанный метод является обобщением известного метода «Спектр-Доза» (спектральных весовых коэффициентов) и реализацией принципиально нового метода, позволяющего совместить точное решение системы линейных уравнений с фильтрацией исходного сигнала. Разработанный метод позволяет получать удовлетворительное решение для всего используемого диапазона высот спектрометрических измерений АРМ, а также минимизировать необходимый для градуировки объем исходных данных, что особенно значимо при использовании для этого экспериментальных данных. Разработанный метод также имеет ряд дополнительных преимуществ по сравнению с известными аналогичными малоканальными методами: обладает простотой и удобством в процессе реализации, позволяет обеспечить наглядность представления промежуточных и конечных результатов расчетов градировочных характеристик. Эти преимущества обеспечивают возможность применения этого метода для широкого класса гамма-спектрометров, предназначенных для решения разнообразных дозиметрических задач.

Литература

1. Кожевников, Д. А. Оценка радиационной обстановки с воздуха при неизвестном изотопном составе загрязнения и изменяющихся метеорологических параметрах [Текст] / Д. А. Кожевников, И. Э. Новиков // «Гидрология и метеорология», 2023 № 10 С. 118-126.
2. Кожевников, Д.А. Оценка влияния состава подстилающей поверхности на результаты воздушной радиационной разведки / Д.А. Кожевников, И.Э. Новиков // АНРИ №1 (104), 2021. – С. 63-70.
3. И.Э. Новиков, Д. А. Кожевников «Исследование влияния состава подстилающей поверхности, метеорологических параметров и энергии источника гамма-излучения на результаты авиационного радиационного мониторинга» опубликована в сборнике трудов 34-й Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника», Изд-во: ЦНИИ РТК, 2023. – 512 с., ISSN 2658-7645, С. 188-196.
4. Сухоруков, А.И. Основы теории аэрокосмического радиационного мониторинга Земли. Ч. 1 Физические основы радиационного дистанционного зондирования Земли / А.И. Сухоруков, И.Ф. Хисматов, И.Э. Новиков. – М.: Изд. ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2011. – 312 с. – ISBN 978-5-903111-51-0.
5. Новиков, И.Э. Изучение возможностей повышения эффективности авиационного радиационного мониторинга поверхности Земли / И.Э. Новиков // ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА И КОНВЕРСИОННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ: Труды Международной научно-технической конференции – Санкт-Петербург: 2018. – ISBN 978–5–907050–39–6. – С. 242-257.

Опыт применения РТК по отработке технологии демонтажа конструкций остановленного уран-графитового реактора

А.О. Павлюк[1,2], Е.В. Беспала[1,2], С.Г. Котляревский[1], Р.И. Кан[1], Е.С. Падерин[1], А.А. Шешин[1], А.Э. Риф[2]

[1]АО «Опытно-демонстрационный центр вывода из эксплуатации уран-графитовых реакторов» (АО «ОДЦ УГР») г. Северск, Томская обл., Россия, pao@dnrc.ru

[2]Томский политехнический университет (ТПУ), г. Томск, Россия, pavlyuk17@tpu.ru

Experience of using RTK to develop technology for dismantling structures of a shutdown uranium-graphite reactor

Alaxander O. Pavlyuk[1,2], Evgeniy V. Bespala[1,2],
Sergei G. Kotlyarevsky[1], Roman I. Kan[1], Egor S. Paderin[1],
Alaxander A. Sheshin, Anastasia E. Rif[2]

[1]Pilot and Demonstration Center for Decommissioning of Uranium-Graphite Nuclear Reactors (PDC UGR), Seversk, Tomsk oblast, Russia, pao@dnrc.ru

[2]National Research Tomsk Polytechnic University (TPU), Tomsk, Russia, pavlyuk17@tpu.ru

На территории Российской Федерации к настоящему времени уже остановлены все 13 промышленных уран-графитовых реакторов (ПУГР), два блока с энергетическими реакторами АМБ-100 и АМБ-200 (Белоярская АЭС), реактор АМ (Калужская обл., г. Обнинск), один блок ЭГП-6 (Билибинская АЭС), четыре блока РБМК (два на Ленинградской АЭС и два на Курской АЭС). В эксплуатации еще находится 7 энергоблоков РБМК и 3 энергоблока ЭГП-6, которые также планируется остановить в ближайшие 10 лет. Для энергетических уран-графитовых реакторов типа РБМК, АМБ и ЭГП-6 принята концепция вывода из эксплуатации (ВЭ) – «Ликвидация», заключающаяся в демонтаже всех конструкций реактора.

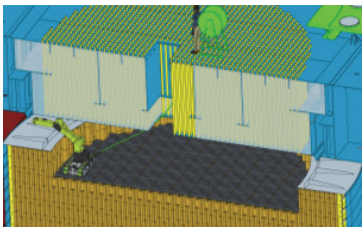


Рисунок 1 — Схема демонтажа кладки УГР через технологический проем в верхних металлоконструкциях

В докладе представлен уникальный опыт тестирования робототехнического комплекса (РТК), полученный на ОДЦ УГР (г. Северск), в рамках НИОКР по отработке технологий демонтажа графитовой кладки (рис.1). В качестве объекта для отработки технологий был выбран остановленный в 2008 г. ПУГР АДЭ-5. Необходимость применения РТК для демонтажа УГР связана с высокими уровнями излучения в конструкциях реактора (мощность эквивалентной дозы

гамма-излучения может достигать уровней ~100 Зв/ч) [1]. Отрабатывался вариант демонтажа путем извлечения блоков графитовой кладки УГР через относительно узкий технологический проем [2], сделанный в верхних металлоконструкциях (рис. 1).

На рисунке 2 представлены фотографии рабочих моментов установки МРК-28 в реакторное пространство через технологический проем, а также выполнение операций по демонтажу элементов конструкций ПУГР АДЭ-5 с применением различного инструмента.

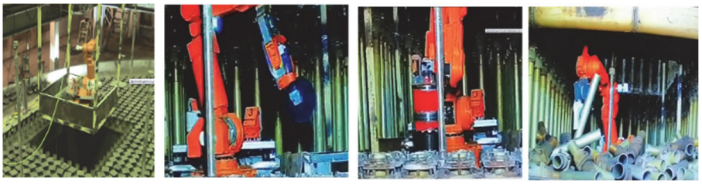


Рисунок 2 — Выполнение операций по демонтажу элементов конструкций остановленного ПУГР АДЭ-5 с помощью МРК-28

Литература

1. Павлюк А. О., Котляревский С. Г., Кан Р. И., Загуменнов В. С., Падерин Е. С., Шешин А. А., Савран Е. А. Анализ радиационной обстановки при организации проема в верхних конструкциях остановленного уран-графитового реактора // Радиоактивные отходы 2022 № 1 (18) С 43—56 DOI: 10 25283/2587-9707-2022-1-43-56

2. Патент РФ № 2679827. Способ демонтажа графитовой кладки ядерного реактора. / Бирюков А.Н., Ермошин Ф.Е., Котляревский С.Г., Павлюк А.О. Падерин Е.С. и др. № 2018108943. заявл. 12.03.2018; опубл. 13.02.2019 Бюл. № 5.

Применение виртуальных инструментов для управления робототехническими системами в защитных камерах и боксах

А.В. Сергеев

Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия,, etechnician@gmail.com

The use of virtual tools for managing robotic systems in protective chambers and boxes

Alexey V. Sergeev
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), St. Petersburg, Russia, etechnician@gmail.com,

Взаимодействие человека и робототехнической системы в его классическом варианте основываются на непосредственном наблюдении оператором рабочей зоны или на передаче через систему интерфейса изображения из неё. Такой подход позволяет эффективно управлять робототехнической системой используя симбиоз человека и машины, когда сознание оператора воспринимает исполнительные органы машины как продолжение своих собственных. Однако эффективность такого взаимодействия не высока в случае систем, требующих оперировать большим объемом информации. Если необходимо отслеживать большое количество объектов, превышающее «магическое» число Миллера [1], то всё что его превышает сознанием не воспринимается, даже если находится в поле зрения.

Использование робототехнических систем в защитных камерах и боксах с высоким ионизирующим излучением сопряжено с быстрым выходом из строя элементов систем автоматики и видеонаблюдения, что лишает оператора возможности непосредственного наблюдения рабочей зоны.

Перспективным направлением является использование виртуальной индуцированной среды [2], которая создаётся путём реконструкции из имеющихся трёхмерных моделей объектов внутри камеры, положение которых непрерывно уточняется по показаниям датчиков и различных внешних систем. При этом оператор может свободно перемещаться внутри виртуального пространства и выбирать наиболее удобный для него ракурс наблюдения.

Построение виртуальной копии рабочей среды робототехнической системы позволяет имитировать присутствие оператора внутри камер и боксов, что позволяет существенно улучшить его ситуационную осведомлённость.

Поскольку виртуальная индуцированная среда не является точной копией физической среды, а строится по принципам инженерно-психологического проектирования, то в среде также присутствуют элементы графического пользовательского интерфейса, с которыми оператор может взаимодействовать. Эти интерфейсы представляют собой плоские поверхности, висящие в пространстве и содержащие

двумерную элементы, такие как кнопки, таблицы, графики и другие элементы управления [3].

Для повышения эффективности задания управляющих воздействий при использовании индуцированной виртуальной среды в ЦНИИ РТК уже несколько лет разрабатываются различные виртуальные инструменты [4]. Такие инструменты позволяют оператору взаимодействовать с ними непосредственно руками, автоматически выполняя некоторую заложенную функцию. Например, позволяет преобразовывать вращательное движение инструмента в линейное перемещение выбранного объекта. Благодаря настройке соотношения углового и линейного перемещения оператор может задавать перемещения объектов на расстояния в десятки метров с точностью долей микрометров. Проведенные тесты показывают, что использование виртуальных инструментов не требует длительного времени на обучение.

Литература

1. Miller, George A. The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. – Text : unmediated // Psychological Review. – Vol. 63 (2), Mar 1956. – Pp. 81-97.

2. Сергеев, А. В. Редукция сложности в интерфейсах робототехнических и эргатических систем / А. В. Сергеев, С. Ф. Сергеев // Робототехника и техническая кибернетика. – 2019. – Т. 7, № 2. – С. 109-118. – DOI 10.31776/RTCJ.7204. – EDN WRLEPI.

3. Сергеев А.В., Юсупова А.Ю., Сергеев С.Ф. Мультимерные интерфейсы в активной управляющей индуцированной виртуальной среде // Робототехника и техническая кибернетика. 2022. Том 10. № 4. С. 261–266. DOI: 10.31776/RTCJ.10403

4. Сергеев, А. В. Индуцированная виртуальная среда управления манипулятором, предназначенным для работы с радиоактивными материалами / А. В. Сергеев, В. В. Титов, И. В. Шардыко // Робототехника и техническая кибернетика. – 2021. – Т. 9, № 1. – С. 32-41. – DOI 10.31776/RTCJ.9104. – EDN JFOOYE.

Перспективы применения генеративного искусственного интеллекта в человеко-машинных интерфейсах робототехнических систем

С.Ф. Сергеев✉, А.В. Сергеев, А.О. Плешаков
Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, ssfpost@mail.ru, etechnician@gmail.com, a.pleshakov@rtc.ru

Prospects for the application of generative artificial intelligence in human-machine interfaces of robotic systems

Sergey F. Sergeev✉, Alexey V. Sergeev, Anton O. Pleshakov
Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics (RTC), St. Petersburg, Russia, ssfpost@mail.ru, etechnician@gmail.com, a.pleshakov@rtc.ru

Генеративный искусственный интеллект (ГИИ) представляет собой прорывную технологию, которая обещает значительно изменить подходы к человеко-машинным интерфейсам в робототехнических системах [1]. ГИИ может создавать более точные и естественные ответы на голосовые команды и текстовые запросы, что упрощает взаимодействие с роботами и другими автоматизированными системами. Это особенно важно для пользователей, не имеющих технического образования и специальных навыков, позволяет им легко управлять сложными системами через привычные средства общения. Классические голосовые и текстовые интерфейсы сталкиваются с трудностями в понимании сложных или многозначных команд [2]. ГИИ способен улучшить точность интерпретации и создания контекстуально адекватных ответов, делая взаимодействие более естественным.

Персонализированные интерфейсы, адаптирующиеся к предпочтениям и привычкам пользователя, улучшают удобство и эффективность взаимодействия, что снижает потребность в настройке и обучении, позволяя пользователям быстрее и проще освоить управление роботами. ГИИ для динамической адаптации интерфейса в реальном времени представляет собой значительный шаг вперед по сравнению с фиксированными интерфейсами, которые требуют ручной настройки и часто не учитывают изменения в потребностях пользователя.

ГИИ способен генерировать оптимальные планы действий и автоматизировать распределение задач, что повышает общую эффективность работы робототехнических систем. Это особенно полезно для сложных процессов, протекающих в реальном времени. ГИИ может создавать адаптивные обучающие материалы и тренажеры, использующие текущий индивидуальный опыт, которые помогают пользователям эффективно осваивать управление роботами и системами, что ускоряет процесс обучения и повышает его качество [3].

Интерактивные системы в виде персональных ассистентов и искусственных личностей, использующие генеративный ИИ, могут адаптироваться к уровню знаний пользователя и предоставлять индивидуализированные инструкции и симбиотическую коммуникацию.

Способность ГИИ анализировать и учитывать эмоциональное состояние пользователя позволяет создавать более человеко-ориентированные системы, которые могут адаптировать своё поведение для лучшего удовлетворения потребностей пользователя. Это позволяет роботам и системам не только выполнять команды, но и реагировать на эмоциональное состояние пользователя, что ранее было невозможно без специализированных и сложных программных решений.

ГИИ может создавать интуитивные, адаптивные интерфейсы, которые упрощают управление сложными системами позволяя предугадывать действия оператора и создавать под них оптимальные среды управления, что снижает вероятность ошибок и увеличивает эффективность эргатической системы. Интерактивные элементы управления и визуализация данных, генерируемые ГИИ, представляют собой новый подход к разработке интерфейсов робототехнических систем.

Литература

1. Zhang C., Zhang C., Zheng S., Qiao Y., Li C., Zhang M., Dam S.K., Thwal C.M., Tun Y.L., Huy L.L., Kim D., Bae S., Lee L., Yang Y., Shen H.T., Kweon I.S., Hong C.S. A Complete Survey on Generative AI (AIGC): Is ChatGPT from GPT-4 to GPT-5 All You Need? // ArXiv (Cornell University). 2023. DOI: 10.48550/arxiv.2303.11717.

2. Сергеев А.В., Юсупова А.Ю., Сергеев С.Ф. Мультимерные интерфейсы в активной управляющей индуцированной виртуальной среде // Робототехника и техническая кибернетика. 2022. Том 10. № 4. С. 261–266. DOI: 10.31776/RTCJ.10403.

3. Сергеев С.Ф. Введение в когнитивную эргономику и инженерную психологию: учебное пособие. Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2024.

Перспективы применения картриджных конструкций блоков детектирования гамма-излучения

О.В. Вольпяс✉, Ю.Ю. Бунькова
Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, o.volpyas@rtc.ru

Prospects for the application of the cartridge design of the detection units

Olga V. Volpyas✉, Yulia Yu. Bunkova
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics, St. Petersburg, Russia, o.volpyas@rtc.ru

Радиационный мониторинг играет ключевую роль в обеспечении безопасности в различных областях, включая ядерную энергетику, медицину и экологический контроль. Аппаратура радиационного мониторинга предназначена для постоянного оперативного реагирования на потенциальные угрозы. Необходимость периодической поверки и ремонта аппаратуры может приводить к длительным остановкам функционирования для мониторинга и контроля.

В настоящих материалах представлена модульная конструкция устройства детектирования гамма-излучения, основанная на счетчиках Гейгера-Мюллера, применение которой обеспечивает решение вопросов, связанных с поверкой, ремонтом и функционированием по назначению.

Системы радиационного мониторинга, основанные на счетчиках Гейгера-Мюллера, имеют ряд ограничений, связанных с трудоемкостью по обслуживанию и настройке, что делает их менее эффективными в условиях, требующих постоянного контроля. Так, фиксированная конструкция таких систем затрудняет их обслуживание, а проведение поверки или ремонта приводит к остановке функционирования и мониторинга, что может привести к потере критически важной информации о радиационной обстановке. Кроме того, ручное внесение поправочных коэффициентов для настройки таких систем требует значительных временных затрат и может быть источником ошибок.

Применение при конструировании устройств детектирования модульного принципа построения и современных технологий, таких как RFID, открывает новые возможности для автоматизации процессов поверки и ремонта без радикального демонтажа устройств, включая их настройку, и обеспечивает повышение надежности аппаратуры.

Картриджная конструкция блока детектирования гамма-излучения

В настоящих материалах представлен блок детектирования гамма-излучения, построенный на модульном принципе. В качестве детектирующего элемента использованы счетчики Гейгера-Мюллера [1].

Данное устройство состоит из двух основных модулей: блока электроники и сменного картриджа. Блок электроники включает в себя источник питания, усилитель-формирователь, а также устройство для обработки и хранения информации. Сменный картридж содержит специальную карту и два счётчика Гейгера-Мюллера.

При замене сменного картриджа (для поверки или ремонта) информация с RFID-метки считывается блоком электроники, что позволяет автоматически вносить поправочные коэффициенты, исключая ошибки, связанные с ручным вводом данных, и оптимизировать процесс настройки. Замена сменного картриджа выполняется оперативно без радикального демонтажа, что минимизирует время остановки функционирования блока детектирования.

Автоматизация процесса настройки с использованием RFID-метки позволяет быстро и точно внести необходимые поправочные коэффициенты и повысить точность измерений.

Такой подход к конструкции блока детектирования позволяет сократить время простоя, необходимое для проведения поверки и ремонта.

Литература

1. Патент № 2819699 Российская Федерация, МПК G01T 1/16. Модульная конструкция блока детектирования гамма-излучения: № 2023132058: заявл. 06.12.2023: опубл. 23.05.2024 / Ремизов М.В., Вольпяс О.В., Семенихин П.В. Васильев А.В., Бунькова Ю.Ю. – 10 с.

Перспективы создания полупроводникового гамма-спектрометра на основе особо чистого германия

П.В. Семенихин✉, А.В. Васильев, М.В. Ремизов
Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, p.semenihin@rtc.ru

Prospects of development of gamma-spectrometer from high-purity germanium

Petr V. Semenikhin✉, Alexey V. Vasiliev, Mikhail V. Remizov
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics, St. Petersburg, Russia, p.semenihin@rtc.ru

Классический способ проведения спектрометрического анализа гамма-излучающих нуклидов связан с применением сцинтилляционных детекторов на основе NaI. Однако данный тип спектрометров имеет достаточно низкое энергетическое разрешение ~10%, что ограничивает применение данных приборов для измерения низких активностей и разделения радионуклидов из сложных смесей. Решением данной проблемы представляется использование полупроводниковых гамма-спектрометров, энергетическое разрешение которых на порядок выше. Однако, в настоящее время они производятся тремя организациями в мире: Canberra (США), Ortec (США) и BSI (Латвия). При этом опыт использования данного оборудования, иностранного производства, показал его высокую эффективность.

В основе полупроводникового гамма-спектрометра лежит детектор из монокристалла особо чистого германия (ОЧГ). Сам детектор представляет собой pin-диод, с приложенным отрицательным смещением, в объёме которого под действием гамма-квантов рождаются электронно-дырочные пары.

В данной работе мы рассказываем о результатах эксперимента по изготовлению полупроводникового детектора для гамма-спектрометра.

Из материала ОЧГ, производства АО «Германий», были подготовлены планарные детекторы: шайбы толщиной 2 мм и диаметром

10 мм для изготовления диода Шоттки. Для формирования выпрямляющего контакта напылялся палладий Pd, для формирования омического контакта алюминий Al.

При снятии отклика данного детектора от гамма-излучения по радионуклидам 60Co и 207Bi, были зарегистрированы спектры отсечки пороговых энергий.

С учетом малой ширины области обедненного заряда также был снят отклик от альфа излучения, на котором уже были зафиксированы фотопики отдельных энергий.

Проведенное исследование подтвердило принципиальную возможность создания полупроводникового спектрометра гамма-излучения на основе особо чистого германия, что открывает перспективу создания отечественного гамма-спектрометра основе ОЧГ.

Литература

1. Вопросы радиационной технологии полупроводников [Текст] / В. В. Болотов [и др.] ; ред. Л. С. Смирнов ; Институт физики полупроводников СО АН СССР. - Новосибирск : Наука, 1980. - 294 с. : ил. - Библиогр. в конце глав.

2. Лихацкий В.В. Современная гамма спектрометрия в радиоэкологии / В. В. Лихацкий, Е. А. Кащаева, В. В. Проценко [и др.] // Сборник тезисов Двадцать пятой Всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых ученых, Крым, 19-26 апреля 2019 года. - Екатеринбург : Издательство АСФ России, 2019. - С. 455-456.

Применение роботизированного оборудования для диагностики и ремонта облицовки бассейнов выдержки

А.В. Горбунов

Общество с ограниченной ответственностью «Вест-Инжиниринг» (ООО «Вест-Инжиниринг»), Санкт-Петербург, Россия, a.gorbunov@west-e.ru

Благодарности

Работа выполняется в рамках контракта на поставку роботизированного оборудования для ремонта облицовки для энергоблока №1 АЭС «Эль-Дабаа», заключенного между АО «Атомстройэкспорт» и ООО «Вест-Инжиниринг».

Robotic equipment for repair of the liner

Andrey V. Gorbunov
Limited Liability Company West-Engineering (LLC West-Engineering),
St. Petersburg, Russia, a.gorbunov@west-e.ru

Acknowledgements
The research is being made as a part of the contract for delivery of robotic equipment for repair of the liner for power unit 1 Atomic Power Station «El Dabaa» signed by JSC Atomstroexport and LLC West-Engineering.

Обслуживание и ремонт элементов конструкции реактора и служебных систем является важным техническим аспектом в обеспечении безопасной долгосрочной эксплуатации атомных станций. Так своевременная ревизия состояния сварных швов, присоединительных плоскостей, состояния резьбовых соединений и др. позволяет предупредить развитие дефектов и снизить риски возникновения аварийных ситуаций.

Для обеспечения таких работ применяется широкий спектр систем неразрушающего контроля, таких как телевизионный контроль (ТВК), вихретоковый контроль (ВТК), ультразвуковой контроль (УЗК) и ряд других. Данные виды контроля могут быть выполнены как ручным способом, так и с применением систем автоматизации. Использование систем автоматизации позволяет снизить лучевую нагрузку на персонал, повысить точность и повторяемость измерений, сократить время исследования.

Помимо узлов самого реактора в обслуживании и ремонте нуждается вспомогательное оборудование. Так, например, бассейн выдержки (БВ), используемый для временного хранения отработавших тепловыделяющих сборок (ТВС), нуждается в обслуживании его конструкций. Наиболее критичным, с точки зрения безопасной эксплуатации, элементом его конструкции является герметичная оболочка. Оболочка выполнена из тонкостенных листов нержавеющей стали, соединенных между собой при помощи сварки. Конструкция герметичной оболочки БВ в процессе эксплуатации подвергается ряду внешних воздействующих факторов, в частности тепловым нагрузкам. Их воздействие может привести к появлению трещин в сварных соединениях и ряду других дефектов. В настоящее время для выполнения ремонтно-диагностических работ в БВ преимущественно используется персонал, выполняющий подводные сварочные работы вручную.

Существует потребность в автоматизации процесса ремонтно-диагностических работ в БВ. Известен ряд установок отечественного и зарубежного производства, предназначенных для выполнения данного спектра задач.

Так в 2021 году НПО «ЦНИИТМАШ» разработан и введен в эксплуатацию роботизированный комплекс по ремонту и обслуживанию оболочки БВ применяемый на Ленинградской атомной электростанции (ЛАЭС) [1].

Комплекс представляет собой роботизированную платформу с характерными размерами одной секции стеллажа для хранения ТВС. Платформа перемещается внутри бассейна при помощи перегрузочной машины. Внутри платформы расположено оборудование, позволяющее производить выполнение сварочных работ. Оборудование может перемещаться внутри платформы на ортогональных направляющих. Система позволяет менять инструмент в зависимости от типа выполняемых работ.

К достоинствам данной системы следует отнести безопасность системы для окружающих конструкций БВ, в виду того, что рабочая зона робота ограничена габаритами платформы.

Недостатком же является сложность или невозможность применения такого оборудования для ремонта облицовки расположенной близко к технологическому оборудованию, в примыкании стен и пола бассейна.

Другим комплексом, выполняющим аналогичные функции, является комплекс, разработанный Государственной лабораторией робототехнических систем, расположенной в городе Харбин (Китайская народная республика).

Комплекс представляет из себя телеуправляемый необитаемый подводный аппарат (ТНПА) с расположенной на нем аппаратурой для выполнения диагностики и ремонта [2].

К достоинствам данной системы следует отнести компактность, мобильность и простоту эксплуатации. Такой ТНПА может в автоматизированном режиме исследовать большую часть поверхностей оболочки БВ без выполнения дополнительных операций с перегруз машиной.

К недостаткам данной конструкции также следует отнести невозможность выполнения работ в узлах примыкания стен и местах рядом с технологическим оборудованием. А также повышенный риск контакта со стеллажами ТВС и оборудованием БВ.

В настоящее время компанией Вест-Инжиниринг ведется разработка перспективной универсальной роботизированной системы для

выполнения задач по обслуживанию и ремонту облицовки бассейна выдержки.

В основе данной системы лежит поворотная платформа, обеспечивающая фиксацию системы на элементах БВ и универсальный 6-ти степенной манипулятор, позволяющий выполнять широкий спектр задач по доставке технологического оборудования. Манипулятор оснащен системой автоматической смены рабочего инструмента, обзорными камерами и подсветкой.

Преимуществом данной системы является компактность, по сравнению с системой, применяемой на ЛАЭС и большая рабочая зона манипулятора. Данные отличия позволяют системе выполнять ремонтно-диагностические работы в узлах примыкания стен и в непосредственной близости от технологического оборудования БВ, расширяя тем самым диапазон ее применения.

Другой отличительной особенностью системы является возможность ее оснащения платформой ТНПА, позволяющей ей перемещаться под водой автономно. Данное техническое решение предназначено для расширения функционала системы и ее применения для нужд других отраслей промышленности.

Литература

1. URL: https://cniitmash.com/mediacenter/news/v-rosatome-sozdali-innovacziionnyij-kompleks-dlya-podvodnoj-svarki.html (дата обращения 01.09.2024).

2. Yang Luo, Jianguo Tao, Qingjie Sun, Liping Deng, Zongquan Deng. A New Underwater Robot For Crack Welding in Nuclear Power Plants. Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. pp. 77-82, December 12-15, 2018, Kuala Lumpur, Malaysia.

Автоматизация технологического процесса отбора и разбавления проб теплоносителя первого контура ядерного реактора

А.В. Шайтанов

Общество с ограниченной ответственностью «Вест-Инжиниринг» (ООО «Вест-Инжиниринг»), Санкт-Петербург, Россия, a.shaitanov@west-e.ru

Благодарности
Работа выполняется в рамках контракта на поставку модуля отбора и разбавления проб для энергоблоков №1, 2, 3, 4 АЭС «Аккую», заключенного между TITAN2 IC İÇTAŞ İCŞAAT ANONİM ŞİRKETİ и ООО «Вест-Инжиниринг».

Process automation of sample dilution system of primary reactor coolant circuit

Anton V. Shaitanov
Limited Liability Company West-Engineering (LLC West-Engineering), St. Petersburg, Russia, a.shaitanov@west-e.ru

Acknowledgements
The research is being made as a part of the contract for delivery of sampling and dilution module for power units 1, 2, 3, 4 Atomic Power Station signed by TITAN2 IC İÇTAŞ İCŞAAT ANONİM ŞİRKETİ and LLC West-Engineering.

Отбор проб теплоносителя первого контура ядерного реактора осуществляется для проведения лабораторного анализа с целью получения информации о состоянии активной зоны реактора, реакторной установки и энергоблока в целом, для оценки потенциальной угрозы загрязнения окружающей среды при запроектных авариях, а также для принятия мер по снижению последствий запроектных аварий на АЭС на основе полученных данных.

Автоматизация процесса отбора и разбавления проб теплоносителя первого контура ядерного реактора (соотношение 1:10, 1:100, 1:1000) осуществляется с целью защиты оператора от воздействия ионизирующих излучений и сокращения времени его пребывания в помещении с повышенным радиационным фоном во время аварии.

Уникальность выполняемой работы заключается в отсутствии в настоящее время в России и зарубежом аналогов автоматизированных систем, позволяющих отбирать высокоактивную пробу теплоносителя реактора в условии запроектной аварии. Существующие зарубежные аналоги предполагают непосредственное участие оператора в управлении процессом отбора и разбавления пробы.

Автоматизация выше обозначенного процесса реализована в виде модуля отбора и разбавления проб, позволяющего получать представительные пробы:

– теплоносителя из корпуса реактора (2 точки отбора);
– воды из аварийного приямка гермооболочки (2 точки отбора);
– воды из бассейна выдержки и перегрузки топлива (1 точка отбора).

Модуль является оборудованием системы аварийного и постававарийного пробоотбора теплоносителя реактора, в режиме нормальной эксплуатации он проходит периодические проверки с целью подтверждения работоспособности путем отбора пробы теплоносителя первого контура из реактора [1].

Модуль состоит из следующих основных частей:
– блок охлаждения и подготовки проб;
– блок отбора и разбавления проб;
– агрегат очистки сдувок;
– бокс пробоотбора со шлюзом для изъятия разбавленной пробы;
– контейнер для разбавленной пробы;
– тележка (биозащитная) для транспортирования неразбавленной пробы;
– блок накопления и подачи дистиллированной воды;
– панель контроля и управления.

Перечень основных автоматизированных технологических процессов, необходимых для подготовки к выдаче, выдаче разбавленной или неразбавленной пробы, очистке системы после выдачи пробы [2]:
– охлаждение пробы теплоносителя;
– понижение или повышение давления пробы до давления выдачи;
– заполнение мерной емкости неразбавленной пробы и ее дегазация;
– разбавление дегазированной пробы в соотношение 1:10, 1:100, 1:1000;
– выдача неразбавленной или разбавленной пробы;
– промывка системы;
– продувка системы;
– слив бака дренажного.

В работе представлены схемы и компоненты автоматизации, обзор человеко-машинного интерфейса [3].

Литература

1. URL:https://west-e.ru/solutions/productions/modul-otbora-i-razbavleniya-prob-sistemy-avariynogo-i-postavariynogo-probootbora-teplonositelya-reak/?ysclid=m1t7a2d5x4481620214 (дата обращения 01.09.2024).

2. М.Н. Молдабаева. Автоматизация технологических процессов и производств. – г. Вологда: Инфра-Инженерия, 2019 – 224 с.

3. ГОСТ IEC 60447-2015. Интерфейс «человек-машина». Основные принципы безопасности маркировка и идентификация. = Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification. Actuating principles: межгосударственный стандарт: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 октября 2015 г №1510: введен впервые: дата введения 01.10.2016/ разработан ОАО «ВНИИС» - Москва: Стандартинформ. 2016. – 19 с.

СЕКЦИЯ «ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ В РОБОТОТЕХНИКЕ»

Перспективы использования виртуальной среды для первичного тестирования технологий ИИ и алгоритмов автономного управления робототехнических комплексов различного базирования

М.Е. Данилин, О.П. Меньшиков, И.И. Инин, К.Р. Ахтямов, К.Н. Юсупова
ООО «Аванти-Софт», Иннополис, Республика Татарстан, Россия

Prospects for the use of virtual environments for initial testing of AI technologies and autonomous control algorithms for robotic systems of various types

Maksim E. Danilin, Oleg P. Menshikov, Igor I. Inin, Kamil R. Akhtyamov, Christina N. Yusupova
LLC «Avanti-Soft», Innopolis, Republic of Tatarstan, Russia

Для современного бизнеса и разработки технологий критически важно максимально быстро и экономично получать результаты экспериментов. Особенно это актуально в высокотехнологичных отраслях, где ошибки могут быть дорогостоящими, а время на разработку ограничено. Использование виртуальных сред, далее – симуляторов, созданных на базе Unreal Engine, предоставляет уникальные возможности для проведения испытаний и тестирования технологий в виртуальной среде, что позволяет значительно ускорить процесс разработки, снизить денежные и временные затраты разработку и тестирование и минимизировать риски, связанные с реальными испытаниями, а получившееся окружение с высоким уровнем детализации позволяет создавать изображения, которые могут быть близки к фотореалистичным, что особенно важно для тестирования и развития технологий машинного зрения.

Виртуальное окружение предоставляет разработчикам уникальные возможности для проверки и тестирования технологий ИИ и ал-

горитмов автономного управления для робототехнических комплексов (РТК) различного базирования, без необходимости проведения дорогостоящих и рискованных испытаний на реальном оборудовании или даже без необходимости их физического построения. Такой подход особенно важен при тестировании алгоритмов управления для сложных систем, функционирующих в различных условиях.

Симулятор предоставляет возможность создания реалистичных, но безопасных условий для испытаний. Виртуальное окружение позволяет симулировать разнообразные сценарии и ситуации, в которых могут оказаться автономные системы, без риска повреждения реального оборудования и/или риска для операторов и пилотов. Это критично для тестирования сложных робототехнических комплексов, где ошибки могут быть дорогостоящими и опасными. Кроме штатной работы с помощью симулятора, возможно и смоделировать редкие, экстремальные ситуации или управляемые отказы систем, трудно воспроизводимые в реальном мире.

Симуляторы, созданные на Unreal Engine, могут генерировать огромные объемы синтетических данных, используемых для обучения и тестирования алгоритмов компьютерного зрения. Эти данные могут включать разнообразные объекты, типы освещения, погодные условия и другие параметры, даже весьма специфические, для которых будет достаточно 3D модели объекта, что позволяет ИИ-алгоритмам обучаться на большом количестве сценариев, включая те, которые сложно воспроизвести в реальной жизни. Например, если необходимо протестировать систему компьютерного зрения в условиях низкой освещенности или при экстремальных погодных условиях, виртуальная среда может создать нужные условия, позволяя проверить, насколько эффективно алгоритм работает в таких ситуациях. Не стоит забывать, что симуляторы предоставляют уникальную возможность для обучения и приобретения навыков без необходимости прямого взаимодействия с физическим объектом. Используя виртуальные среды, специалисты могут отрабатывать сложные операции, изучать поведение систем и совершенствовать свои навыки в безопасных и контролируемых условиях. Это особенно полезно в тех случаях, когда работа с реальным оборудованием может быть связана с рисками или требует значительных затрат.

Наконец, симуляторы предоставляют уникальную возможность для обучения и приобретения навыков без необходимости прямого взаимодействия с физическим объектом. Используя виртуальные среды, специалисты могут отрабатывать сложные операции, изучать поведение систем и совершенствовать свои навыки в безопасных и

контролируемых условиях с возможностью многократного повторения только одного конкретного элемента для закрепления.

Литература

1. Epic Games. Unreal Engine Documentation. [Электронный ресурс]. URL: https://dev.epicgames.com/documentation/ru-ru/unreal-engine/ (дата обращения: 27.08.2024).

2. Microsoft. AirSim: Open Source Simulator for Autonomous Vehicles Built on Unreal Engine / GitHub. [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/microsoft/AirSim (дата обращения: 27.08.2024).

Экспериментальная оценка нейронных сетей в единой технологический среде

Е.С. Чичков✉, В.С. Авраменко
Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, Санкт-Петербург, jen.chichckow2014@yandex.ru, vsavr@yandex.ru

Experimental evaluation of neural networks in a single technological environment

Evgeny S. Chichkov✉, Vladimir S. Avramenko
Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military Academy of Communications, St. Petersburg, jen.chichckow2014@yandex.ru, vsavr@yandex.ru

В настоящее время робототехнические комплексы (РТК) активно внедряются в различных сферах деятельности. В частности, с помощью беспилотных летальных аппаратов (БПЛА) существенно повышается эффективность выполнения таких задач как транспортировка грузов, съемка и распознавание объектов в сложных условиях, выполнение поисковых мероприятий и многое другое. Сложившаяся в настоящее время ситуация, особенно в военной сфере, требует создания новых РТК или модернизации существующих в кратчайшие сроки. При этом РТК должен выполнять заданные функции с требуемым уровнем качества и минимальных затратах.

Решением данной задачи может стать создание модульной платформы, на основе которой осуществляется оперативное проектирование и сборка конечного продукта из готовых технических и программных решений (модулей), в том числе обученных нейронных

сетей. Такой подход позволяет сократить время на создание новых РТК или модернизации существующих.

Качество и эффективность современных РТК во многом определятся качеством математического и программного обеспечения. Кроме того, оптимальные алгоритмы и оптимальный программный код обеспечивают возможность сокращения расходов на производство РТК за счет использования вычислительных устройств меньшей производительности, памяти меньшего объема и источников энергии меньшей мощности.

В современных РТК активно используются технологии машинного обучения, в том числе и нейронные сети (НС). Эффективность различных вариантов реализации нейронных сетей необходимо оценивать на всех этапах их создания. Но в настоящее время еще не до конца сформировался общепринятый подход к оценке НС [1]. Поэтому зачастую разработчикам приходится самостоятельно проводить оценивание по собственным методикам [2], требующих значительных материальных и временных затрат.

Для решения сложившейся проблемной ситуации предлагается способ экспериментальной оценки эффективности НС, суть которого заключается в использовании для оценивания единой технологической среды на основе программного комплекса [3]. Под единой технологической средой оценивания понимается система показателей качества (эффективности) и процедур измерения, расчета и оценивания, одинаковые наборы данных для обучения и тестирования. Исследуемые НС загружаются в виртуальную программную среду. Для измерения характеристик НС на вход исследуемых НС подаются наборы реальных данных. Результаты испытаний фиксируются в базе данных, на их основе в модуле оценки рассчитываются значения показателей эффективности.

Применение предлагаемого подхода к оценке эффективности НС, применяемых в РТК, позволит повысить точность и оперативность оценивания эффективности программных и программно-аппаратных реализаций НС различных архитектур за счет автоматизации процесса оценивания, обеспечения одинаковых условий, исходных данных и процедур измерения и оценивания.

Литература

1. Щербин А.С. Проблемы оценки качества архитектур нейронных сетей и алгоритмов поиска архитектур. Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2023. Т.21, №2. С. 51-62.

2. Маликов А.В., Авраменко В.С. Оценка достоверности диагностирования компьютерных инцидентов в инфокоммуникационных системах. Труды V межвузовской научно-практической конференции: Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях. 2020. С. 189-193.

3. Авраменко В.С., Чичков Е.С. Программный комплекс для экспериментальной оценки эффективности нейронных сетей // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО-2024). Материалы XIII Международной научно-технической и научно-методической конференции. Санкт-Петербург, 2024. С. 16-19.

Возможности применения игрового имитационного моделирования для обучения нейронных сетей

В.Е. Иванов✉, Н.Г. Яковенко

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова» (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова), Санкт-Петербург, Россия, cosmoknight@yandex.ru, ivanov_ve@voenmeh.ru

The possibilities of using game simulation modeling to train neural networks

Vladimir E. Ivanov✉, Nikolay G. Yakovenko

The Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D.F. Ustinov (BSTU «VOENMEH» named after D.F. Ustinov), St. Petersburg, Russia, cosmoknight@yandex.ru, ivanov_ve@voenmeh.ru

В современном мире растёт количество запросов на автоматизацию задач и внедрение в существующие комплексы системы с использованием искусственного интеллекта. В условиях постоянного роста объема данных и сложности задач, связанных с обработкой информации и управлением техникой, необходимо искать новые методы, способные ускорить и улучшить процесс обучения программ искусственного интеллекта.

Среди актуальных задач можно выделить системы автономной навигации и автоматического управления наземным транспортом, транспортные беспилотные авиационные системы гражданского

назначения, робототехнические комплексы в сфере логистики и оптимизации задач хранения, а также различные другие системы экстремальной и специальной робототехники – системы ликвидации пожаров, работы в условиях чрезвычайных ситуаций, повышенного радиационного фона и в условиях космоса.

Для обучения устройств управления с искусственным интеллектом решению данного типа задач составляет потребность формирование большого и разнообразного обучающего множества, где часть задач можно воссоздать имитационно с помощью простых математических или статистических моделей, но для большинства задач, где необходимо воссоздание сложных физических моделей, моделей с большим количеством переменных или со случайными возмущениями, задача для обычного имитационного моделирования становиться проблематичной [1].

Создание условий, в которых необходимо проводить обучение и испытание таких систем, является проблематичным или опасным, а для некоторых систем они физически недоступны или очень нерентабельны. Также проблема может быть отягощена применением систем машинного зрения, для которых необходимо собирать или создавать обучающее множество, структурировать данные, размечать объекты и подготавливать для обучения нейронной сети, которая является составляющей в системе искусственного интеллекта, что создаёт отдельную проблему автоматизации при подготовке и тратить значительное количество рабочего времени [2].

Для решения данной проблемы можно использовать виртуальные имитационные физические среды, программные игровые средства разработки и игровые симуляторы [3].

Они обладают физическим ядром симуляции, возможностью моделирования значительного количество независимых объектов со своими параметрами и свойствами, функциями мониторинга и управления процессом, а также некоторые из них обладают встроенным функционалом для работы с системами искусственного интеллекта [4].

Основной целью становится создание методологии применения игрового имитационного моделирования, а именно: формирование системного представления элементов системы, методики применения моделирования для заданной системы, методики обучения отдельных элементов системы, совокупное обучение элементов, алгоритм взаимосвязи виртуального объекта и реального прототипа, алгоритм импорта на реальный прототип, методики дообучения в реальной среде и методики верификации результата в соответствии с техническим заданием.

Литература

1. Ranaweera, M.; Mahmoud, Q.H., Q. Bridging Reality Gap Between Virtual and Physical Robot through Domain Randomization and Induced Noise // Proceedings of the Canadian Conference on Artificial Intelligence. – Canada. 2022 г. – URL: https://doi.org/10.21428/594757db.09aa0c75 (дата обращения: 05.09.2024).
2. Richter, Stephan & Vineet, Vibhav & Roth, Stefan & Koltun, Vladlen. Playing for Data: Ground Truth from Computer Games. // European Conference on Computer Vision. LNCS. 9906. 10.1007/978-3-319-46475-6_7. – The Netherlands. 2016. – URL: https://arxiv.org/pdf/1608.02192 (дата обращения: 05.09.2024).
3. Tom Ward и др. Using Unity to Help Solve Intelligence // Artificial Intelligence. – London. 2020. – URL: https://arxiv.org/pdf/2011.09294.pdf (дата обращения: 05.09.2024).
4. Ertugrul Akay. Investigating The Concept of Agent Behaviours and Limitations of Agent AI's Decision Making Ability in Unity3D // Academia. – UK. 2020. – URL: https://www.academia.edu/44731053/Investigating_The_Concept_of_Agent_Behaviours_and_Limitations_of_Agent_AIs_Decision_Making_Ability_in_Unity3D (дата обращения: 05.09.2024).

Создание виртуальной среды для удаленной разработки автономного мобильного робота

В.Е. Пряничников[1,2,3]✉, Д.С. Тележкин[1]

[1]ИПМ им. Келдыша РАН, Лаборатория «Сенсорика» Москва, Россия, v.e.pr@yandex.ru

[2]МГТУ Станкин, Москва, Россия

[3]Международный институт новых образовательных технологий, Москва, Россия

Creating a virtual environment for remote development of an autonomous mobile robot

Valentin E. Pryanichnikov[1,2,3]✉, Dmitriy S. Telezhkin[1]

[1]KIAM Russian Academy of Sciences, Sensorika Laboratory Moscow, Russia, v.e.pr@yandex.ru

[2]MSTU Stankin, Moscow, Russia

[3]International Institute of New Educational Technologies Moscow, Russia

Статья описывает использование виртуальных частных сетей и локальных серверов в процессе разработки программного обеспечения для автономных мобильных роботов, подчеркивая значимость этих технологий для эффективной и безопасной работы. В условиях, когда выделение статических IP-адресов для удаленного доступа к мобильным устройствам затруднено, создание виртуальной сети с помощью NetBird [1] на базе WireGuard [2] позволяет интегрировать все устройства в единую локальную сеть. Это упрощает взаимодействие между разработчиками и тестируемыми роботами, обеспечивая надежное и быстрое соединение, критичное для отладки и улучшения качества программного обеспечения.

Использование NetBird предоставляет возможность удаленной работы с роботами, обеспечивая разработчикам доступ с любых устройств и позволяя тестировать и корректировать ПО в реальном времени. Это особенно важно при работе в распределенных командах, где физическое размещение участников не должно влиять на ход разработки. Безопасность соединения, обеспечиваемая шифрованием и контролем доступа, защищает данные от угроз и утечек.

Локальный сервер выполняет несколько ключевых функций, которые делают его незаменимым в процессе разработки и тестирования ПО для мобильных роботов. Он поддерживает создание и тестирование новых функций в контролируемой среде, снижая риск ошибок и неисправностей, которые могут повлиять на безопасность и работоспособность роботов. Реальное время обработки данных, которые поступают от сенсоров роботов, позволяет серверу эффективно анализировать и координировать действия устройств, что особенно важно в сложных системах, таких как складская логистика, где роботы должны действовать синхронно.

Хранение данных локально на сервере позволяет изолировать их от внешних угроз, а централизованное управление обновлениями обеспечивает быстрое внедрение новых функций и исправлений. Локальный сервер также позволяет симулировать сценарии работы роботов, что помогает оптимизировать алгоритмы и стратегии до их применения в реальных условиях, значительно экономя время и ресурсы.

Docker [3] играет важную роль в управлении приложениями на сервере, предоставляя удобные средства для изоляции, портативности и быстрого развертывания приложений. Контейнеризация упрощает управление зависимостями и повышает эффективность использования ресурсов, позволяя разработчикам сосредоточиться на создании качественного ПО без лишних технических сложностей.

В целом, интеграция виртуальных сетей, локальных серверов и контейнеров Docker формирует мощную инфраструктуру для разработки, тестирования и эксплуатации ПО для автономных мобильных роботов, обеспечивая надежность, безопасность и гибкость системы. Созданная система распределенных вычислений позволила создать не только эффективный инструмент для ведения коллективных разработок, но и для комбинирования возможностей бортовых вычислителей с возможностями сервера [4-5].

Литература

1. NetBird - проект, для создания виртуальных частных сетей (VPN) с использованием технологии WireGuard, ссылка на 18.09.2024. URL: https://netbird.io/.

2. WireGuard VPN общего назначения с современной криптографией, ссылка на 18.09.2024. URL: https://www.wireguard.com/

3. Docker – среда контейнеризации приложений, ссылка на 18.09.2024. URL: https://www.docker.com/.

4. В.Е.Пряничников, А.А.Арыскин, А.А.Драчкова, К.Э.Брундукова, О.И. Власова, А.А.Карцева, Ю.С.Колесов, А.В.Снопков, М.Д.Соловьёва, А.И.Телегин, Д.С.Тележкин, А.Н.Тихомиров, А.В.Федоров, Д.К.Федотов, В.В.Ястребов. Эксперименты по расширению функциональных возможностей мобильных сервисных роботов. «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА», Сборник тезисов 34 -й Международной научно-технической конференции. – Санкт-Петербург: ЦНИИ РТК - ООО «Типография Фурсова», 2023. – 306 с.: ил., С.34-36, ISBN 978-5-6048032-9-5, https://er.rtc.ru/images/docs/2023/Sbornik-tezisov_ER-2023.pdf.

5. Pryanichnikov, V[alentin]; Kolesov, Y[uriy]; Tarasov, R[adomir] & Plotnikov, A[leksey] (2021). Integration Software for a Distributed Group of Mobile Service Robots, Proceedings of the 32nd DAAAM International Symposium, pp.0311-0315, B. Katalinic (Ed.), Published by DAAAM International, ISBN 978- 3-902734-33-4, ISSN 1726-9679

6. Vienna, Austria DOI: 10.2507/32nd.daaam.proceedings.045.

Компьютерные модули на базе процессоров с интегрированными ядрами NPU и TPU для построения перспективных робототехнических комплексов

А.В. Медведев, П.Б. Чучкалов
Акционерное общество «Научно-производственная компания «Атроник», Москва, Россия, mav@atronik.ru

Computer-on-modules based on processors with integrated NPU and TPU cores for building prospective robotic complexes

Aleksei V. Medvedev, Pavel B. Chuchkalov
Joint Stock Company «Scientific and Production Company «Atronik», Moscow, Russia, mav@atronik.ru

Введение

Компьютерные модули, называемые также компьютерами на модуле (Computer-on-Module) или системами на модуле (System-on-Module), представляют собой компактный вычислитель, содержащий центральный процессор (ЦП), память, контроллеры периферии и вторичные источники питания. Все периферийные интерфейсы выведены на разъемы в соответствии с общепринятой спецификацией.

Описание преимуществ и наиболее популярных среди разработчиков и пользователей встраиваемых систем стандартов компьютерных модулей: ETX, QSeven, SMARC, COM Express и COM-HPC представлено в статье [1]. Далее рассмотрен один из самых компактных стандартов – SMARC.

Модули стандарта SMARC

Стандарт SMARC («Smart Mobility ARChitecture») разработан консорциумом SGET в 2013 году. Модули стандарта быстро стали очень популярными масштабируемыми строительными блоками, позволяющими разработчикам создавать приложения нового поколения.

Модули SMARC предназначены для создания компактных вычислительных устройств с низким энергопотреблением. Они также могут быть использованы в различных приложениях в области медицинского оборудования, в транспортных средствах и робототехнике [2].

SMARC-модули могут быть построены на базе центральных процессоров с архитектурами ARM, X86 или RISC и поддерживают различные операционные системы, такие как Linux, Windows Embedded и даже KasperskyOS и ЗОСРВ Нейтрино.

Модули SMARC имеют стандартизированный форм-фактор и интерфейсы, что позволяет легко заменять модули в системе без необходимости перепроектирования всей системы.

Спецификация определяет два размера модуля: 82 мм x 50 мм и 82 мм x 80 мм. Основное питание модулей – 5В.

Рисунок 1 — Компьютерный модуль SMARC с несущей платой производства НПК «АТРОНИК»

Список обязательных и дополнительных интерфейсов модуля SMARC описан в спецификации, находящейся в открытом доступе на сайте https://sget.org/. Печатные платы модуля имеют 314 контактный краевой разъем, который соединяются с низкопрофильным 314-контактным прямоугольным разъемом типа MXM3 на несущей плате (рис. 1).

Разъем MXM3 первоначально использовался для видеокарт. Но назначение контактов на Модулях SMARC и графических картах – различные. Контакты модуля SMARC намеренно пронумерованы как P1 – P156 и S1 – S158 с целью отличия модуля SMARC от графического модуля MXM3.

Отечественные модули SMARC

В настоящее время усилия многих разработчиков встраиваемых процессорных модулей сосредоточены на использовании компонентной базы производства КНР. НПК «АТРОНИК» не исключение, в настоящее время инженерные усилия компании сосредоточены на разработке встраиваемых компьютерных модулей на базе процессоров с архитектурой ARM и встроенными ядрами NPU/TPU производ-

ства КНР. На рисунке 2 приведен сравнение производительности модулей Атроник и популярных в робототехнике модулей серии Jetson производства Nvidia.

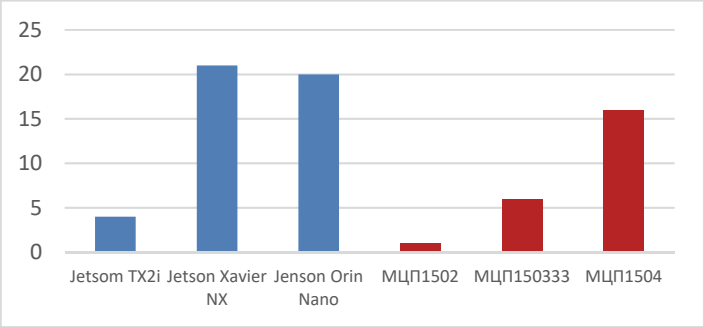


Рисунок 2 — Сравнение производительности процессоров, TOPS

Модули АТРОНИК на ЦП архитектуры ARM со встроенными ядрами NPU/TPU полностью соответствуют спецификации SMARC 2.1.1 Дублированные коммуникационные интерфейсы (Ethernet, CAN, RS-232/422/485), система коррекции ошибок памяти (ECC), промышленный температурный диапазон эксплуатации обеспечивают эффективное использование модулей при создании надежных систем РЗА и АСУ ТП. В табл. 1 приведен сравнительный анализ модулей SMARC производства НПК АТРОНИК.

Таблица 1 — Сравнение модулей SMARC производства НПК «АТРОНИК»

	МЦП1502	**МЦП1503**	**МЦП1504**
Центральный процессор	4 ядра ARM Cortex-A55 1,4ГГц	8 ядер (4×Cortex-A76+4×Cortex-A55), 2 ГГц.	8 ядер Cortex-A53 1,6 ГГц
Объем ОЗУ	DDR4 4 Гб с ECC*	LPDDR4 8/16 Гб	LPDDR4 16 Гб
Объем ПЗУ (eMMC)	32 Гб	64/128 Гб	64/128 Гб
NPU Tops (INT8)	0,8	6	16
HDMI	v.2.0	v.2.1	v.2.1
Потребляемая мощность, Вт	до 7	до 20	

	МЦП1502	**МЦП1503**	**МЦП1504**
Рабочий температурный диапазон	-40…+85°C	-40…+85°C	до 20
Рабочий температурный диапазон	-40…+85°C	-40…+85°C	-40…+85°C
Поддерживаемые операционные системы	Linux,	Linux	Linux

Заключение

SMARC-модули представляют собой современное и гибкое решение для создания вычислительных систем и устройств, обладающее преимуществами компактности, масштабируемости, энергоэффективности, стандартизации, легкости разработки и надежности. Использование SMARC-модулей может быть полезно при разработке систем технического зрения, бортовых вычислителей, систем связи, навигации и наведения робототехнических комплексов других компьютерных систем, где требуется компактный масштабируемый встраиваемый вычислительный модуль.

Литература

1. Медведев А.В. Компьютерные модули: преимущества и популярные стандарты // CONTROL ENGINEERING Россия. – 2022. - №3. – С.14-20.

2. Дашевский В.П., Бизин М.М. Обзор возможностей бортовых вычислителей на основе SMARC-модулей для робототехнических комплексов //Доклады ТУСУРа. – 2015. - №3 (37). – С.91-95

Система управления мобильными роботами при поиске аномалий поля концентрации

И.В. Бычков, А.В. Давыдов, М.Ю. Кензин, Н.В. Нагул, А.А. Толстихин

Институт динамики систем и теории управления им. Матросова (ИДСТУ СО РАН), г. Иркутск, Россия, madstayler93@gmail.com

Благодарности
Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ, проект №121032400051-9.

Mobile robots control system for concentration field anomalies search

Igor V. Bychkov, Artem V. Davydov, Maksim Yu. Kenzin, Nadezhda V. Nagul, Anton A. Tolstikhin
Matrosov institute for system dynamics and control theory (ISDCT SB RAS), Irkutsk, Russia, madstayler93@gmail.com

Acknowledgements
The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project No.121032400051-9.

В настоящее время во многих сферах человеческой деятельности приобрело популярность использование скоординированных групп автономных мобильных роботов для решения практических задач. Наибольшую актуальность это имеет в областях, где использование пилотируемых или дистанционно управляемых аппаратов осложняется высокой опасностью окружающей среды или условий проведения миссий, наличием человеческого фактора, а также финансовыми и иными издержками, связанными с этим. Однако, основной проблемой при использовании робототехнических комплексов зачастую являются жесткие ограничения на максимальную дальность устойчивого канала связи между роботами, его пропускную способностью и энергетические ресурсы роботов, имеющие особое значение при проведении долгосрочных исследований.

Для решения данных проблем предлагается трехуровневая архитектура управления, состоящая из долгосрочного планировщика, дискретно-событийной системы для принятия ситуативных решений и уровня непосредственного решения задачи. Рассмотрим основные принципы их работы на примере задачи обследования нестационарного поля концентрации с целью обнаружения аномалий (источников) – областей с пиковым значением концентрации, восстановления заданных линий уровня и долгосрочного отслеживания перемещений источников (мониторинга). Примером таких полей может являться, например, техногенное загрязнение в водной среде.

Основной задачей верхнеуровневого планировщика является обеспечение стабильного функционирования группы роботов в условиях энергетических ограничений. Для этого должно быть сформировано рабочее расписание, согласно которому роботы будут периодически покидать группу для подзарядки аккумуляторных батарей. Такое расписание ротации группы должно удовлетворять ряду требований, связанных, в первую очередь, с ограничениями зарядной инфраструктуры, а также с необходимостью поддержания функционального разнообразия тех роботов, которые будут оставаться для выполнения заданий, пока часть группы будет находиться на подзарядке. Любые значительные изменения условий выполнения миссии или состояния самой действующей группы роботов должны инициировать корректировку расписания ротации. Корректировка расписания должна обязательно осуществляться в моменты сбора группы, чтобы все роботы были осведомлены об изменении текущей групповой стратегии. Планирование таких групповых сборов должно также осуществляться верхнеуровневым планировщиком на основе потенциально прогнозируемых событий. Разработан гибридный эволюционный алгоритм, совмещающей в себе работу проблемно-ориентированных генетических операторов и эвристик с набором специализированных процедур локального поиска [1]. Разработанный алгоритм обеспечивает быстрое построение допустимых расписаний высокого качества и, при необходимости, их оперативную корректировку.

Для оперативной выработки реакции на возникающие внутри рабочей группы и внешней среде события предлагается использовать дискретно-событийное моделирование, а для обработки событий – логический подход на основе автоматического доказательства теорем в исчислении позитивно-образованных формул (ПОФ) [2]. Исчисление ПОФ зарекомендовало себя в ряде задач управления, таких как управление группой лифтов и наведение телескопа, что позволяет успешно применять его для управления групповыми действиями мобильных роботов. В рамках предложенной архитектуры дискретно-событийные системы обеспечивают переключение режимов работы агентов или определенных параметров их функционирования при возникновении внутренних и внешних событий. Обрабатываемыми событиями могут являться смена роли робота внутри группы, возникновение препятствия или смена цели исследования группы.

Наконец, непосредственное управление агентами, нацеленное на решение поставленной задачи, обеспечивается подходом, основанным на методе поведенческой структуры [3]. Согласно нему, управление каждого робота строится на линейной комбинации нескольких

воздействующих на него «сил», вычисляемых на основе координат окружающих агентов и другой информации об окружающей среде. В частности, при обследовании поля концентрации такой информацией являются произведенные роботами измерения величины поля. Силы можно условно разделить на два типа: функциональные и утилитарные. Первые обеспечивают решение задачи – направление роботов по градиенту и антиградиенту поля для, соответственно, поиска аномалий и их линий уровня. В то время как вторые отвечают за отсутствие столкновений вида «робот-робот» и «робот-препятствие», удержание формации при движении и другие сервисные функции.

Литература

1. Kenzin M., Bychkov I., Maksimkin N. Self-adaptive coordination for fuel-constrained robot teams with periodic and aperiodic communications // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. 2022. Vol. 236(17). P. 9730-9742. doi:10.1177/09544062221092292.

2. Васильев, С.Н. Интеллектное управление динамическими системами / С.Н. Васильев, А.К. Жерлов, Е.А. Федосов, Б.Е. Федунов. – М.: Физматлит, 2000. – 352 с.

3. Xu D., Zhang X., Zhu Z., Chen C., Yang P. Behavior-Based Formation Control of Swarm Robots // Mathematical Problems in Engineering, 2014, С. 1–13. https://doi.org/10.1155/2014/205759.

Гибридный алгоритм распознавания объекта в системе компьютерного зрения

С.О. Власов✉, А.А. Богуславский, С.М. Соколов
Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН» (ИПМ им. М.В. Келдыша РАН), Москва, Россия, sergvlas25@yandex.ru

Hybrid algorithms for object detection in real-time computer vision systems

Sergey O. Vlasov✉, Andrey A. Boguslavsky, Sergey M. Sokolov
Keldysh Institute of Applied Methematics, Moscow, Russia, sergvlas25@yandex.ru

В настоящее время количество и разнообразие задач в части обнаружения и классификации объектов на изображениях с помощью компьютерного зрения увеличивается. Вместе с тем повышаются требования к точности и быстродействию. Требование высокой надежности при обработке порядка десятков кадров в секунду на универсальном компьютере в системах реального времени приводит к необходимости разработки новых методов и алгоритмов распознавания объектов на изображениях.

Одним из подходов повышения качества работы систем реального времени является разработка гибридных алгоритмов обнаружения и классификации объектов на изображениях, представляющих из себя комбинацию различных методов обнаружения и распознавания объектов. Задачей таких алгоритмов является компенсация недостатков применения конкретных методов по отдельности и повышение эффективности системы при их совместном использовании.

Данное направление активно развивается в настоящее время. Исследуется эффективность построения дескрипторов в структуру, подобную глубоким нейронным сетям [1], рассматривается совместное применений нейронных сетей и других методов компьютерного зрения [2], исследуется возможность разбиения исходного изображения на отдельные области с последующим распознаванием нейронной сетью фрагментов, содержащие не только фон [3], реализуются комбинированные алгоритмы, представляющие собой комбинацию детектора пешеходов, алгоритма выделения движения и функции слежения [4]. Проводится анализ и оценка алгоритмов распознавания и сопровождения подвижных объектов в режиме реального времени с последующим построением алгоритмического обеспечения для решения данной задачи [5].

Достоинством сверточных искусственных нейронных сетей является возможность распознавания различных объектов на сложном фоне. Известно решение новых задач с помощью данного направления компьютерного зрения [6], применение в системах реального времени [7], предлагаются различные модификации существующих нейросетевых архитектур [8]. Однако данный метод, особенно при использовании быстродействующих архитектур с малой затратой ресурсов, может приводить к возникновению ложных обнаружений или пропускать объект интереса на изображении. Нейронные сети высокой точности распознавания требуют больших вычислительных мощностей технической системы и не всегда выполняют требования по времени обработки изображения.

В то же время классические методы поиска особых точек и вычислители дескрипторов, описанные в монографии [9], позволяют обнаруживать и сопоставлять объекты на малых фрагментах изображений за относительно малое время.

В данной работе рассматривается использование алгоритма, представляющего из себя комбинацию нейросетевого и классического методов распознавания объектов на изображениях.

В проведенных исследованиях были рассмотрены архитектуры сверточных нейронных сетей из «зоопарка моделей» Tensorflow [10], представленного в открытом доступе. Для тестирования предложенного алгоритма авторами работы был собран из открытых источников и самостоятельно размечен набор изображений, полученных из нескольких видеофрагментов, содержащих малый антропогенный движущийся объект на различном фоне. Часть обрабатываемых изображений содержат также объекты, изменяющие свое положение, но не представляющие интереса.

Общая схема предложенного алгоритма обнаружения объектов состоит в следующем:

– на вход алгоритма поступает изображение, на котором может присутствовать как объект интереса, так и объекты, не являющиеся целью поиска;

– выполняется поиск объектов интереса с использованием технологии сверточных нейронных сетей;

– выделяются области изображения (фрагменты), предположительно содержащие интересующий объект;

– на каждом фрагменте выполняется поиск особых точек;

– выполняется сопоставление найденных особых точек с примерами «эталонных» наборов таких точек для объекта интереса, отобранных предварительно;

– на основе проведенного сравнения подтверждается или отвергается предположение о наличии объекта интереса в данной области;

– вывод полученных результатов.

В рамках проведенной работы была выполнена серия вычислительных экспериментов на тестовых видеопоследовательностях с размером изображений 1920x1080 пикселей применительно к распознаванию объекта интереса размерами от 0,02% до 0,4% от площади кадра. Объект интереса представляет собой образ твердотельного объекта. Этот образ на видеопоследовательности изменяется в результате смещения и поворота объекта. С помощью предложенного алгоритма число ложных обнаружений объекта было снижено на 49 - 90% по

сравнению с чисто нейросетевым алгоритмом для различных видеопоследовательностей и значений настраиваемых параметров при скорости обработки порядка 10 кадров в секунду на универсальном компьютере с процессором типа Intel Core i7.

Было проведено сравнение полученных результатов по скорости и точности работы комбинаций различных типов архитектур сверточных нейронных сетей и методов поиска и сопоставления особых точек.

В заключении отмечается возможность использования предложенного алгоритма в системах реального времени на базе компьютеров универсальной архитектуры, намечаются пути его дальнейшего совершенствования.

Литература

1. N. Ardalani, S. Pal, P. Gupta, DeepFlow: A cross-stack pathfinding framework for distributed ai systems, 2022. URL: https://arxiv.org/abs/2211.03309.

2. Y. Taspinar, S. Murat. Object Recognition with Hybrid Deep Learning Methods and Testing on Embedded Systems. International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering. 8. 2020. 71-77. 10.18201/ijisae.2020261587.

3. L. A. Varga, A. Zell, Tackling the Background Bias in Sparse Object Detection via Cropped Windows, 2021, IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW), pp. 2768-2777.

4. Стротов, В. В. Комбинирование нескольких алгоритмов для увеличения точности обнаружения и локализации пешеходов / В. В. Стротов, П. Е. Жгутов // Труды Международной конференции по компьютерной графике и зрению "Графикон". – 2022. – № 32. – С. 628-635. – DOI 10.20948/graphicon-2022-628-635.

5. Волкова, М. А. Алгоритмическое обеспечение обработки сегментированной сенсорной информации для слежения за подвижными объектами в режиме реального времени : специальность 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Волкова Мария Александровна, 2023. – 141 с.

6. Авраменко, В. С. Распознавание объектов беспилотными летательными аппаратами на основе нейронной сети MOBILENET / В. С. Авраменко, Е. С. Чичков // Экстремальная робототехника. – 2024. – № 1(34). – С. 261-266.

7. Z. Xu, E. Hrustic, D. Vivet. CenterNet Heatmap Propagation for Real-Time Video Object Detection. In: Vedaldi, A., Bischof, H., Brox,

T., Frahm, JM. (eds) Computer Vision – ECCV 2020. ECCV 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol 12370. Springer, Cham.

8. Береснев, А. П. Исследование свёрточных нейронных сетей класса YOLO для мобильных систем детектирования объектов на изображениях / А. П. Береснев, И. В. Зоев, Н. Г. Марков // Труды Международной конференции по компьютерной графике и зрению «Графикон». – 2018. – № 28. – С. 196-199.

9. Кэлер А., Брэдски Г. Изучаем OpenCV 3 / пер. с анг. А. А. Слинкина. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 826 с.: ил.

10. TensorFlow 2 Detection Model Zoo // Google. — https://github.com/tensorflow/models/blob/master/research/object_detection/g3doc/tf2_detection_zoo.md.

Программная система для решения задач понимания изображений в реальном времени

К.И. Кий

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной математики им. Келдыша Российской Академии Наук (ИПМ РАН), Москва, Российская Федерация, konst.i.kiy@gmail.com

Program system for real-time solving image understanding problems

Konstantin I. Kiy

Federal state budget scientific organization Keldysh institute of applied mathematics of RAS (KIAM RAS), Moscow, Russian Federation, konst.i.kiy@gmail.com

В работе предлагается программная система для решения большого числа задач понимания изображений реального мира в реальном времени. Система основана на методе геометризованных гистограмм, разработанном автором. Не смотря на большие успехи подхода, основанного на глубоком обучении нейронных сетей, имеются проблемы при применении этих методов. Неожиданные аварии автономных беспилотных транспортных систем в ситуациях, не представляющих трудности для квалифицированного водителя, подтверждают необходимость логического анализа предлагаемых нейросетями решений. Для выполнения этого анализа необходимо описание

всех объектов сцены, характера взаимодействия их во времени и предсказания их возможных действий. Предлагаемая система может дать платформу для решения указанных задач.

В этой системе основная работа с массивом поступающего кадра видеопоследовательности выполняется в модуле сжатого описания изображения с помощью цветовых сгустков. Цветовые сгустки дают описание распределения значений цветовых признаков изображения поступившего кадра [1]. Имеется два режима работы модуля сжатого описания. В первом и втором режимах изображение разбивается на параллельные полосы одинаковой ширины и границами параллельными горизонтальной или вертикальной осям, связанным с изображением, соответственно. Цветовые сгустки описывают распределения значений цветовых признаков в полосах [1]. Вызывая оба режима (реализованные независимой процедурой или dll) для основного изображения или его частей можно получить множественное сжатое описание кадра пригодное для решения как глобальных, так и локальных задач распознавания. Используя полученную совокупность сжатых описаний, поставленные задачи решаются без дальнейшего обращения к исходному массиву изображения, что обеспечивает возможность работать в реальном времени. Модули предварительной областной сегментации и построения контуров на основе полученных сжатых описаний завершают общую часть конструкции описания изображения. Далее идут модули решения конкретных задач.

Перечислим основные группы задач, которые можно решать с помощью предлагаемой системы.

1. Группа задач для выделения конкретных объектов в кадре (выделение основных объектов дорожной сцены таких как дорога, дорожная разметка, дорожные знаки, обочина, зеленые посадки в окрестности дороги, автомобили на дороге, сигнальные зоны автомобилей, детали автомобилей, корпуса, окна, и т.д.)
2. Запись последовательностей состояний выделенных объектов для участков видеопоследовательности и определение изменения состояния и динамики их движения по кадрам.
3. Анализ движения в кадре.
4. Приблизительная оценка расстояний до выявленных объектов.

В предыдущих публикациях автора решались в основном задачи пункта 1 данного списка с применением цветовых сгустков, построенных на основе цветовых сгустков, построенных на основе разбиения изображения на горизонтальные полосы. В использованной

программной системе имелась возможность работать или с горизонтальными, или с вертикальными полосами. Новая система дает возможность работать одновременно с двумя описаниями. Это дает возможность более точно определять размеры объектов, лучше решать задачи распознавания, а также дает новый подход к задачам пунктов 3 и 4.

Литература

1. К.И. Кий, Д.А. Анохин, А.В. Подопросветов, Программная система обработки изображений с параллельными вычислениями, // Программирование. 2020. № 6. 41-54. DOI: 10.31857/s0132347420060047.

Применение архитектуры CLIP в задаче распознавания сцен для локализации мобильного робота

А.Д. Московский
Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» (НИЦ КИ), Москва, Россия, moscowskyad@yandex.ru

Благодарности
Работа проведена в рамках выполнения государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

Application of CLIP arhitecture in global robot localization task

Anton D. Moscowsky
National research center «Kurchatov institute» (NRC KI), Moscow, Russia, moscowskyad@gmail.com

Acknowledgements
The work was carried out within the state assignment of NRC «Kurchatov institute».

В работе рассматривается задача глобальной локализации робота по визуальным данным. Визуальные данные в виде распознанных

объектов интересуют исследователей в области локализации, т.к. позволяют решить ряд проблем, связанных с симметричностью, повторяемостью и большими размерами среды, в которой функционирует робот. Разрабатываются методы, позволяющие сопоставить видимый роботом набор объектов и так называемую семантическую карту, на которой отмечены все объекты и их положения. Имея данное сопоставление можно выполнить локализацию на местности. Основная сложность данной задачи, которая часто носит название распознавание сцен, заключается в том, что объектов обычно сильно больше чем число их классов и различить между собой объекты одного класса зачастую проблематично. Традиционно решается это путём формирования наборов объектов с уникальным расположением относительно друг друга и производится поиск таких наборов [1-3].

С другой стороны, развитие нейросетевых технологий в области технического зрения даёт инструменты сравнения объектов одного класса друг с другом, например путём построения векторов признаков [4]. Эти методы также нашли подход в рассматриваемой задаче локализации [5, 6]. Используется при этом популярная визуально-языковая архитектура CLIP [7]. Данная архитектура показала высокую робастность в задаче векторизации изображений, в том числе за счёт связного обучения на текстовом описании данного изображения.

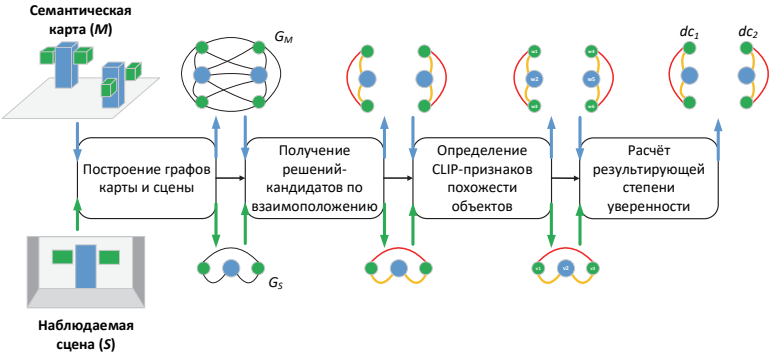


Рисунок 1 — Схема предлагаемого метода

Однако все из перечисленных методов визуальной локализации рассматривают либо уникальность взаиморасположения, либо объектную похожесть, не пытаясь совместить оба источника информации. В данной работе же предлагается расширение ранее предложенного метода распознавания сцен [8, 9] по взаимоположению объектов. Были интегрированы векторные представления объектов, полученные

с помощью архитектуры CLIP. Данные векторные представления участвуют в расчёте степеней уверенности полученных методом решений, для выделения лучшего из них.

Работоспособность предлагаемого метода была проверена на открытом наборе данных KITTY-360, который был адаптирован к задаче распознавания сцен. Поставленные эксперименты показали значительное преимущество в точности в сравнении с другими подходами [1, 6].

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что данный результат достигается именно благодаря комбинации двух подходов, основанных на как на похожести объектов, так и на их взаиморасположении, т.к. точность определения сцен в среднем дважды превышает точность методов, использующих только один критерий.

Литература

1. Y. Liu, Y. Petillot, D. Lane, and S. Wang, «Global Localization with Object-Level Semantics and Topology», in 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), IEEE, May 2019, pp. 4909–4915. doi: 10.1109/ICRA.2019.8794475.

2. J. Ankenbauer, P. C. Lusk, A. Thomas, and J. P. How, «Global Localization in Unstructured Environments using Semantic Object Maps Built from Various Viewpoints», Mar. 2023, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2303.04658.

3. M. Shaheer, J. A. Millan-Romera, H. Bavle, J. L. Sanchez-Lopez, J. Civera, and H. Voos, «Graph-based Global Robot Localization Informing Situational Graphs with Architectural Graphs», Mar. 2023, doi: https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.02076.

4.] K. Ueki, «Survey of Visual-Semantic Embedding Methods for Zero-Shot Image Retrieval», May 2021, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2105.07391.

5. R. Mirjalili, M. Krawez, and W. Burgard, «FM-Loc: Using Foundation Models for Improved Vision-based Localization», Apr. 2023, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2304.07058.

6. S. Matsuzaki et al., «CLIP-Loc: Multi-modal Landmark Association for Global Localization in Object-based Maps», Feb. 2024, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2402.06092.

7. A. Radford et al., «Learning Transferable Visual Models From Natural Language Supervision», Feb. 2021, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2103.00020.

8. А. Д. Московский, «Распознавание сцен для задачи глобальной локализации робота», in Труды 34-й Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника», СПб.,

2023, pp. 267–274.

9. А. Д. Московский, «Распознавание сцен для задач локализации мобильного робота в условиях неопределённости», in Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов XII Международной научно_практической конференции (ИММВ-2024, Коломна, 14-17 мая 2024 г.). В 2-х томах, Коломна: Универсум, 2024, pp. 255–266.

Пространственно-визуальная локализация в карте ключевых кадров

И.С. Фомин

Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, i.fomin@rtc.ru

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России №075-00697-24-00 от 27.12.2023 «Исследование методов создания самообучающихся систем видеонаблюдения и видеоаналитики на базе комплексирования технологий пространственно-временной фильтрации видеопотока и нейронных сетей» (FNRG 2022 0015 1021060307687-9-1.2.1).

Visual-Spatial localization in keyframe map

Ivan S. Fomin

Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics, St. Petersburg, Russia, i.fomin@rtc.ru

Acknowledgements

The work was carried out as the part of the state task of the Russian Ministry of Education and Science «Research of methods for creating self-learning video surveillance systems and video analytics based on the integration of technologies for spatiotemporal filtering of video stream and neural networks» (FNRG 2022 0015 1021060307687-9-1.2.1 №075-00697-24-00 from 27.12.2023).

Алгоритмы совместной локализации и картирования (SLAM) обычно используют стандартные подходы, слабо изменившиеся за десятилетия. Методы с плоскими LiDAR уверенно применяются, например, роботами-пылесосами. В отсутствие трехмерных сенсоров были попытки реализации подходов с трехмерными алгоритмами на основе моно/стереокамеры, комплексированной с различными сенсорами, т.н. визуальный SLAM (например, один из лучших – RTAB-Map [1]). Трехмерные подходы к локализации, например, в беспилотных авто, используют схожие подходы.

Существует другой подход к локализации, основанный на визуальных ориентирах, но требующий заранее измеренной карты. Тогда, определяя азимуты на известные визуальные ориентиры с помощью камеры можно геометрическими методами вычислить положение и ориентацию, как в [2]. Предлагается сделать шаг вперед от второго подхода. Пусть имеется карта ключевых кадров, в каждом из которых виден набор объектов определенных классов. Известны координаты камеры и азимуты всех объектов в момент получения кадра. Тогда, извлекая классы и азимуты объектов в новом кадре и сопоставляя с азимутами в ключевых кадрах карты, можно выбрать наиболее близкий ключевой кадр из полученных при построении карты и таким образом осуществить локализацию.

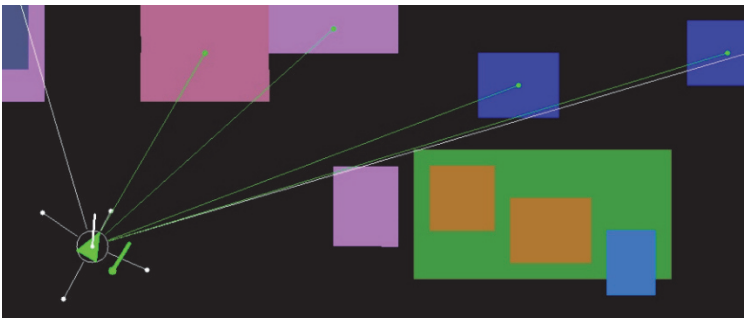


Рисунок 1 — Пример локализации по азимутам в плоской карте

Подход можно применять к плоской карте с известными координатами ориентиров (например, к плоской карте проходимости). Модельный пример работы подхода для фрагмента ортогонального плана помещения с ограниченным полем и углом зрения представлен на рисунке 1. Здесь разными цветами обозначены разные классы объектов, зеленый вектор – направление ближайшего ключевого

кадра в карте, зеленый треугольник – ориентация камеры, белыми линиями ограничено поле зрения.

Очевидно, что, если в карте представлены не объекты на плоскости, а изображения ключевых кадров с известными объектами, направления на которые получаются за счет формул калибровки камеры, аналогичным образом можно осуществить семантическую локализацию или поиск в наборе изображений.

Литература

1. Labbé M., Michaud F. Multi-session visual SLAM for illumination-invariant re-localization in indoor environments //Frontiers in Robotics and AI. – 2022. – Т. 9. – С. 801886

2. Korsakov A. M. et al. Determination of an Unmanned Mobile Object Orientation by Natural Landmarks //AIST (Supplement). – 2016. – С. 91-101.

Искусственный разум робота: функциональность и средства реализации

Л.А. Станкевич

Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, stankevich_lev@inbox.ru

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 075-00697-24-00 от 27.12.2023 «Исследование и разработка биоподобной системы управления поведением мобильных роботов на базе энергоэффективных программно-аппаратных нейроморфных средств».

Artificial mind of robot: functionality and means of realization

Lev A. Stankevich

Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics (RTC), St. Petersburg, Russia, stankevich_lev@inbox.ru

Acknowledgements
The results were obtained as part of the implementation of the state assignment of the Ministry of Education and Science of Russia No. 075-00697-24-00 dated 12/27/2023 «Research and development of a biosimilar system for controlling the behavior of mobile robots based on energy-efficient software and hardware neuromorphic tools».

Понятие искусственного разума разум, как технической имитации разумного поведения человека, было введено в работе [1] и развито в работе [2].

Наряду с искусственным разумом было введено понятие искусственной психики [3], которая, по мнению автора, является единой системой, объединяющей освоенные машинами когнитивные навыки. Предполагается, что искусственная психика может быть основой систем управления роботов, способных обучаться множеству профессий. В определенной степени, это соответствует концепции искусственного разума.

Разум человека является результатом работы мозга. В соответствии с теорией К.В. Анохина, разум может рассматриваться как гиперсеть когов (когнитивных групп, соответствующих единицам субъективного когнитивного опыта) [4]. Полный набор когов, сформированный в процессе познания субъекта назван когнитом. По своей сути когнитом – это не что иное, как гиперсеть, в которой каждой совокупности определенным образом связанных элементов сети нижнего уровня (нейронному ансамблю) соответствует элемент верхнего уровня (ког). Нейронные ансамбли нижнего уровня могут перекрываться, и за счет этого формируются ассоциативные связи между когами, образуя мыслительные цепочки в мозгу.

Искусственный разум – техническая имитация разумного поведения человека, т. е. психических процессов мышления и сознания. При этом искусственный разум проявляется как результат работы искусственного мозга.

Дальнейшее развитие роботов, в особенности гуманоидных, связывается именно с созданием систем искусственного разума, которые способны моделировать мышление и сознание.

В соответствии с теорией, изложенной в работе [5], в системе искусственного разума робота необходимо моделировать не только интеллектные, но и когнитивные и креативные процессы, которые формируются при обучении системы последовательному формирова-

нию целей и их реализации. Для реализации этих процессов предлагается использовать системы продукций, нейронные сети с глубоким обучением, а также нечетко-нейронные и нейроморфные сети.

Литература

1. Л.А. Станкевич, Е.И. Юревич. Искусственный интеллект и искусственный разум в робототехнике. Учебное пособие, Изд-во СПбГПУ, С-Петербург, 2012 г., 166 с.

2. Станкевич Л.А. Когнитивные системы и роботы: монография. – Изд-во Политехнического университета. 2019, – 631 с.

3. Шумский С.А. Машинный интеллект. Очерки по теории машинного обучения и искусственного интеллекта / С.А. Шумский. – М.: РИОР, 2019. – 340 с.

4. Анохин К.В. Гиперсетевая модель мозга. Презентация на конференции по когнитивной науке (17 октября 2014). 2014.

5. Станкевич Л.А. и др. Гуманоидные роботы: монография. – СПб: Медиапапир, 2020, – 310 с.

Концепция робосферы

В.Е. Вавилов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» (ФГБОУ ВО «УУНиТ»), г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, urr98@mail.ru

Благодарности

Работы выполняются при поддержке гранта Минобрнауки России в рамках федерального проекта «Популяризация науки и технологий» от 03.05.2024 года № 075-15-2024-492.

Robosphere concept

Vyacheslav V. Vavilov

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa University of Science and Technology» (FSBEI HE «UUST»), Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia, urr98@mail.ru

Сегодня роботы находят применение в различных сферах жизни, их применение серьезно влияет на ход устоявшихся процессов. В основном применение роботов направлено на обеспечение безопасности человека, снижения его временных затрат на выполнение простых типовых задач, не требующих или требующих мало мышления [1]. С течением времени роботы развиваются и по своим облику и аппаратным возможностям становятся близки к человеку, большую значимость при этом приобретают технологии искусственного интеллекта.

На основании анализа литературы автором установлено, что существует достаточно большое количество роботов, которые выполняют функции живых организмов. Функции живых организмов определяются согласно работам В.И. Вернадского. Установлено, что существуют роботы, выполняющие энергетическую, газовую, концентрационную, окислительно-восстановительную, деструкционную, средообразующую и транспортную функции. Однако, не существует робота, который выполняет все функции живого существа. Наиболее приближен к живому существу робот Energetically Autonomous Tactical Robot [2], выполняющий 6 из 7 функций живого организма. Если указанный робот дополнительно получит деструктивную функцию, то он будет обладать всеми функциями живого существа. Соответственно, робот становится частью биосферы. Таким образом, при проектировании роботов, средой обитания которых является робосфера, необходимо руководствоваться принципами живого организма не зависимо от степени интеллектуализации робота.

При применении вышеуказанного подхода при проектировании роботов важным становится минимизации риска возникновения конкуренции между роботом и человеком, что может достигаться за счет строгого определения и ограничения их популяции.

Альтернативным подходом является не проектирование роботов под биосферу, а формирование робосферы и проектирование роботов под нее. На ряду с понятием робосфера здесь вводится понятие инфосфера, так как анализ литературы показал, что процесса хранения и обработки информации у большинства роботов выносятся на удаленные аппаратные средства. Инфосферу можно рассматривать как просто место хранения информации, так и место где эта информация обрабатывается, формируются сигналы к действию для роботов. Если для роботов определяется отдельная среда существования, робосфера, то на основании вышесказанного взаимосвязанно существуют биосфера, инфосфера и робосфера. Инфосфера при этом выполняет функции накопления опыта и знаний, их эффективного применения для сохранения и развития биосферы. На рис. 1 показано одно из представлений

робосферы, созданной искусственным интеллектом, и являющееся по мнению автора наиболее точно отражающим суть рассуждений.

Рисунок 1 — Механическая характеристика ЭМ с ПМ для электропривода

Проблемой современной робототехники является то, что роботы создаются как отдельные части робосферы, а не взаимоувязанные элементы. Для решения этой проблемы необходимо формирование функций роботов в робосфере. Так, автором предлагается для существующих в робосфере роботов выделить энергетическую, информационную, концентрационную, деструкционную, средообразующую и транспортную функции. Чем меньше функций робота реализовано в робосфере, тем ниже эффективность его пребывания в ней и, соответственно, потенциал к развитию.

Алгоритм проектирования роботов под робосферу предлагается автором как последовательные ответы на ряд вопросов:

1. Какая глобальная сфера обитания робота?
2. Какая микросфера обитания робота?
3. Полезная функция робота в этой сфере в глобальном масштабе? Полезная функция робота для микросферы, в которой он обитает?
4. Как робот использует для своего функционирования сферу обитания? Как он встроен в нее? Что дает она ему? Что он ей?
5. Как в нем выполняются функции обитателя той или иной сферы?
6. Как создание значительной популяции таких роботов изменит сферу их обитания?
7. Необходимо ли предельно ограничивать эту популяцию?
8. Возможные пути эволюции робота.
9. Взаимодействие с инфосферой.

Для опровержения или доказательства изложенных идей автором планируется проведение эксперимента, в котором будут созданы роботы под среду обитанию и исследовано их поведения в среде обитания. Отдельные эксперименты, рассматривающие отдельные выдвинутые тезисы по исследованию поведения роботов в сферах обитания, уже проводятся на базе ПИЩ «Моторы Будущего» ФГБОУ ВО «УУНиТ».

Литература

1. Keating S. J. et al. Toward site-specific and self-sufficient robotic fabrication on architectural scales //Science robotics. – 2017. – Vol. 2. – №. 5.

2. EATR: ENERGETICALLY AUTONOMOUS TACTICAL ROBOT. URL: https://www.robotictechnologyinc.com/images/upload/file/Presentation%20EATR%20Brief%20Overview%206%20April%2009.pdf (дата обращения: 29.08.2024)

Способ нейроуправления мехатронным устройством на примере андроидного робота

А.А. Новиков✉, Ю.О. Лобода, А.П. Калиткин

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), г. Томск, Россия, alexnov031001@gmail.com;

Благодарности

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), ГПО УИ – 2303.

Neurocontrol method for a mechatronic device using the example of an android robot

Aleksandr A. Novikov✉, Yulia O. Loboda, Alexey P. Kalitkin

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR), Tomsk, Russia, alexnov031001@gmail.com

Acknowledgements
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR), GPO IM – 2303.

Под нейроуправлением в данной работе понимается метод управления, осуществленный с помощью считывания нейроинтерфейсом электрической активности мозга человека [1].

Под андроидным роботом подразумевается робот, созданный по подобию человека. Движения робота осуществляются благодаря сервоприводам или гидравлике [2].

Для реализации нейроуправления были созданы две программы: сервер на роботе и клиент на компьютере. Клиент принимает сигналы от нейроинтерфейса и отправляет их серверу, который управляет действиями робота. Программы написаны на Python: сервер работает на Linux, клиент — на Windows. Передача данных осуществляется через модуль socket, так как модуль bluetooth несовместим с Windows. Локальный сервер создан с помощью ThinkGear Connector [3].

Серверная часть использует функции socket и subprocess для обработки сигналов и вызова действий из памяти робота. Клиентская часть подключается к серверам ThinkGear Connector и робота, обрабатывая данные о концентрации и медитации. Алгоритм основан на разнице между этими показателями, сигнал варьируется от 0 до 6 [3].

Методика тестирования эффективности заключалась в выявлении точности соответствия изменения управляющего сигнала состоянию тестируемого человека. То есть какой процент итераций верного распознавания состояния в режиме записи повышенной концентрации или медитации. Исследование проводилось на 4 людях из разных возрастных групп (26 и 49 лет) разных полов (3 мужчины, 1 женщина), включая автора работы, в вечернее время в течении двух дней. Такая малая выборка обусловлена ограничением по времени для данной работы [3].

Испытуемым (Исп.) необходимо было сначала 20 раз поднять уровень концентрации выше уровня медитации, затем 20 раз поднять уровень медитации выше уровня концентрации. Перед каждым испытанием давалось 10 итераций на подготовку. Затем это испытание повторялось еще 4 раза. Совпадения сигналов записывались как неверно распознанное состояние [3].

Результаты представлены в таблице 1.

Результаты показали, что у группы 26 лет точность распознавания была выше 50%, а именно 61.25% для концентрации и 72.25%

для медитации, тогда как у группы 49 лет результаты были менее стабильными. Средняя точность составила 49.125% для концентрации и 64.625% для медитации [3].

Таблица 1 — Результаты тестирования

Дни	Концентрация				Медитация			
	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4	Исп.1	Исп.2	Исп.3	Исп.4
1	19	17	18	14	3	20	8	1
	20	16	4	17	15	20	7	20
	4	16	12	9	16	14	2	20
	19	3	3	2	8	11	9	20
	17	2	7	7	15	15	11	20
2	19	18	2	4	20	20	7	19
	14	7	12	0	10	20	9	11
	14	5	12	0	15	17	4	3
	10	10	5	2	14	15	8	16
	6	9	16	0	16	5	14	19

Необходимо больше испытаний для окончательных выводов [3].

Литература

1. Возможности управления человекоподобным роботом с использованием биоданных / А.А.Новиков [и др.] // Электронные средства и системы управления: Материалы докладов Международной научнопрактической конференции. 2023. № 1-1. С. 298 – 299.

2. Юревич Е.И. Основы робототехники. СПб.: ВНУ, 2020. 302 с.

3. Калиткин А.П. Способ нейроуправления мехатронным устройством на примере андроидного робота: выпускная квалификационная работа. — Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2024.

Увеличение скорости вычислений при компьютерном моделировании движения механической системы

И.М. Портнов✉, А.А. Медведева
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (СПбГМТУ), Санкт-Петербург, Россия, portnovivan2011@mail.ru

Благодарности
Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации программы Научного центра мирового уровня по направлению «Передовые цифровые технологии» СПбГМТУ (соглашение от 20.04.2022 № 075-15-2022-312).

Acceleration of calculations in mechanical system motion simulation

Ivan M. Portnov✉, Angelina A. Medvedeva
Saint Petersburg State Marine Technical University (SPbSMTU), St. Petersburg, Russia, portnovivan2011@mail.ru

Acknowledgements
The research was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of Russia as part of the implementation of the program of the World-Class Scientific Center in the direction of «Advanced Digital Technologies» of SPbGMTU (agreement dated 04.20.2022 № 075-15-2022-312).

Моделирование интересующих объектов позволяет исследовать их с разных сторон, получая все необходимые параметры динамической системы. Однако, так как моделирование требует проведения определенного количества экспериментов, возникает потребность в ускорении этого процесса. В данной работе рассматривается метод ускорения вычислений при физически корректном моделировании изменения положения физической системы в пространстве.

Рассмотрим вариационный интегратор физического маятника на группах Ли, алгоритм представлен на рисунке 1. Этот алгоритм реализован в среде разработки Matlab. Алгоритм выполняется очень долго, для имитации движения объекта в реальном времени мы реализуем алгоритм на C++.

На одном из этапов моделирования необходимо решить систему из 3 уравнений относительно f. Система представлена в векторно-матричном виде в формуле (1).

$$h\Pi_i + \frac{h^2}{2}M = \frac{\sin\|f\|}{\|f\|}JF + \frac{1-\cos\|f\|}{\|f\|^2}(f \times Jf) \quad (1)$$

Систему (1) решаем методом Ньютона, для этого вычисляем якобиан. Вычисляется 9 частных производных, далее вычисляется обратная матрица Якоби и при помощи итерационного процесса (2) вычисляется корень уравнения (1) [1-5].

$$f_{k+1} = f_k - Jac^{-1}(f_k)F(f_k) \quad (2)$$

Следующий этап – вычисление матричной экспоненты (3).

$$F = e^{\hat{f}}, \hat{f} = \begin{pmatrix} 0 & -f_2 & f_1 \\ f_2 & 0 & -f_0 \\ -f_1 & f_0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

По определению матричная экспоненты вычисляется как сумма ряда. Вычисление бесконечного ряда займет бесконечное время, поэтому мы будем вычислять конечное число членов ряда [6-8]. Для этого на каждом шаге вычисляем норму матрицы и сравниваем с заданным числом eps.

Но с данным способом вычисления матричной экспоненты есть проблемы. На каждом шаге необходимо вычислять факториал. Факториал – быстро растущая функция, в целочисленный тип данных в C++ поместиться только факториал 15. Такого количества слагаемых недостаточно для вычисления матричной экспоненты с хорошей точностью, поэтому воспользуемся другим способом.

Матричную экспоненту будем вычислять по формуле Родриго (4).

$$F = e^{\widehat{f_k}} = E_{3\times3} + \frac{\sin(\|f_k\|)}{\|f_k\|}\widehat{f_k} + \frac{1-\cos(\|f_k\|)}{\|f_k\|^2}\widehat{f_k}^2 \quad (4)$$

Расчеты по данной формуле достаточно простые, результат вычисляется быстрее, чем другие методы (метод двойного аргумента, подключение сторонних библиотек для вычисления факториала). Данный способ вычисления матричной экспоненты уменьшил погрешность на два порядка.

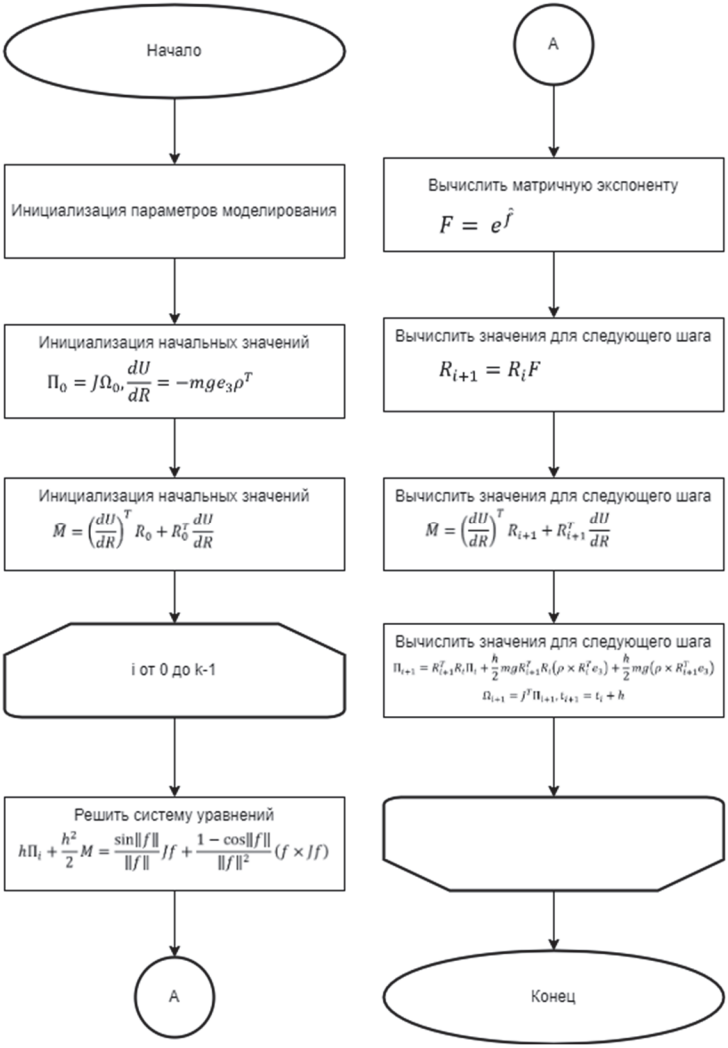


Рисунок 1 — Алгоритм

Эксперименты проводились с 30000 итерациями и шагом интегрирования 0.001. Результаты сравнили с результатами алгоритма, реализованного в Matlab’e. На рисунке 2 представлен график сравнения ошибок C++ и Matlab.

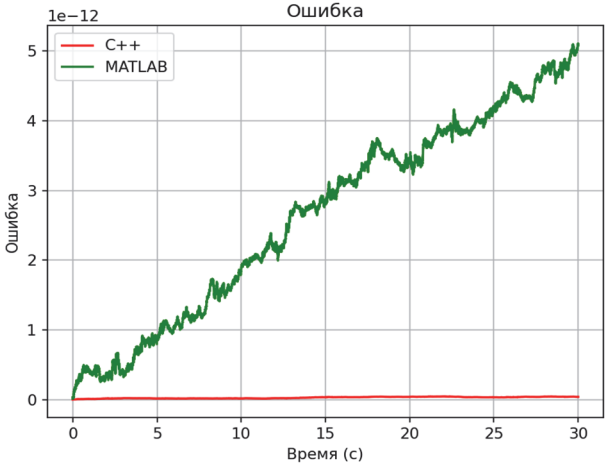


Рисунок 2 — График ошибки

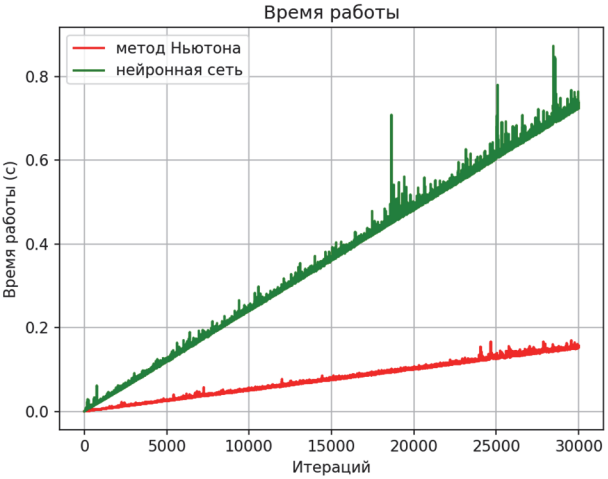


Рисунок 3 — График сравнения

Для ускорения вычислений было решено использовать искусственную нейронную сеть. Это упростит вычисление решения уравнения (1). Достаточно будет передать входные данные в нейронную сеть и путем несложных вычислений получить решение выходного уравнения за один проход [9].

Для искусственной нейронной сети была выбрана следующая структура: 3 входных нейрона, 16 нейронов в первом скрытом слое, 16 нейронов во втором скрытом слое, 3 нейрона в выходном слое.

На рисунке 3 представлен график сравнения времени моделирования при вычислении корней уравнения методом Ньютона и искусственной нейронной сети.

В данной работе был рассмотрен алгоритм для физически правдоподобного моделирования движения трехмерного маятника. Для реализации алгоритма были использованы метод Ньютона и искусственная нейронная сеть. Результаты моделирования сравнили с результатами на Matlab. Разработанный алгоритм выполняется быстрее примерно в 80 000 раз, также ошибка уменьшилась на 2 порядка.

Литература

1. Олвер П. Приложения групп Ли к дифференциальным уравнениям / П. Олвер. — Москва: Мир, 1989. — 639 с.

2. Marsden J.E. Introduction to Mechanics and Symmetry / J.E. Marsden, T.S. Ratiu. — New York: Springer, 1999. — 586 p.

3. Дубровин Б.А. Современная геометрия: В 3 т. / Дубровин Б.А., Новиков С.П., Фоменко А.Т. - Москва: Эдиториал УРСС, 1998-2001.

4. Бураго Ю.Д. Введение в риманову геометрию / Ю.Д. Бураго, В.А. Залгаллер. — Москва: Эдиториал УРСС, 2018. — 320 с.

5. Беляев Ю.Н. Методы вычисления матриц переноса упругих деформаций. // Вестник ПНИПУ. Механика. 2013. №3. с 63-109.

6. Kharevych L., Weiwei Y., Tong Y., Kanso E., Marsden J.E., Schroder P. Geometric, variational integrators for computer animation / Eurographics Symposium on Computer Animation / Austria. — Vienna : Eurographics Association, 2006, pp.43-51.

7. Арнольд В.И. Математические методы классической механики. Москва, Наука, 1989. С. 472.

8. Дубровин Б.А., Новиков С.П., Фоменко А.Т. Современная геометрия: В 3 томах – Т.2 Геометрия и топология многообразий. Москва, Редакция УРСС, 1998. С. 278.

9. Parent R.: Computer Animation: Algorithms and Technoques. Morgan Kaufmann, 2001.

Определение геометрических параметров препятствия на пути мобильного робота с использованием системы технического зрения

В.А. Кравчук✉, А.Е. Архипов
Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, v.kravchuk@rtc.ru

Благодарности
Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России №075-00697-24-00 от 27.12.2023 «Исследование методов создания самообучающихся систем видеонаблюдения и видеоаналитики на базе комплексирования технологий пространственно-временной фильтрации видеопотока и нейронных сетей» (FNRG 2022 0015 1021060307687-9-1.2.1).

Determination of geometric parameters of an obstacle in the path of a mobile robot using a vision system

Vladimir A. Kravchuk✉, Andrey E. Arkhipov
Russian state scientific centre for robotics and technical cybernetics, St. Petersburg, Russia, v.kravchuk@rtc.ru

Acknowledgements
The work was carried out as the part of the state task of the Russian Ministry of Education and Science «Research of methods for creating self-learning video surveillance systems and video analytics based on the integration of technologies for spatiotemporal filtering of video stream and neural networks» (FNRG 2022 0015 1021060307687-9-1.2.1 №075-00697-24-00 from 27.12.2023).

При телеуправлении мобильным роботом, работе его в автономном режиме для построения траектории движения или предотвращения опасных ситуаций первостепенной задачей является преодоление препятствий. Зачастую для этого необходимо знать расположение объекта, его высоту и угол, под которым оно расположено по отношению к камере и управляемому объекту. Определение описанных геометрических параметров можно получить по карте глубины.

Основными методами для ее построения на данный момент являются использование стереокамер, специальных камер глубины и нейронных сетей. Зачастую у стереокамер достаточно высокая погрешность измерений и ее дальность ограничена стереобазой. Специализированные камеры глубины чувствительны к условиям съемки окружающей среды и поверхностям объектов. По этим причинам целью данной работы являлись разработка алгоритма определения геометрических параметров препятствия по изображению с использованием нейронной сети.

В качестве модели для построения карты глубины была выбрана нейронная сеть DepthAnything V2 [1]. Данная сеть строит карту глубины, принимая в качестве входных данных лишь одно изображение, полученное с камеры робота. При подборе сети в работе было проведено сравнение с DepthAnything V1 [2]. Выбор модели данного семейства был обусловлен ее высокими показателями точности.

Однако, нейронная сеть Depth Anything не позволяет получить карту глубины с действительными значениями расстояний в качестве выходных параметров. Для решения этой проблемы в работе применялся лазерный дальномер, позволяющий получить одно измерение расстояния до какого-либо объекта. Затем был создан алгоритм, позволяющий с помощью одного измерения получить из карты глубины, построенной нейронной сетью DepthAnything, карту глубины с абсолютными значениями расстояний. Для оценки эффективности алгоритма и возможности его применения использовались карты глубины, полученные с камеры RealSense для нескольких исследуемых изображений.

Для выделения препятствия на изображении разработан алгоритм, позволяющий найти на полученной карте глубины контур препятствия. Вместе с тем, было проведено сравнение работы данного алгоритма с нейронной сетью SAM [3] для автоматического определения преграды или препятствия. Разработан алгоритм, позволяющий определить истинные размеры препятствия на основании его пиксельных размеров, угол поворота преграды, а в некоторых случаях ее глубины. Предложенный в работе подход позволяет определять препятствия и их размеры с минимальным набором вспомогательных устройств, что обеспечивает эффективность работы и снижение экономических затрат.

Литература

1. Depth Anything V2 [Электронный ресурс] – 2024. URL: https://arxiv.org/pdf/2406.09414.

2. Yang L. et. al. Depth Anything: Unleashing the Power of Large-Scale Unlabeled Data // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2024. – С. 10371–10381.

3. Kirillov A. et. al. Segment Anything // Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. – 2023. – С. 4015 – 4026.

Управление роботом с волнообразными движителями для отслеживания подводного трубопровода с применением НС в виртуальной среде

Авс Ахмад, А.С. Ющенко

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Москва, Россия, aws.ahmad318@gmail.com, yusch@bmstu.ru

Благодарности

Размещается информация о финансовой поддержке исследования (финансирующая организация, номер гранта или проекта и т.д.).

Robot control for underwater pipeline tracking using neural networks in a virtual environment

Aws Ahmad, Arkady S. Yuschenko

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bauman Moscow State Technical University» (BMSTU), Moscow, Russia, aws.ahmad318@gmail.com, yusch@bmstu.ru

Acknowledgements

The «Acknowledgments» section contains information on the financial support of the research (funding organization, grant or project number, etc.).

Глубокое обучение активно используется для решения задач компьютерного зрения, таких как обнаружение или сегментация объектов в сложных условиях, и играет важную роль в современной робототехнике. Интеграция моделей глубокого обучения в системы управления

роботами открывает новые возможности для автоматизации и повышения эффективности их работы, что было отмечено в ряде исследований [1, 2]. В рамках данной работы мы интегрировали существующую модель нейронных сетей для сегментации с системой управления робота с волнообразным движением [3]. Виртуальная среда Unity3D используется для создания реалистичной подводной сцены, в которой моделируется взаимодействие робота с трубопроводом. Модель робота, реализованная в MATLAB, позволяет точно симулировать его поведение и реакцию на окружающую среду.

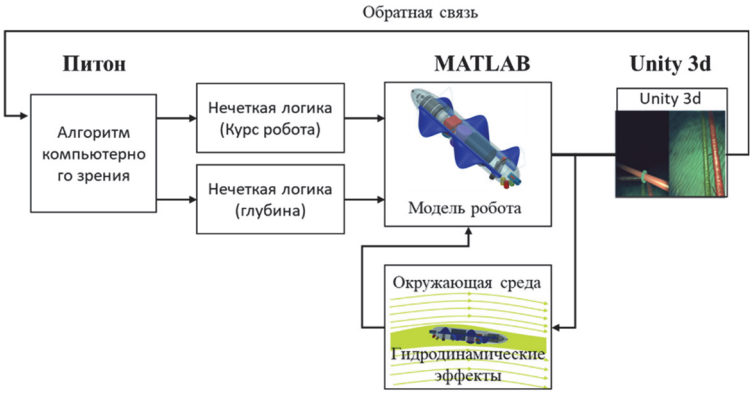


Рисунок 1 — Схема системы управления

Ключевым элементом данной работы является интеграция модели глубокого обучения YOLOv8 с системой управления роботом [3]. После обнаружения трубопровода с использованием модели YOLOv8, результаты сегментации используются для определения ошибки в ориентации робота и расстояния до центра трубопровода. Система управления в MATLAB затем стремится компенсировать эту ошибку, обеспечивая эффективное отслеживание трубопровода и корректировку движения робота вдоль него.

На рисунке 1 показана предлагаемая схема системы управление роботом. После обучения модели YOLOv8 на собранном датасете была достигнута высокая точность — 95% на тестовом наборе данных.

Далее модель использовалась для оценки ошибок в ориентации, выраженных в виде параметров $\Delta\theta$ (дельта тета) и d, где d представляет собой коэффициент расстояния в диапазоне [-10, 10], и были рассмотрены разные ситуации, когда трубопровод не прямой, а

имеет изгиб. В таких случаях алгоритм оценки адаптируется, чтобы учесть изменение направления трубопровода (рис. 2).

Через TCP-сервер результаты Δθ и d передавались в MATLAB, где с помощью нечеткой логики эти значения преобразовывались в управляющие опорные сигналы (курс и линейная скорость робота [3]) для системы управления роботом. Преобразование осуществлялось на основе правил, приоритетом которых является сначала уменьшение расстояния до трубопровода, а затем движение вдоль него с минимальной ошибкой по ориентации.

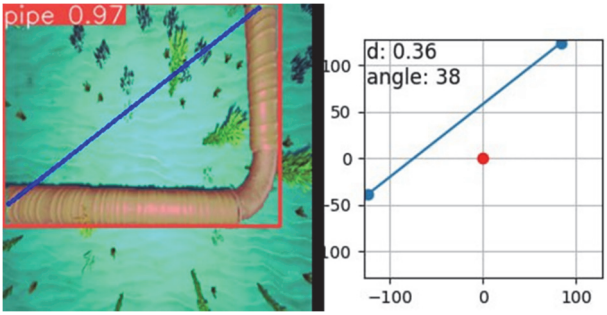


Рисунок 2 — Оценка ошибки по ориентацию и расстоянию

Полученные результаты демонстрируют эффективность предложенного метода отслеживания трубопровода, подтверждая его способность успешно адаптироваться к изменениям направления трубопровода и поддерживать стабильное движение робота вдоль трубы. Однако анализ данных показал наличие шума в оценке параметров Δθ и d, что приводит к резким изменениям в значениях этих параметров. Для улучшения точности и плавности управления роботом рекомендуется внедрение соответствующих фильтров, которые помогут сгладить резкие колебания и повысить устойчивость системы.

Литература

1. Zhang, X., Wang, Y., & Li, H. (2020). Deep Learning-Based Object Detection for Robotics: A Review. IEEE Transactions on Robotics, 36(4), 981-1004.

2. Wang, Z., Liu, Q., & Zhang, Y. (2019). Applications of Deep Learning in Autonomous Underwater Vehicles: A Survey. IEEE Access, 7, 94403-94419.

3. Ахмад А., Ющенко А.С. Метод управления подводным роботом с волнообразным движителем с использованием активного подавления помех и нечеткой логики. Мехатроника, автоматизация, управление. 2023;24(9):469-480.

Правило обучения для спайковых нейронных сетей, основанное на регуляции аксональных задержек

К.А. Гарамов✉, С.А. Лобов
ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» (БФУ им. И. Канта), Калининград, Россия, konstantingaramov@gmail.com

Благодарности
Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (грант номер 24-19-00433).

Delay-based learning rule for spiking neural networks

Konstantin A. Garamov✉, Sergey A. Lobov
Immanuel Kant Baltic Federal University (BFU), Kaliningrad, Russia, konstantingaramov@gmail.com

Acknowledgements
This work was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 24-19-00433).

Спайковые (импульсные) нейронные сети являются одним из перспективных направлений развития искусственного интеллекта, получившим широкую популярность в последнее время. Будучи асимметричными по времени сетями, они имеют особенно большой потенциал в автономной робототехнике, поскольку способны к изменению своих параметров (обучению) в реальном времени, концептуально являются более энергоэффективными за счет асинхронности и булевой природы сигнала, а также уникальных свойств избирательности к временным паттернам [1].

Существует множество правил обучения спайковых нейронных сетей, одним из базовых является пластичность, зависящая от момента появления импульса (Spike Timing-Dependent Plasticity, STDP). Это правило обеспечивает наличие локальной пластичности, основанной на локальных переменных. В зависимости от последовательности и временного различия генерации спайков пре- и постсинаптическим нейроном, связь может потенцироваться или ослабляться. Иными словами, аналогично большинству других правил обучения спайковых и сетей, основанных на формальных нейронах, изменяется вес связи - некоторое число от 0 до 1, масштабирующее вход на постсинаптический нейрон с пресинаптического.

В своей работе мы предлагаем новое правило обучения, основанное не на изменении веса связи, а на регуляции аксональной задержки между нейронами. Как и в случае STDP, основной механизм основан на локальных переменных. При возникновении последовательности спайков пре-, затем постсинаптического нейрона, значение задержки уменьшается. При обратной последовательности, задержка увеличивается. Динамика изменения задержки устроена таким образом, что наибольшее изменение достигается при значении локальной переменной, равной половине ее максимального значения - в предлагаемой системе оно равно единице. В других случаях изменение стремится к нулю при приближении к противоположному спайку, чтобы обеспечить затухание скорости изменения задержки и отсутствие возможности преодоления временной границы возникновения спайка. Изменение также стремится к нулю для пар спайков, расположенных далеко друг от друга во времени. В общем виде система имеет вид:

$$\Delta d^{-} = \left(1 - y_j\right) \cdot y_j \cdot d \cdot \lambda^{-}, \text{если} t = t_i^{sp}$$

$$\Delta d^{+} = (1 - y_i) \cdot y_i \cdot \left(1 - \frac{d}{\Delta t_j}\right) \cdot \lambda^{+}, \text{если} t = t_j^{sp}$$

где d – значение задержки в синапсе; i – пресинаптический нейрон; j – постсинаптический нейрон; y – значение локальной переменной; λ — скорость обучения.

В нашем исследовании показано, что спайки разных нейронов, генерация которых происходит в разное время, могут быть синхронизированы. Мы считаем, что предлагаемое правило может быть использовано в приложении к нейроморфному компьютерному зрению в качестве классификатора динамических визуальных образов.

Литература

1. Lobov, S. A., Chernyshov, A. V., Krilova, N. P., Shamshin, M. O., & Kazantsev, V. B. (2020). Competitive learning in a spiking neural network: Towards an intelligent pattern classifier. *Sensors*, *20*(2), 500. https://doi.org/10.3390/s20020500.

Фазовое кодирование, хранение и распознавание информации в спайковых нейронных сетях

Н.Д. Ефимова✉, В.Б. Казанцев
«Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ), г. Долгопрудный, Московская обл., Россия, efimova.nd@phystech.edu

Благодарности
Работа поддержана Российским научным фондом (проект 23-11-00134).

Phase coding, storage and retrieval of information in spiking neural networks

Natalia D. Efimova✉, Victor B. Kazantsev
«Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University)» (MIPT), Dolgoprudny, Moscow region, Russia, efimova.nd@phystech.edu

Acknowledgements
This work was supported by the Russian Science Foundation (project No. 23-11-00134).

Как в биологических, так и в искусственных нейронных системах, память и обучение являются фундаментальными процессами, лежащими в основе когнитивных функций, таких как восприятие, принятие решений и решение задач [1]. Ассоциативная память - тип памяти, позволяющий восстанавливать сохраненную информацию на основе частичного или зашумленного входного сигнала. Одной из наиболее известных моделей ассоциативной памяти является сеть Хопфилда - тип рекуррентной нейронной сети, представленной Дж. Хопфилдом в 1982 году. Модель Хопфилда представляет собой

аттракторную сеть, в которой восстановление информациидостигается за счет того, что динамика сети ассоциативной памяти стремится к локальным минимумам энергетической функции системы, соответствующим сохраненным паттернам памяти [2].

Модель Хопфилда имеет определенные ограничения, такие как наличие бинарных нейронов, принимающих только два состояния - активное или неактивное. Реальные биологические нейроны характерны спайковой (т.е. импульсной) активностью, посредством электрических импульсов происходит информационное взаимодействие нейронов. Кроме того, модель Хопфилда не отражает в полной мере динамические и временные аспекты нейронных вычислений, наблюдаемые в биологических системах. Эти ограничения послужили стимулом для создания более совершенных моделей сетей, включающих спайковые нейроны и временную динамику, для создания более биологически правдоподобных и вычислительно эффективных сетей ассоциативной памяти [3].

Спайковые нейроны позволяют нейронной сети производить сложные вычисления биологически правдоподобным способом, а также позволяют использовать время спайков для кодирования и обработки информации [4]. Ключевое преимущество заключается в том, что спайковые нейроны могут обеспечить высокий объем памяти, надежную коррекцию ошибок и стабильные ритмические паттерны спайков, которые совпадают с неподвижными точками системы. Такая надежность имеет решающее значение для обеспечения устойчивости нейронных вычислений к возмущениям, что делает нейронные сети со спайковой активностью необходимыми для реализации моделей ассоциативной памяти.

Информация в спайковых нейронных сетях может быть закодирована в виде относительной фазы генерации спайков, т.е. времёнами возникновения спайков на пре- и постсинаптическом нейронах. Примерами нейрофизиологических процессов, подтверждающих важность фазы импульса как информационной характеристики в сетях мозга, являются фазовая прецессия в гиппокампе, фазовое кодирование и др. [5, 6]. Также известно, что спайковые нейронные сети способны поддерживать ассоциативную память на основе эффекта фазового захвата [7].

Обучение спайковых нейронных сетей возможно за счет механизма синаптической пластичности - процесса, лежащего в основе обучения и запоминания в нейронных сетях мозга. Классической моделью пластичности, используемой при обучении, является STDP (от английского spike-timing-dependent-plasticity) пластичность. Она

заключается в изменении веса связи в зависимости от относительных времен возникновения спайков на пре- и постсинапсе, и управлять относительной фазой в модели STDP не представлялось возможным. Поэтому нами предложена модель фазоселективной синаптической пластичности, которая, подобно STDP, зависит от времени прихода спайка, и позволяет точно настраивать фазу генерации относительного спайка между двумя нейронами для достижения желаемого контрольного значения [8-10].

В данной работе мы также предлагаем математическую модель двухслойной спайковой нейронной сети на основе нейронов Ходжкина-Хаксли [11], способной к восстановлению бинарных изображений по принципу ассоциативной памяти. Восстановление запомненных паттернов из зашумленного сигнала обеспечивается Хеббовским правилом обучения [2], что приводит либо к синфазному, либо противофазному режимам осцилляций нейронов. При этом бинарные информационные паттерны кодируются синфазными и противофазными значениями фазы спайков нейронных осцилляторов.

Литература

1. Dayan P. Theoretical Neuroscience: Computational and Mathematical Modeling of Neural Systems. / P. Dayan, L. F. Abbott. - MIT Press, 2001.

2. Hopfield J. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. - 1982. - V. 79. - P. 2554-2558. doi:10.1073/pnas.79.8.2554.

3. Amit D. J., Gutfreund H., Sompolinsky H. Spin-glass models of neural networks. // Physical Review A. - 1985. - V. 32(2). - P. 1007-1018. doi:10.1103/PhysRevA.32.1007. doi:10.1103/PhysRevA.32.1007.

4. Gerstner W.. Spiking Neuron Models: Single Neurons, Populations, Plasticity. / W. Gerstner, W. M. Kistler. - Cambridge University Press, 2002.

5. O'Keefe J., Recce M. L. Phase relationship between hippocampal place units and the EEG theta rhythm. // Hippocampus. - 1993. - V. 3. - P. 317–330. doi:10.1002/hipo.450030307.

6. Masquelier T. [et al.]. Oscillations, Phase-of-Firing Coding, and Spike Timing-Dependent Plasticity: An Efficient Learning Scheme. // J. Neurosci. 2009. V. 29. P. 13484-13493. doi:10.1523/JNEUROSCI.2207-09.2009.

7. Kazantsev V., Pimashkin A. Forced phase-locked states and information retrieval in a two-layer network of oscillatory neurons with directional connectivity. // Phys. Rev. E. - 2007. - V. 76:031912. doi:10.1103/PhysRevE.76.031912.

8. Kazantsev V., Tyukin I. Adaptive and Phase Selective Spike Timing Dependent Plasticity in Synaptically Coupled Neuronal Oscillators. // PLoS ONE. - 2012. - V. 7: e30411. doi:10.1371/journal.pone.0030411.

9. Leonov G., Kuznetsov. N. Nonlinear Mathematical Models of Phase-Locked Loops. - Cambridge: Cambridge Scientific Publisher, 2014.

10. Efimova N., Tyukin I., Kazantsev V. Spiking phase control in synaptically coupled Hodgkin–Huxley neurons. // Chaos Solitons Fractals. - 2024. - V. 185: 115060. doi:10.1016/j.chaos.2024.115060.

11. Hodgkin A., Huxley A. A Quantitative Description of Membrane Current and its Application to Conduction and Excitation in Nerve. // J. Physiol. - 1952. - V. 117. - P. 500-544. doi:10.1113/jphysiol.1952.sp004764.

Модель спайковой нейронной сети центрального генератора ритма шагающего робота

Н.А. Ковалев✉, А.В. Губа, В.Б. Казанцев

Федеральное Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ), г. Долгопрудный, Московская обл., Россия, kovalev.na@phystech.edu

Благодарности

Работа поддержана Российским научным фондом (проект 23-11-00134).

Spiking neuronal network model of central pattern generator of legged robot

Nikolay A. Kovalev✉, Artem V. Guba, Viktor B. Kazantsev

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University)» (MIPT), Dolgoprudny, Moscow Region, Russia, kovalev.na@phystech.edu

Acknowledgements
The reported study was funded by Russian Science Foundation (project №. 23-11-00134).

В последние десятилетия нейросети значительно развились и проникли во все сферы человеческой жизни. Естественным продолжением этого прогресса стали спайковые нейросети, которые обеспечивают большую энергоэффективность и обладают большими вычислительными возможностями. Эти модели нейросетей открывают новые перспективы для моделирования процессов, происходящих в организмах человека и животных [1].

В данной работе была разработана модельная нейросеть, иннервирующая задние конечности животных, основанная на принципах природоподобного моделирования. Она включает нервно-мышечный модуль и модель центрального генератора паттернов. Центральный генератор ритма (ЦГР) в нашей модели состоит из двух подцентров, которые взаимодействуют друг с другом и с мотонейронами [2].

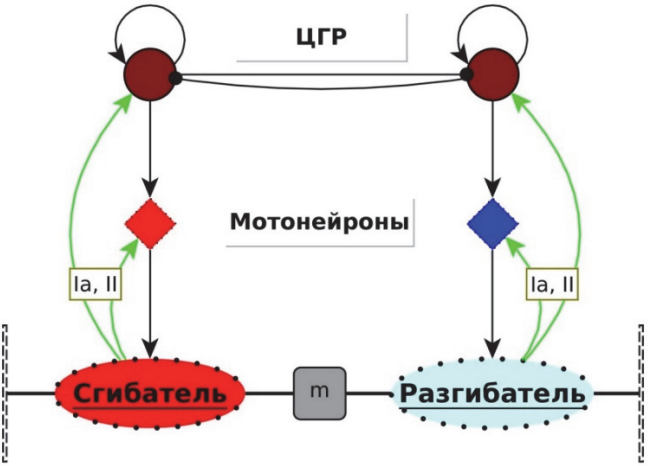


Рисунок 1 — Схема моделируемой сети

Также в исследовании рассматривается сенсорная обратная связь, необходимая для регулирования параметра шага и стратегии ходьбы [3]. Мы сосредоточились на проприорецепции типов Ia и II, так как эти типы существенно влияют на локомоцию, и смоделировали их на основе экспериментальных данных [4].

Нейроны были смоделированы с использованием модели Фицхью - Нагумо [5], а мышцы и нервно-мышечные синапсы — с применением упрощенной модели, представленной в [7]. Полученная модель адекватно описывает нервный импульс в мотонейронах и мышечный отклик при движении конечностей. В будущем планируется использование данной сети в качестве элемента системы управления биоморфных шагающих роботов.

В ходе моделирования и компьютерное симуляции получен периодический паттерн движения системы. При включении проприорецептивного отклика возникает частотно-фазовый сдвиг. Такая обратная связь позволяет адаптивным образом переконфигурировать паттерн управления движением конечности применительно к биоморфным шагающим роботам, например, роботу-собаке.

Литература

1. Yamazaki, K., Vo-Ho, V.-K., Bulsara, D., & Le, N. (2022). Spiking Neural Networks and Their Applications: A Review. 12(7), 863. https://doi.org/10.3390/brainsci12070863.

2. Rybak, I. A., Ivashko, D. G., Prilutsky, B. I., Lewis, M. A., & Chapin, J. K. (2002). Modeling neural control of locomotion: Integration of reflex circuits with CPG. Lecture Notes in Computer Science, 99–104. https://doi.org/10.1007/3-540-46084-5_17.

3. Markin S. N., Klishko, A. N., Shevtsova, N. A., Lemay, M. A., Prilutsky, B. I., and Rybak, I. A. (2010) Afferent control of locomotor CPG: Insights from a simple neuro-mechanical model. Annals of the New York Academy of Sciences, 1198(1), 21–34. https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05435.x.

4. Prochazka, A., Gillard, D., & Bennett, D. J. (1997). Implications of positive feedback in the control of movement. Journal of Neurophysiology, 77(6), 3237-3251. https://doi.org/10.1152/jn.1997.77.6.3237.

5. FitzHugh R. (1955) Mathematical models of threshold phenomena in the nerve membrane. Bull. Math. Biophysics, 17:257—278.

6. Wilson, E., Rustighi, E., Newland, P. L., & Mace, B. R. (2011). A comparison of models of the isometric force of locust skeletal muscle in response to pulse train inputs. Biomechanics and Modeling in Mechanobiology, 11(3–4), 519–532. https://doi.org/10.1007/s10237-011-0330-2.

Нейроморфный механизм управления заданием по результатам анализа ситуации

В.В. Иванова✉, А.А. Демчева, А.М. Корсаков
Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, v.ivanova@rtc.ru

Благодарности
Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 075-00697-24-00 «Исследование и разработка биоподобной системы управления поведением мобильных роботов на базе энергоэффективных программно-аппаратных нейроморфных средств» (FNRG-2022-0016 1021060307690-3-1.2.1;2.2.2).

Neuromorphic task management mechanism based on the results of the situation analysis

Victoria V. Ivanova✉, Alexandra A. Demcheva, Anton M. Korsakov
Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics (RTC), St. Petersburg, Russia, v.ivanova@rtc.ru

Acknowledgements
The work was carried out as the part of the state task of the Russian Ministry of Education and Science №075-00697-24-00 «Research and development of a biosimilar sys-tem for controlling the behavior of mobile robots based on energy-efficient soft-ware and hardware neuromorphic tools» (FNRG-2022-0016 1021060307690-3-1.2.1;2.2.2).

В настоящей работе рассматривается возможность построения нейроморфного механизма управления заданием (НМУЗ) для автономных мобильных роботов, построенной на сегментной спайковой модели нейрона CSNM. Концепция построения такой системы предполагает использование отдельных информационно-управляющих элементов, набор которых и задаёт требуемое поведение объекта (мобильного робота).

Для построения НМУЗ использовались такие информационно-управляющие элементы, как нейроморфный детектор нештатной ситуации [1]; логические элементы «И», «ИЛИ» и «НЕ»; нейроморфный экстраполятор [2]; а также схема формирования условного рефлекса [3].

НМУЗ является частью системы управления (СУ), которая приведена на рисунке 1. Конечной задачей мобильного робота на данном этапе работы являлось движение на комфортном расстоянии от препятствий в помещении с перегородками.

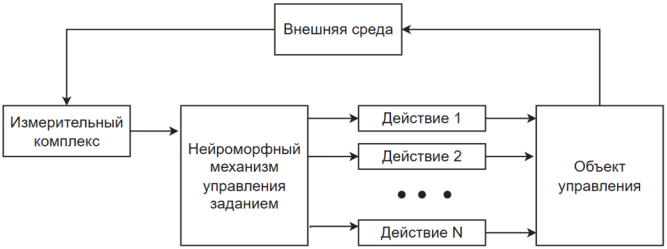


Рисунок 1 — Система управления для автономного мобильного робота

На основе принятого НМУЗ задания, объект управления (мобильный робот) мог совершать одно из четырех выбранных действий: движение вперёд, поворот налево, поворот направо и остановка.

Натурные испытания на реальном мобильном роботе проводились в условиях ограничения функциональных возможностей рассматриваемого в статье нейроморфного механизма. Исходя из этого, в качестве цели натурных испытаний была выбрана демонстрация способности робота к обучению на примере его движения на «комфортном» расстоянии от препятствий. Результаты экспериментов показали принципиальную применимость предложенного нейроморфного механизма управления заданием по результатам анализа ситуации.

Литература

1. Корсаков А.М., Астапова Л.А., Бахшиев А.В. Применение сегментной спайковой модели нейрона со структурной адаптацией для решения задач классификации // Информатика и автоматизация. 2022. Т. 21. №3. С. 493–520.

2. Демчева А.А., Корсаков А.М., Фомин И.С. и др. Предупреждение возникновения критических ситуаций в сложных технических системах с использованием нейроморфного подхода // Робототехника и техническая кибернетика. 2023. Т. 11. №4. С. 281–291.

3. Корсаков А.М., Бахшиев А.В., Астапова Л.А., Станкевич Л.А. Реализация поведенческих функций на спайковых нейронных сетях // Информатика и автоматизация. 2021. Т. 20. №3. С. 590–621.

Синхронизация в спайковой нейронной сети модели оливо-мозжечковой системы формирования моторных паттернов

Е.М. Смагина✉, В.Б. Казанцев

Федеральное Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ), г. Долгопрудный, Московская область, Россия, smagina.em@phystech.edu

Synchronization in a spiking neural network model of the olivo-cerebellar system for motor pattern formation

Elizaveta M. Smagina✉, Viktor B. Kazantsev

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University)» (MIPT), Dolgoprudny, Moscow Region, Russia, smagina.em@phystech.edu

Оливо-мозжечковая система играет ключевую роль в моторной координации и принятии решений, а также временной обработке сенсомоторной информации. Исследование этой системы имеет большое значение для понимания механизмов моторного контроля и обучения и создания более эффективных нейропротезов и систем искусственного интеллекта управления движением. В работе используется комбинация теоретического анализа и компьютерного моделирования. Целью данного исследования является разработка математической модели формирования и перестройки синхронных режимов колебаний спайковых нейронов, управляющих динамикой

моторных паттернов применительно к построению системы управления шагающим роботом.

Структура оливо-мозжечковой системы представлена набором билатерально симметричных нижних ядер оливы и накладывающимся на них мозжечком. Две эти структуры связаны друг с другом через аксональные пути внутри мозжечковых ножек посредством самого мощного синаптического контакта в мозге, так называемого синапса лазящего волокна, устанавливающего возбуждающий контакт с нейронами, находящимися в коре мозжечка — клетками Пуркинье. Клетки Пуркинье формируют тормозные синапсы с нейронами мозжечковых ядер. Последние существуют в двух вариациях – половина возбуждающих и половина тормозных. Тормозные нейроны мозжечковых ядер возвращаются к нейронам нижних олив, регулируя электротоническую связь между ними через щелевые контакты. Возбуждающие, в свою очередь, оказывают влияние на другие структуры головного и спинного мозга.

Функционально, внутренняя активность оливо-мозжечковой системы поддерживается подпороговыми колебаниями нейронов нижней оливы с частотой около 10 Гц. Потенциал действия в них возникает на пике деполяризации этих колебаний. Двигательный контроль осуществляется за счет синхронизированной активации групп нейронов, представляющих собой фазово-координированные колебательные кластеры. Осцилляторные свойства этих нейронов также обуславливают непрерывность двигательной организации [1].

Эти свойства может описать математическая модель, предложенная Казанцевым В.Б. [2].

Проведенные вычислительные эксперименты по расчету мембранного потенциала нейронов нижней оливы отражают их электрофизиологические характеристики и говорят о возможности расширения модели до большего количества составляющих. Разработана модель связи пары нейронов, проведены исследования эффекта синхронизации и разрыва связи.

Дальнейшее развитие исследования предполагает создание нейронной сети, реализующей функции моторной координации и принятия решений, разработку алгоритмов ее обучения, и использование в качестве функционального блока управления робототехническими системами.

Литература

1. R. Llinás, “The olivo-cerebellar system: a key to understanding the functional significance of intrinsic oscillatory brain properties”, Frontiers in neural circuits, vol. 7, no. 96, pp. 1-13, Jan. 2014.
2. V. B. Kazantsev, V. I. Nekorkin, V. I. Makarenko, and R. Llinás, «Olivo-cerebellar cluster-based universal control system», Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 100, no. 22, pp. 13064-13068, Oct. 2003.

Мультимодальные нейросетевые модели в разуме робота

С.Ф. Сергеев[1]✉, А.В. Сергеев[1], Е.П. Екшина[2]
[1]Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, ssfpost@mail.ru, etechnician@gmail.com
[2]Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, st094425@student.spbu.ru

Multimodal Neural network models in the robot's mind

Sergey F. Sergeev[1]✉, Alexey V. Sergeev[1], Elizaveta P. Ekshina[2]
[1]Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics, St. Petersburg, Russia, ssfpost@mail.ru, etechnician@gmail.com
[2]St Petersburg University, St. Petersburg, Russia, st094425@student.spbu.ru

Мультимодальные нейросетевые модели представляют собой системы, которые могут обрабатывать и интегрировать информацию, поступающую из различных источников данных (например, текст, изображения, звуки) для более полного понимания окружающей среды и принятия решений [1]. Эти модели стремятся имитировать человеческое восприятие, где разные типы данных объединяются для создания целостного представления о мире.

Мультимодальные нейросетевые модели позволяют сформировать в роботах динамическую эгоцентрическую картину мира, обеспечивающую их более эффективное взаимодействие с окружающей средой и пользователями, комбинируя визуальную, аудиальную и текстовую информацию [2, 3].

Такие модели позволяют роботам лучше понимать и создавать собственный контекст и принимать на его основе более точные и обоснованные решения и действия.

Использование мультимодальных моделей в интерфейсах позволяет улучшить взаимодействие между человеком и роботом, делая его более естественным и интуитивным. Примеры применения включают распознавание речи и жестов, анализ визуальной информации в реальном времени, а также понимание и генерацию текста.

Преимущества использования мультимодальных моделей в робототехнике заключаются в улучшении качества восприятия информации, увеличение точности и скорости принятия решений, повышение уровня автономности и гибкости роботов.

Проблемы в использовании данного класса моделей связаны с обучением и оптимизацией [4] моделей, что требует больших вычислительных ресурсов. Возможны проблемы с интерпретацией и объяснением решений, принятых такими моделями, возможны искажения данных и влияние темных паттернов, включенных в тексты, на основе которых проводится первоначальное обучение. Модель, включенная в конкретную среду деятельности под действием регулярных факторов не ситуационной природы, может получать и ошибочно интерпретировать информацию о ее эволюции и результатах. По мере накопления онтологического опыта модели может возникнуть личностное поведение робота, наделенного сетевым разумом на основе генеративной модели. Возникающая личность может демонстрировать деструктивное поведение, включающее индивидуальные отклонения от нормы.

Заключение

Мультимодальные нейросетевые модели играют ключевую роль в развитии интеллекта роботов, обеспечивая более глубокое понимание окружающей среды и улучшая взаимодействие с людьми. Несмотря на существующие вызовы и проблемы, дальнейшее развитие этих моделей обещает значительное повышение эффективности и функциональности робототехнических систем и является перспективным направлением развития индивидуального разума робота.

Литература

1. Журавлёв Д.В., Смолин В.С. От чуда нейронных сетей – к идеям для AGI // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности: труды 7-й Международной конференции (15-17 февраля

2024 г., Москва). М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2024. С. 96-124. DOI:10.20948/future-2024-2-2.

2. Urain, J., Mandlekar, A., Du, Y., Shafiullah, M., Xu, D., Fragkiadaki, K., ... & Peters, J. (2024). Deep Generative Models in Robotics: A Survey on Learning from Multimodal Demonstrations. arXiv preprint arXiv:2408.04380.

3. Katara P., Xian Z., Fragkiadaki K. Gen2sim: Scaling up robot learning in simulation with generative models //2024 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – IEEE, 2024. – С. 6672-6679.

4. Ruslan Salakhutdinov Learning Deep Generative Models Annu. Rev. Stat. Appl. 2015. 2:361–85. DOI: 10.1146/annurev-statistics-010814-020120.

Автоматизация процесса подготовки данных для обучения нейронных сетей классификации гиперспектральных данных объектов

В.А. Юдаев✉, А.А. Комиссаров , А.С. Егоров
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), г. Тамбов, Россия, pt-arta@yandex

Благодарности
Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта «Разработка роботизированного комплекса наземной и воздушной беспилотных платформ для применения в агротехнологиях» (ЕГИСУ НИОКТР: 124062100023-3).

Automation of the process of data preparation for training neural networks for classification of hyperspectral data of objects

Victor A. Yudaev✉, Artem A. Komissarov, Andrey S. Egorov
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State Technical University» (FSBEI VO «TSTU»), Tambov, Russia, pt-arta@yandex

Acknowledgements
The study was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the project «Development of a robotic complex of ground and air unmanned platforms for use in agricultural technologies» (EGISU NIOKTR: 124062100023-3).

Системы технического зрения активно внедряют в различные области деятельности человека. В сельском хозяйстве они находят применение для автоматизированного контроля качества овощей и фруктов.

В настоящее время развитие современных технологий контроля состояния растений используют на разных стадиях производственного цикла. Применение систем технического зрения позволяет выявить дефекты на ранних стадиях ее появления: болезни, гниль.

Для мониторинга этапа роста производственного цикла растений в качестве сенсоров применяют камеры видимого, а также мульти- и гиперспектрального диапазона. В свою очередь для классификации данных можно использовать как традиционные методы (каскад Хаара) [1], так и применение сверточных нейронных сетей. Однако применение данных методов для определения болезней растений с использованием камер видимого диапазона недостаточно, поскольку происходит ошибочная классификация тканей растений, не относящихся к дефектам (например, плодоножка и чашелистик у яблока). Гиперспектральные камеры в свою очередь дают избыточную информацию по широкому спектральному диапазону, что негативно сказывается на общему быстродействию системы. Недостатком мультиспектральных камер является ограниченный диапазон получаемых данных, что влияет на обучение нейронной сети (недостаточность признаков классификации). В связи с перечисленными способами и методами получения и обработки информации наиболее эффективным способом был выбран метод предварительного сбора данных с помощью гиперспектральной камеры для установления основных значимых диапазонов для классификации данных тканей растений и болезней, для дальнейшего использования мультиспектральной камеры с набором фильтров с применением сверточной нейронной сети [2]. Использование такой камеры позволяет удешевить стоимость системы технического зрения для использования в сельскохозяйственном производстве.

Программное обеспечение гиперспектральных камер позволяет сохранять данные в виде гиперспектрального куба (см. рис. 1).

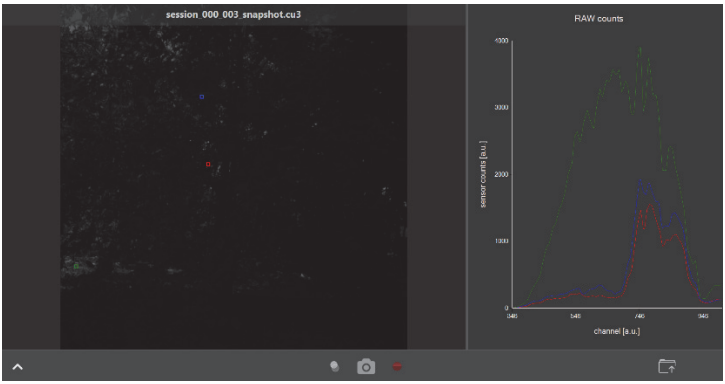


Рисунок 1 — Интерфейс программы гиперспектральной камеры

Для дальнейшей классификации существует потребность в подготовке данных. Для качественной работы сверточной нейронной сети нужен сбор большого объема данных (от 1000 образцов).

Подготовка данных представляет собой нормирование гиперспектральных данных, поскольку в ходе проведения экспериментальных исследований было установлено, что изменение интенсивности освещения оказывает влияние на получаемые данные [3]. Следовательно, для обучения сверточной сети следует нормировать полученные данные.

Результатом работы авторов статьи является разработанное программное обеспечение, позволяющее подготовить гиперспектральные образцы данных для дальнейшего обучения. Эффективность использования программы приведена в таблице 1.

Таблица 1 — Результаты эффективности внедренного программного обеспечения

Количество обработанных спектрограмм, шт	**Время, затраченное при обработке ручным способом, с**	**Время, затраченное с использованием программного обеспечения, с**
100	120	13
500	469	52
1000	938	104
2500	2345	260

В результате внедрения программы можно сделать вывод о том, что время, затраченное на обработку данных, сократилось примерно

в 10 раз. Использование автоматизированной системы подготовки данных позволит более эффективно использовать время для обработки данных.

Литература

1. Юдаев, В. А. Применение каскада Хаара для обнаружения яблок на конвейере / В. А. Юдаев, П. В. Балабанов, А. С. Егоров // Цифровизация агропромышленного комплекса : Сборник научных статей III Международной научно-практической конференции, Тамбов, 25–27 октября 2022 года. Том 1. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2022. – С. 35-37.

2. Алгоритм и программное обеспечение для обработки спектрограмм яблок / П. В. Балабанов, А. Г. Дивин, А. С. Егоров, В. А. Юдаев // Современная наука: теория, методология, практика : Материалы 2-ой Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Тамбов, 28–29 мая 2020 года. – Тамбов: Издательство ИП Чеснокова А.В., 2020. – С. 55-57.

3. Юдаев, В. А. Применение методов гиперспектрального анализа для обнаружения дефектов яблок / В. А. Юдаев, П. В. Балабанов, А. С. Егоров // Информационные технологии в управлении и моделировании мехатронных систем : Материалы II научно-практической международной конференции, Тамбов, 14–16 октября 2020 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2020. – С. 8-11.

Анализ современного состояния проблемы проектирования программно-аппаратных ускорителей

А.А. Жиленков✉, С.Г. Черный

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет» (ФГБОУ ВО «СПбГМТУ»), Санкт-Петербург, Россия, zhilenkovanton@gmail.com

Analysis of the current state of the problem of designing software and hardware accelerators

A.A. Zhilenkov✉, S.G. Chernyi
Saint Petersburg State Marine Technical University (SPBGMTU), St. Petersburg, Russia, zhilenkovanton@gmail.com

Согласно стандартной методологии проектирования моделей глубокого обучения, после того как модель спроектирована, она проходит программную и аппаратную оптимизацию. К программным методам оптимизации относятся сжатие (прореживание), обеспечивающие снижение нагрузки, и квантование модели, которое непосредственно влияет и на эффективность аппаратной реализации модели, поскольку определяет эффективность её развёртывания на целевой аппаратной платформе [1-3].

Третьим основным фактором, определяющим производительность модели, является эффективность генерации набора инструкций компилятором, где компиляция производится на базе результата программной и аппаратной оптимизации, описанных выше.

Для конечного продукта, в особенности если говорить о встраиваемых системах, целью оптимального проектирования ускорителя вывода модели глубокого обучения является максимизация энергетической эффективности и скорости вывода — повышение пропускной способности и снижение задержки (latency) (рис.1).

Многими исследователями для оценки ограничений производительности модели со стороны предела вычислительной производительности аппаратной платформы или подсистемы памяти, принято использовать диаграмму модели (потолочных значений) максимальной производительности системы.

Большая часть ускорителей обсчитывает различные входы последовательно один за другим, за исключением ряда реализаций, где такая обработка выполняется параллельно. Энергетические затраты на каждый вывод модели состоят из:

– динамических затрат на вычисления, оптимизировать которые можно снижая $Э_{оп}$, например квантованием, или разрежением модели, что приводит к уменьшению числа операций, снижению нагрузки, то есть к оптимизации пропускной способности;

– динамических затрат на обращение к внешней памяти, которые могут быть снижены за счёт квантования, разрежения, замены обращений к внешней памяти эффективной системой внутренней памяти и т.п. Оптимизировать $Э_{озу}$ сколько-нибудь существенно

сложно, поскольку они определяются конкретной платформой ускорителя;

– статическими энергетическими затратами, определяемыми конкретной архитектурой платформы и технологическим процессом изготовления кристалла.

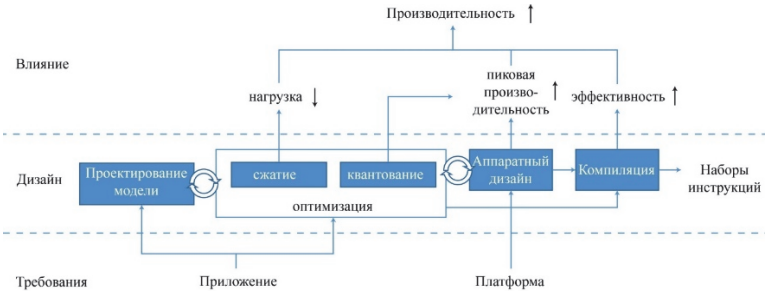


Рисунок 1 — Методы повышения производительности программно-аппаратных реализаций моделей глубокого обучения и их распределение по стадиям проектирования модели

Учёт приведённых факторов при проектировании системы позволяет повысить её производительность, однако быстрое развитие глубокого обучения приводит к тому, что при разработке коммерческих, академических и иных продуктов становится невыгодным применение фиксированных структурно платформ. Часто система должна быть достаточно гибкой, чтобы позволять разворачивать на ней различные модели глубокого обучения. Поэтому ЦПУ и ГПУ общего применения, а также ПЛИС остаются предпочтительными платформами для разработки и разворачивания систем на базе глубокого обучения, где ПЛИС благодаря своей реконфигурируемой архитектуре позволяет оптимизировать все три составляющие, разворачивать на ней модели глубокого обучения и в сжатые сроки создавать на их базе конечный продукт.

Заключение

Приведённый анализ существующих подходов к проектированию нейросетевых ускорителей показал, что ускоритель на ПЛИС может обеспечить более чем десятикратное превосходство по скорости и энергетической эффективности над ускорителями на ГПУ, что делает данную аппаратную платформу основным кандидатом на роль ускорителей как для встраиваемых решений, так и на уровне датацентров. Однако анализ существующих решений показывает,

что подобные оценки на сегодня остаются по большей части теоретическим. Достижение подобных показателей на практике может быть обеспечено квантованием моделей минимальным числом бит, но такой подход ограничен резким падением точности квантованной модели и требует дополнительных исследований в области алгоритмического обеспечения и аппаратных архитектур ускорителей.

Литература

1. F. Marozzo, A. Orsino, D. Talia and P. Trunfio, «Edge Computing Solutions for Distributed Machine Learning», 2022 IEEE Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, Intl Conf on Cloud and Big Data Computing, Intl Conf on Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/CBDCom/CyberSciTech), Falerna, Italy, 2022, pp. 1-8, doi: 10.1109/DASC/PiCom/CBDCom/Cy55231.2022.9927824.

2. Z. Ning et al., «Dynamic Computation Offloading and Server Deployment for UAV-Enabled Multi-Access Edge Computing», in IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 22, no. 5, pp. 2628-2644, 1 May 2023, doi: 10.1109/TMC.2021.3129785.

3. A Semi-Automated Tool Flow for Roofline Anaylsis of OpenCL Kernels on Accelerators / S. Muralidharan, K. O'Brien, and C. Lalanne // High-performance Reconfigurable Computing (H2RC). – 2015. – 8 p.

Классификация сегментированных областей на основе векторов признаков

В.Д. Матвеев, А.Е. Архипов, И.С. Фомин

Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, v.matveev@rtc.ru, a.arkhipov@rtc.ru, i.fomin@rtc.ru

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 075-00697-24-00 от 27.12.2023 «Исследование методов создания самообучающихся систем видеонаблюдения и видеоаналитики на базе комплексирования технологий пространственно-временной фильтрации видеопотока и нейронных сетей» (FNRG 2022 0015 1021060307687-9-1.2.1).

Extraction of features from modern segmentation networks

Viktor D. Matveev, Andrey E. Arkhipov, Ivan S. Fomin
Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics,
St. Petersburg, Russia, v.matveev@rtc.ru, a.arkhipov@rtc.ru, i.fomin@rtc.ru

Acknowledgements
The work was carried out as the part of the state task of the Russian Ministry of Education and Science «Research of methods for creating self-learning video surveillance systems and video analytics based on the integration of technologies for spatiotemporal filtering of video stream and neural networks» (FNRG 2022 0015 1021060307687-9-1.2.1 № 075-00697-24-00 from 27.12.2023).

В мобильной робототехнике часто возникает проблема обработки изображений на борту, поскольку зачастую передать видеоинформацию по каналу связи затратно, а принимать решения о дальнейших действиях робота по остальным датчикам не всегда возможно. И для улучшения анализа окружающей обстановки может быть использована нейронная сеть – например, сегментатор для определения объектов на пути робота.

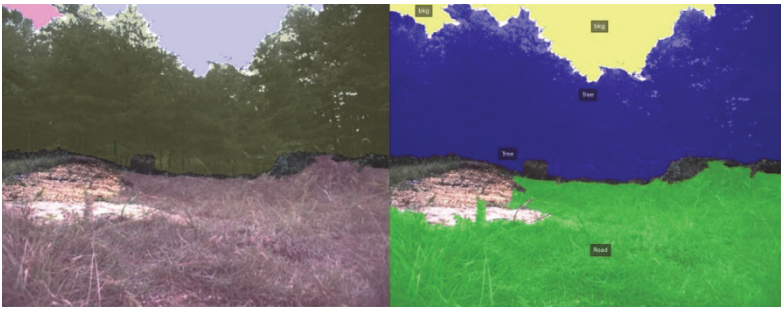


Рисунок 2 — Классификация полученных масок на основе скрытого пространства

Самые современные сегментационные модели на основе трансформеров показывают отличные результаты при использовании их без обучения – за счет сегментации через подсказки (prompt-based segmentation). Пример такой модели – Segment Anything Model (далее SAM) [1]. Однако, у этой модели есть существенный недостаток – сегментированные ей области из-за prompt-based подхода не имеют

класса – поскольку такой подход предполагает задание точек/ограничивающих прямоугольников.

Таким образом, возникает задача определения класса, к которому принадлежит та или иная область, поскольку это напрямую требуется для принятия решений. Так, например, возможно использовать полноценные модели-классификаторы, как показано в работе [2]. Но такие модели большие, и сильно нагрузят вычислитель робота. И чтобы избежать этого, можно использовать небольшой линейный классификатор, обученный на каком-либо векторе признаков. В случае с SAM этот вектор объединяет информацию запроса и изображения. Такое обучение должно быть возможно, поскольку изначально сеть обучалась на размеченных данных, и должна иметь некоторое представление о том, как выглядят объекты с определенным описанием.

Примерный желаемый результат показан на рисунке 1. Слева видны маски, полученные от сегментатора, а справа те же маски, но с классами.

Литература

1. Kirillov A. et al. Segment anything //Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. – 2023. – С. 4015-4026.

2. Архипов А. Е., Фомин И. С., Матвеев В. Д. Комплексирование моделей сегментации, сопровождения и классификации для решения задач видеоаналитики //Известия ЮФУ. Технические науки. – 2024. – №. 1.

Глубокое обучение с подкреплением с помощью спайковой нейронной сети на фреймворках Pybullet и snnTorch

Ф.Р. Хабибуллин✉, В.Б. Казанцев

Федеральное Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ), г. Долгопрудный, Московская область, Россия, khabibullin.fr@phystech.edu

Благодарности

Исследование выполнено в МФТИ при поддержке программы «Приоритет 2030».

Deep reinforcement learning with spiking neural network on pybullet and snntorch frameworks

Farit R. Khabibullin✉, Viktor B. Kazantsev
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University)» (MIPT), Dolgoprudny, Moscow Region, Russia, khabibullin.fr@phystech.edu

Acknowledgements
The study was carried out at MIPT with the support of the «Priority 2030» program.

Спайковые нейронные сети являются искусственными нейронными сетями, которые наиболее точно имитируют поведение биологических нейронов. В отличие от классических искуственных нейронных сетей, использующих непрерывные значения, спайковые обрабатывают информацию посредством дискретных спайков или импульсов. Это делает их более энергоэффективными и способными обрабатывать временные данные, что особенно полезно для задач, требующих обработки в реальном времени [1].

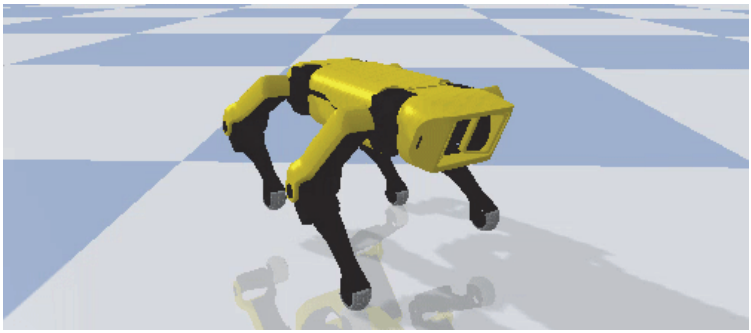


Рисунок 1 — Четвероногий робот в среде Pybullet

В сочетании с глубоким обучением с подкреплением спайковые нейросети предлагают мощный подход к решению сложных динамических задач. Глубокое обучение с подкреплением основано на обучении агента принимать решения, взаимодействуя с окружающей средой, обучаясь методом проб и ошибок. Используя спайковые нейросети вместо обычных нейронных сетей в рамках обучения с

подкреплением, мы можем добиться не только эффективного обучения, но и надежных и масштабируемых решений, которые больше соответствуют тому, как работает биологический мозг. Эта комбинация имеет многообещающие приложения в робототехнике и автономных системах.

В представленной работе для моделирования поведения четвероного робота, была создана его 3д модель в физическом симуляторе для робототехники Pybullet [2].

После создания виртуальной среды, в которой четвероногий робот может взаимодействовать с различными ландшафтами и препятствиями, была использована программная среда для моделирования спайковых нейросетей snnTorch [3].

Используя алгоритм оптимизации проксимальной политики (proximal policy optimization), робот должен был сохранять устойчивое вертикальное положение на неровной поверхности. В качестве входных и выходных сигналов использовались углы вращения туловища робота и углы вращения суставов соответственно [4].

Литература

1. Yamazaki, K., Vo-Ho, V.-K., Bulsara, D., & Le, N. (2022). Spiking Neural Networks and Their Applications: A Review. 12(7), 863. https://doi.org/10.3390/brainsci12070863.

2. Jacopo Panerati, Hehui Zheng, SiQi Zhou, James Xu, Amanda Prorok, Angela P. Schoellig (2021). Learning to Fly -- a Gym Environment with PyBullet Physics for Reinforcement Learning of Multi-agent Quadcopter Control. arXiv preprint arXiv:2103.02142. https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.02142.

3. Ding Chen, Peixi Peng, Tiejun Huang, Yonghong Tian (2022) Deep Reinforcement Learning with Spiking Q-learning. arXiv preprint arXiv:2201.09754, https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.09754

4. Prochazka, A., Gillard, D., & Bennett, D. J. (1997). Implications of positive feedback in the control of movement. Journal of Neurophysiology, 77(6), 3237-3251. https://doi.org/10.1152/jn.1997.77.6.3237.

Идентификация возмущений в линейных системах на основе оптимального астатического наблюдателя

А.А. Кабанов[1]✉, А.В. Зуев[2,3], А.А. Проценко[2,3]
[1]*Севастопольский государственный университет (СевГУ), Севастополь, Россия, kabanovaleksey@gmail.com*
[2]*Институт проблем морских технологий имени академика М.Д. Агеева Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИПМТ ДВО РАН), г. Владивосток, Россия*
[3]*Владивостокский государственный университет (ВВГУ), г. Владивосток, Россия*

Благодарности
Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-19-00392).

Identification of disturbances in linear systems based on optimal astatic observer

Aleksey A. Kabanov[1]✉, Alexander V. Zuev[2,3], Alexander A. Protsenko[2,3]
[1]*Sevastopol State University (SevSU), Sevastopol, Russia, kabanovaleksey@gmail.com*
[2]*Institute of Marine Technology Problems named after Academician M.D. Ageev, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (IMTO FEB RAS), Vladivostok, Russia;*
[3]*Vladivostok State University (VVSU), Vladivostok, Russia*

Acknowledgements
This work was supported by the Russian Science Foundation (Project № 22-19-00392).

В настоящее время расширяются области применения различных робототехнических комплексов (РТК), увеличивается сложность их автономных миссий и различных технологических операций. В процессе эксплуатации этих сложных технических устройств особое значение приобретает повышение надежности их качественного функционирования. Это важно для автономной работы РТК в условиях изменчивости окружающей среды. Большинство РТК содержат схожие функциональные элементы, от которых зависит их работоспособность – электроприводы и движители, обеспечивающие их пространственное перемещение. При этом возникновение неизвестных внешних мо-

ментов на выходных валах электроприводов из-за различных факторов приводит не только к существенному ухудшению качества работы, но и к возникновению аварийных ситуаций или даже потере дорогостоящего оборудования. В статье рассматривается задача построения системы идентификации возмущающих воздействий и дефектов в электроприводах робототехнических систем.

Распространенным подходом к идентификации неисправностей является использование нейронных сетей, в том числе адаптивных сетей и сетей с нечеткой логикой. Недостатком этих подходов является необходимость предварительного сложного и длительного обучения нейронных сетей для использования в РТК. Другим подходом к идентификации неисправностей является использование наблюдателей скользящего режима [1], описываемых дифференциальными уравнениями с разрывной правой частью. Их недостатком является то, что в этом случае на математическую модель объекта диагностирования накладывается ряд ограничений. В частности, требуется выполнение так называемого условия согласования.

Для решения этой проблемы в данной работе используется подход, основанный на использовании оптимальных наблюдателей [2]. Это позволяет избежать недостатков других методов идентификации, таких как необходимость высокочастотной коммутации скользящих наблюдателей. Оптимальные наблюдатели предлагается строить на основе специальных редуцированных моделей исходной системы, что упрощает их реализацию. Используя специальную процедуру синтеза наблюдателя, также удается придать ему свойство астатизма и исключить статическую погрешность определения величины возмущения. Эффективность предложенной системы подтверждена компьютерным моделированием.

Литература

1. Brisilla R. M., Sankaranarayanan V. Extended state observer based sliding mode control of permanent magnet DC motor // 2015 Annual IEEE India Conference (INDICON), New Delhi, India: IEEE, 2015. P. 1–6.

2. Кабанов А.А., Зуев А.В., Жирабок А.Н., Филаретов В.Ф. Метод идентификации дефектов: подход на основе методов оптимального управления // Автоматика и телемеханика, 2023. - № 9. - С.82–94.

Экспериментальные исследования применения искусственного интеллекта в автономных роботах

В.Е. Вавилов✉, А.А. Хусаинова
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» (ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»), г.Уфа, Республика Башкортостан, Россия, vavilov.ve@ugatu.su

Благодарности
Проект «Электромеханика 360» осуществляется при поддержке гранта Минобрнауки России в рамках федерального проекта «Популяризация науки и технологий» от 03.05.2024 года № 075-15-2024-492.

Experimental studies of the use of artificial intelligence in autonomous robots

Vyacheslav E. Vavilov✉, Aigul A. Husainova
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa University of Science and Technology» (Ufa University of Science and Technology), Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia, vavilov.ve@ugatu.su

Acknowledgements
The «Acknowledgments» section contains information on the financial support of the research (funding organization, grant or project number, etc.).

В настоящем исследовании создается экспериментальная среда обитания автономных роботов под управлением искусственного интеллекта, в которой реализуется две простые функции роботов: питание роботов и обеспечение лидерства в процессе их деятельности.

Эксперименты, представлены в статье, поставлены для исследований концепции робосферы [1], а также концепций, предложенным в работах [2, 3]. Робосфера это среда обитания автономных роботов, которые могут функционировать без участия человека. Исследования робосферы могут быть использованы для освоения других планет и труднодоступных для человечества пространств. Кроме того, алгоритмы и результаты исследований в области робосферы могут быть использованы при формировании концепций бесшовное цифровое небо.

Техническая реализация эксперимента

Как отмечалось выше, одной задачей эксперимента являлось не компьютерная имитация, для исследований нейронной сети, а именно исследования взаимодействия робототехнических комплексов под управлением нейронной сетью в реальной среде их функционирования и создание экспериментальной робосферы

Следуя тому, что при решении задачи должны использоваться максимально простые технические решения для экспериментальных исследований был выбран максимально доступный из готовых роботехнических комплексов- робот-пылесос. Для исследований использовались роботы-пылесосы марки Xiaomi, модель Mi Robot Vacuum s5.

Для проведения экспериментов у роботов было изменено их программное обеспечение для возможности управлять ими удаленно. Вычисления, запросы и управления роботами осуществлялось с удаленного персонального компьютера (в эксперименте вычислительный компьютер можно считать инфосферой). Для этого была переустановлена операционная система робота пылесоса вместе с Valetudo. После чего появилась возможность взаимодействия роботов и вычислительного центра, направления из вычислительного центра к роботам запросов, управляющих сигналов, а также удаленное получение информации о состоянии роботов.

Эксперимент производился следующим образом: три робота были помещены в изолированное помещение, в котором поддерживалась температура +19 оС. В 4 точках помещения были установлены видео камеры, которые обеспечивали прямую трансляцию в режиме реального времени. Важно отметить, что для чистоты эксперимента видео трансляции мы сохранили по следующей ссылке (www.youtube.com/watch?v=hO6jDQcxg0g). Платформа, в которой находились роботы имела площадь 15 м2, при этом на высоте 2 м была установлена еще одна камера, которая обеспечивала связь роботов и вычислительного центра.

У каждого из роботов была использовалась абсолютно одинаковая нейронная сеть. Задача, которая была поставлена роботам, состоит в закрашивании клеток на поле (комната разбита на виртуальные клетки). При этом робот, который закрасил больше клеток за один раунд игры, получает 10 баллов, а роботы, которые проиграли ему, штрафуются на 10 баллов. Раунд игры ограничен 250 движениями каждого робота, если он не на зарядке. В ходе раунда каждый робот получает 1 балл, если он закрасил новую клетку, штрафуется на 1 балл, если он повторно закрасил свою клетку. Если он закрасил чужую клетку, он получает 0 баллов. Количество раундов за день

может достигать 500-700, это необходимо для обучения нейронной сети каждого робота. Целью каждого робота является лидерство, причем все три робота знают, у какого робота больше всех баллов и кто является лидером.

В рамках эксперимента задача закрашивания ячеек, оказалась относительно простой и не требующей сложного учета пространственных зависимостей или последовательностей действий. Небольшой размер поля и ограниченное количество возможных состояний способствовали эффективному обучению полносвязной сети без необходимости в более сложных архитектурах. Поэтому в роботах использовалась полносвязная нейронная сеть с 4 слоями и 1024 параметров в каждом.

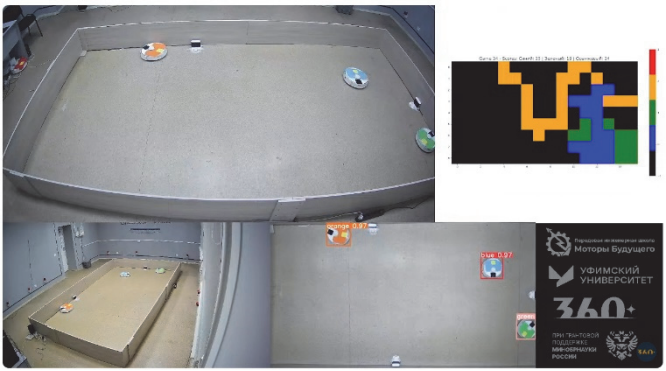


Рисунок 1 — Ход эксперимента

Результаты каждого дня нашего эксперимента, а также все видеозаписи выложены по ссылке (www.youtube.com/watch?v=hO6jDQcxg0g). На рисунке 1 приведены некоторые скрины из нашего эксперимента. На рисунке 2 приведены результаты двух игр роботов.

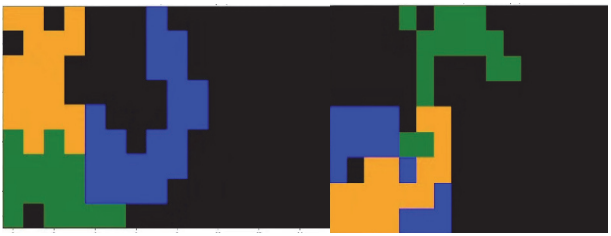


Рисунок 2 — Результаты двух игр подряд

К сожалению, нам пришлось остановить исследования на 27 день, так как роботы пылесосы вышли из строя по причине отказа аккумуляторных батарей. По нашим данным, роботы проработали около 600 часов (+ закрытые тесты на 120 часов). Их ресурс был полностью исчерпан за 27 дней непрерывной работы. В среднем робот за год проезжает 150 часов, это если убираться 3 раза в неделю, на протяжении 365 дней. А наши роботы смогли проехать за 27 дней 720 часов.

За время исследований лидерство между роботами изменялось: то есть первые дни лидером являлся зеленый робот, после в лидеры вырвался оранжевый робот, но конечным результатом эксперимента лидером стал оранжевый робот со счетом 122 685 баллов. На второй позиции стал зеленый робот со счетом 118 980. Синий робот вышел из строя, не дойдя до конца эксперимента. Важно отметить, что за все время эксперимента синий робот не занимал лидерских позиций.

Результаты эксперимента

Так как, в нашем эксперименте мы создали упрощенную робосферу, то необходимо рассмотреть его результаты с этой позиции. Тот факт, что роботы существовали самостоятельно без участия человека и выполняли свои функциональные задачи, говорит о том, что робосфера, как искусственная среда функционирования роботов может быть создана. То есть наш эксперимент подтверждает работы [1-3]. Важно отметить, что обеспечение роботов электроэнергией осуществлялось от сети и они сами выбирали время, когда им необходимо получать энергию из внешнего мира. Что кстати отчетливо показывает поведение оранжевого робота в нашем эксперименте, который преждевременно покидал зарядную станцию.

Вместе с тем, прекращение эксперимента произошло по причине отказа роботов из-за частых зарядов аккумуляторных батарей роботов. Это говорит об основной проблеме функционирования робосферы, энергообеспечению роботов. В нашем случае, хоть роботы и получали энергию из электрической сети, сам по себе износ аккумуляторных батарей привел к разрушению их робосферы.

Этот вывод, ставит дополнительные вопросы к результатам [2], где говорится, что фундаментальной проблемой существования робосферы является алгоритмы энергообеспечения роботов и перераспределения энергии между ними. На основе нашего эксперимента мы видим, что фундаментальной проблемой является количество циклов разряда/заряда аккумуляторных батарей, при условии, что

роботы получают энергию из внешней сети или даже перераспределяют ее между собой. То есть требования к аккумуляторным батареям роботов при функционировании их в робосфере это не максимальная емкость аккумуляторных батарей, а максимальное количество циклов заряда/разряда.

Этот вывод и анализ процессов, происходящих в живой природе, позволяет нам предложить несколько иной подход к энергообеспечению роботов, который вполне гармонично вписывается в наши исследования робосферы.

Мы предлагаем перестроить энергоснабжение роботов в робосфере по принципу пищевых цепочек в живой природе.

Мы предлагаем перестроить алгоритмы энергоснабжение роботов в робосфере по принципу пищевых цепочек биосферы, то есть создать роботов, задача которых будет перенос аккумуляторных батарей. Роботы другого класса смогут «съедать» этих роботов переносчиков получая от них энергию. То есть воссоздать в среде роботов-робосфере пищевые природные цепочки, участниками которых являются различные типы роботов. Экспериментальные исследования подобного подхода будут нашим следующим шагом, в котором мы экспериментально попробуем воссоздать пищевую цепочку роботов в робосфере.

В результате 27 дней наблюдений, были получены следующие выводы:

– что роботы под управлением нейронной сети могут взаимодействовать друг с другом, бороться за лидерство, в ряде случаев изощренно, то есть создание искусственной экосистемы роботов является вполне возможным, даже с использованием самых простых технических решений в области робототехники и простых архитектур нейронных сетей;

– системы энергообеспечения, очевидно, являются одним из самых критических узлов, ограничивающих создание робототехнических комплексов и робосферы. При этом разработчики робототехнических комплексов развивают энергетические системы роботов исходя из внутренних потребностей, и минимально используют среду обитания роботов. Данное наблюдение является одним из аргументов, подтверждающих нашу концепцию робосферы.

Выводы, которые мы считаем подтверждаются и результатами эксперимента, и данными компьютерного моделирования:

– появление среди трех одинаковых роботов лидера. Одинаковые роботы с одинаковой нейронной сетью получали разные результаты, и в конечном счете после 15 дней эксперимента появился устойчивый лидер, который это лидерство поддерживал;

– изменение внешних условий, приводит к эволюционным развитию и переобучению нейронной сети;

– использование систем искусственного интеллекта только по результатам компьютерной симуляции, без проведения тестирования на реальных объектах не следует допускать, потому что реальная среда значительно изменяет поведение робототехнических комплексов, по сравнению с данными компьютерного моделирования.

Литература

1. С. Коломбано, "Робосфера: самоподдерживающаяся роботизированная экология как предвестник освоения планеты человеком", конференция и выставка AIAA Space 2003, Лонг-Бич, Калифорния, стр. 6278, doi: 10.2514/6.2003-6278.

2. Х. Ненгао, Л. Тайбо, Л. Хунвэй и Х. Лей, "Моделирование и имитационный анализ поведения при принятии решений о самообеспечении энергией в экосфере роботов", Международная конференция по сервисной робототехнике (ICoSR) 2022 года, Чэнду, Китай, 2022, стр. 10-14, doi: 10.1109/ICoSR57188.2022.00012.

3. В. Е. Вавилов Концепция создания роботов и робосферы // Труды XIX Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления». 1-5 апреля 2024 г., п. Домбай.

4. Концепцию бесшовного неба могут рассмотреть в правительстве осенью // tass.ru/ekonomika/20909981.

Методика определения поправки геодезической высоты в движении для инерциальных навигационных систем на основе технологии нейронных сетей

П.Г. Третьяков

Акционерное общество «Научно-производственный центр автоматики и приборостроения имени академика Н.А. Пилюгина» (АО «НПЦАП»), Москва, Россия, 38244781a@gmail.com

Method of while in motion geodetic height correction, based on the use of neural network technology

Pavel G. Tretyakov
Joint stock company «Academician Pilyugin scientific-production centre of automatics and instrument making» (JSC «NPCAP»), Moscow, Russia, 38244781a@gmail.com

Современные комплексированные системы наземной навигации (СНН), ядром которых является инерциальная навигационная система (ИНС) достигли высокого уровня совершенства. Потенциал повышения их точности путем повышения качества исполнения приборов практически исчерпан. Перспективы дальнейшего роста либо введение в контур управления новых приборов, либо использование инновационных математических методов. [1], [4] Предлагается использовать метод, основанный на нейросетевой технологии для повышения точности определения геодезической высоты СНН, которая крайне важна в ряде специализированных задач.

На точность определения высоты напрямую влияет угол тангажа (угол β) [2] подвижного наземного объекта (ПНО), определяемый датчиком угла гиростабилизированной платформы (ГСП). Существует погрешность определения β из-за колебаний, связанных с особенностями работы ГСП, работы двигателя, движения ПНО по грубым подстилающим поверхностям и т.п. [3]. (рис 1.)

Рисунок 1 — Угол β при движении; скорость примерно 30 км/ч

Для корректировки этой погрешности предлагается методика на базе нейронных сетей. Она выполняется в 2 этапа. Первый – фильтра-

ция колебаний угла β, связанных с стабилизацией платформы от ускорения/торможения ПНО. Для этого применяется последовательно две нейронные сети прямого распространения размером 16x4. На вход подаются 16 последних показаний угла β. Выходом является отфильтрованное значение $\beta_К$ на текущий момент времени, используемое как на втором этапе методики, так и в СНН. Промежуточное выходное значение первой нейросети $\beta_{ф1}$ накапливается аналогично β и подается во вторую нейросеть, которая выдает уже итоговое значение.

Нейронные сети обучаются заранее методом обратного распространения ошибки на основе данных СНН. Для этого выделяются характерные участки колебаний угла β. В случае рассматриваемой сети, для обучения было выбрано 20 характерных участков с колебаниями. В качестве эталона использовалось медианное значение угла на участке, рассчитанное методом двойной скользящей медианы. Нейронные сети обучались последовательно, сначала первую, которая сглаживает основные колебания, затем, на основе её выходных данных, вторую, которая убирает малые колебания. Результат работы на данном этапе изображен на рисунке 2.

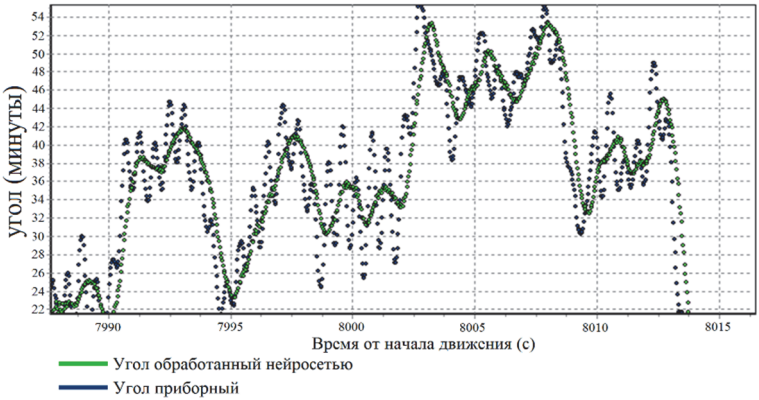


Рисунок 2 — Отфильтрованный угол β (V ≈ 40 км/ч)

Второй этап - коррекция отклонений угла β на основе данных о скорости ПНО. Для этого применяется нейросеть, важной особенностью которой является непрерывное обучение непосредственно во время движения ПНО. Выбор подобного решения связан с тем, что факторов, влияющих на отличие угла β от реального угла наклона ПНО, много, причем, они могут изменятся непосредственно во время основной работы. Обучение нейронной сети осуществляется

специальной программой по данным собираемым во время движения и информацией о контрольных точках (КТ). Кроме того, при работе в окрестности КТ определяется коэффициент доверия нейронной сети. Он предназначен для комплексирования данных от нейронной сети с СНН. На старте движения коэффициент равен 0, поскольку сеть ещё не обучена работать с текущим состоянием ПНО. Коэффициент зависит от следующих параметров: высота, определенная с текущим коэффициентом доверия, высота от СНН и высота при коэффициенте доверия нейросети равном 1.

Проверка методики осуществлялась методом полуреального моделирования, по реальным показаниям датчиков СНН, собранных с 10 различных проездов. Результат наиболее показательного проезда изображен на рисунке 3.

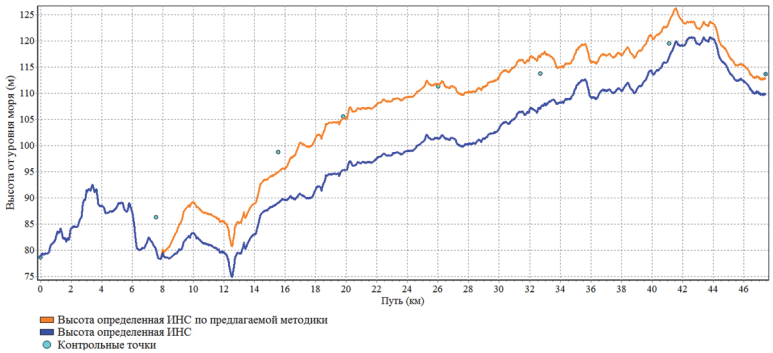


Рисунок 3 — Результат имитации

Для оценки эффективности применения предложенной методики было рассчитано среднеквадратичное отклонение оценки параметра высоты от контрольных точек. Для СНН оно составило ≈ 10,5 м, а для СНН с применением предлагаемой методики составило ≈ 5,07 м, т.е. точность улучшилась на 207%. При этом в 25% случаев точность была на уровне погрешности измерения высоты КТ, а именно ± 1 м. Применение предлагаемой методики позволяет существенно (в 2 раза) снизить погрешность определения высоты в движении.

Литература

1. Румянцев Г.Н., Комплексирование в решении задач наземной навигации. Доклад на всероссийских академических чтениях по космонавтике «Актуальные проблемы развития отечественной космонавтики». М. 2013.

2. Морозов В.П., Курс сфероидической геодезии, второе издание, «Недра», 1979 г, 295 с.

3. Кузовков Н.Т., Салычев О.С., Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация, «Машиностроение», 1982 г., 215 с.

4. Асатрян К.А., Букин А.Г., Садеков Р.Н., Лычагов А.С., Шолохов А.В. Использование визуальных систем технического зрения для навигации подвижных объектов // Оборонная техника. 2015. № 11-12. С. 189-196.

Разработка системы управления многозвенными манипуляторами с использованием технологий виртуальной реальности

А.А. Кацурин[1]✉, В.Е. Усков[2]

[1]ФГБУН Институт проблем морских технологий им. академика М.Д. Агеева ДВО РАН (ИПМТ ДВО РАН), г. Владивосток, Россия, katsurin@mail.ru

[2]ФГАОУ ВО Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ), г. Владивосток, Россия

Development the control system of multi-link manipulators using virtual reality technologies

Alexey A. Katsurin[1]✉, Viktor E. Uskov[2]

[1]M.D. Ageev Institute for Marine Technology Problems FEB RAS (IMTP FEB RAS), Vladivostok, Russia, katsurin@mail.ru

[2]Far Eastern Federal University (FEFU), Vladivostok, Russia

Управление манипуляционными роботами в экстремальных и опасных для жизни человека условиях является актуальной задачей современной робототехники. Обычно для решения данной задачи применяется полуавтоматическое управление, когда человек-оператор, наблюдая за изображением рабочего пространства на экране, с помощью задающего устройства (ЗУ) обеспечивает перемещения рабочего органа (РО) многозвенного манипулятора (ММ) [1, 2].

В данной работе решается задача разработки системы согласованного управления двумя ММ. Основной ММ обеспечивает выполнение манипуляционных операций, а на вспомогательном ММ уста-

новлена система технического зрения (СТЗ). При этом человек-оператор может управлять обоими ММ при помощи системы виртуальной реальности (ВР).

Общий вид системы показан на рис. 1. В данной системе человек-оператор обозревает пространство через шлем ВР 9, на которые проецируется изображение с СТЗ 4 вспомогательного ММ 2. При помощи ЗУ 10 оператор перемещает виртуальное ЗУ 5, что обеспечивает перемещение РО 3 основного ММ 1. Изменить угол обзора СТЗ 4 оператор может с помощью шлема ВР 9, который является ЗУ для ММ 2. На рисунке введены следующие обозначения: 6 – проекция руки в виртуальном пространстве; 7 – лазерный луч, выходящий из проекции руки; 8 – объект работ.

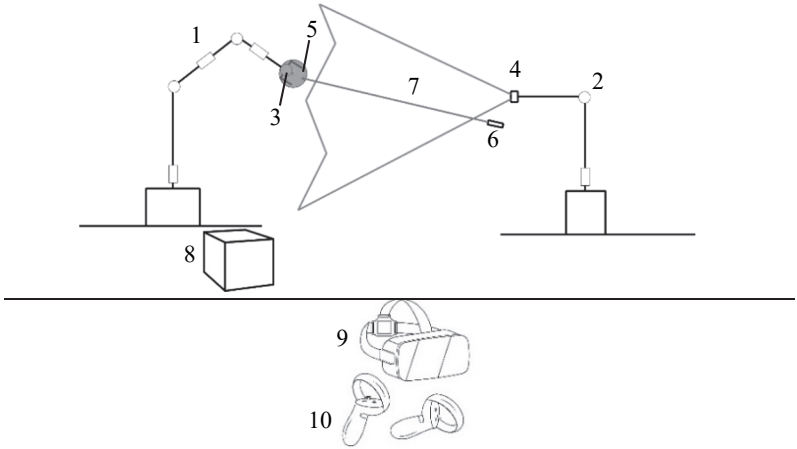


Рисунок 1 — Система полуавтоматического управления двумя ММ при помощи системы ВР

Предлагаемая система полуавтоматического управления ММ была реализована в виртуальной среде. Человек-оператор подключается к виртуальной среде с помощью системы ВР 9, 10. Внутри виртуальной среды реализована система согласованного управления двумя ММ. При этом система координат (СК) СТЗ 4 и СК шлема ВР 9 связаны. А при нажатии кнопки на ЗУ 10 аналогично связываются СК виртуального ЗУ 5 и СК виртуальной руки 6, которая в свою очередь связана с реальным ЗУ 10.

Разработанная система позволяет интуитивно и наглядно управлять ММ. Человек-оператор при этом испытывает эффект погружения в среду работы ММ, а возможность осуществлять перемещение СТЗ позволяет наблюдать за основным ММ и объектами работ с удобного ракурса.

Литература

1. Филаретов В. Ф., Кацурин А. А. Метод полуавтоматического позиционного управления манипулятором с помощью телекамеры, изменяющей пространственную ориентацию своей оптической оси // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 9. – С. 15-22.

2. Филаретов В. Ф., Кацурин А. А. Система телеуправления многозвенным манипулятором, установленным на мобильном роботе // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2018. – № 12. – С. 40-48.

СЕКЦИЯ «МЕДИЦИНСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Применение манипулятора с удаленным центром вращения для работы с медицинским эндоскопом

В.А. Глазунов, Г.С. Филиппов, К.А. Шалюхин✉
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН), Москва, Россия, constmeister@gmail.com

Application of a manipulator with a remote center of rotation for working with a medical endoscope

Victor A. Glazunov, Gleb S. Filippov,
Konstantin A. Shalyukhin✉
Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, (IMASH RAN), Moscow, Russia, constmeister@gmail.com

Пространственный манипулятор для малоинвазивной хирургии должен обеспечивать возможность работы внутри замкнутой полости через небольшое отверстие [1, 2]. В ИМАШ РАН осуществляется разработка и исследование механизмов подобного рода [3, 4]. В таких манипуляторах выходное звено совершает вращательные движения вокруг неподвижной точки относительно трех взаимно ортогональных осей, при этом все промежуточные звенья располагаются на удалении, а рабочая зона механизма находится внутри полости. Точка, определяемая как удаленный центр вращения механизма, при малоинвазивных операциях обычно располагается в месте прокола или разреза, через который инструмент вводится в тело пациента, перемещаясь вдоль его оси поступательно, что также является допустимым движением. Три угла вращения и линейное перемещение – необходимые степени свободы для используемого механизма, в дальнейшем будут обозначаться как продольный наклон, поперечный наклон, собственное вращение и линейное перемещение. Естественным способом получения движения с удаленным центром вращения представляется создание механизма с кинематической структурой, ограничивающей движение рабочего инструмента вращением относительно трех взаимно ортогональных осей вокруг неподвижной точки на его продольной оси и линейным перемещением

вдоль последней. В частности, предложен механизм такой структуры - манипулятор на основе пантографного механизма, дополненный одной поступательной и двумя вращательными степенями свободы (см. рис. 1).

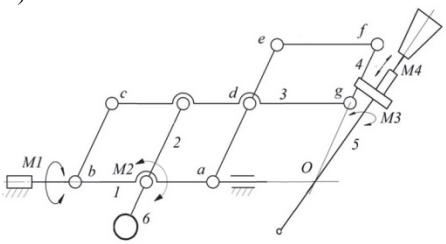


Рисунок 1 — Кинематическая схема манипулятора

В качестве рабочего инструмента используется видеокамера с медицинским эндоскопом. Проведенные эксперименты с изготовленным прототипом показывают достаточность скоростных и пространственных характеристик устройства для работы в режиме телеманипулятора. Рабочая зона механизма представляет собой шаровой сектор, ограниченный прямым конусом с вершиной в точке удаленного центра вращения. Радиус сферы равен диапазону линейного перемещения, а углы при вершине конуса равны диапазонам продольного и поперечного наклонов.

Литература

1. Kuo C.-H., Dai J.S., Dasgupta P. Kinematic Design Considerations for Minimally Invasive Surgical Robots: An Overview // International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery. 2012, № 8. Pp. 127-145.

2. Essomba T., Nguyen Vu L., Wu,C. Optimization of a Spherical Decoupled Mechanism for Neuro-Endoscopy Based on Experimental Kinematic Data // Journal of Mechanics. 2020. № 36(1). Pp. 133-147.

3. Glazunov V., Filippov G., Ceccarelli M., Rashoyan G., Skvortsov S., Aleshin A., Shalyukhin K. 5DOF Mechanism for Vertebral Surgery Kinematic Analysis and Velocity Calculation //Mechanisms and Machine Science Volume 73, 2019, Pages 1741-1749.

4. Veliev E.I., Ganiev R.F., Glazunov V.A., Skvortsov S.A., Sukhorukov R.Yu., Filippov G., Shalyukhin K. Surgical robotic manipulator. Patent RU 208913 U1. Appl. 23.09.2021, publ. 22.06.2018. (In Russ.) Surgical robotic manipulator

Роботизированная система для сердечно-сосудистых вмешательств

Д.Ю. Колпащиков✉, О.М. Гергет
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии (ИПУ РАН), Москва, Россия, d.y.kolpashchikov@gmail.com

Благодарности
Исследование поддержано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, проект «Наука» № FSWW-2023-0007.

Robotic system for cardiovascular interventions

Dmitrii Yu. Kolpashchikov✉, Olga M. Gerget
V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences abbreviated (ICS RAS), Moscow, Russia, d.y.kolpashchikov@gmail.com

Acknowledgements
This research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project Nauka FSWW-2023-0007.

Сегодня ишемическая болезнь сердца занимает первое место среди причин смерти во всем мире [1]. В большинстве случаев развитие этой патологии связано с проблемами, возникающими при работе сердечных клапанов. Существующие методы лечения основаны на имплантировании стента или транскатетерного клапана, малоинвазивным способом через катетер. Качество и скорость проведения вмешательства зависят от точности позиционирования медицинского устройства. Улучшить позиционирование катетера могут роботизированная система доставки и система визуального ассистирования.

Задачей системы визуального ассистирования является детектирование и отслеживание медицинского инструмента внутри движущихся анатомических структур посредством эффективных методов обработки изображений в режиме реального времени. Для решения этой задачи используются нейронные сети глубокого обучения [2].

При этом второй не менее важной задачей является разработка роботизированной системы доставки, которая предназначена для доставки имплантируемого устройства в зону вмешательства.

Особое внимание при разработке роботизированной системы уделяется методам навигации и управления. В свою очередь для навигации и управления системой разрабатываются методы, описывающая поведение гибкого тела катетера, что позволяет решать, как прямую задачу кинематики и рассчитывать перемещение дистального конца катетера, так и обратную задачу кинематики (в частности, расчет перемещения, которое нужно совершить катетеру для достижения определенной точки) [3].

Авторами статьи предложен метод, позволяющий описать изгиб тела катетера на основе допущения о кусочно-постоянной кривизне. С этой целью, решая задачу оптимизации методом решетчатого поиска, подбираются параметры устройства таким образом, чтобы полученная с их помощью теоретическая рабочая область соответствовала рабочей области реального устройства.

Литература

1. Khan M. A. B. et al. Global epidemiology of ischemic heart disease: results from the global burden of disease study //Cureus. – 2020. – Т. 12. – №. 7.

2. Ramadani A. et al. A survey of catheter tracking concepts and methodologies //Medical image analysis. – 2022. – Т. 82. – С. 102584.

3. Колпащиков, Д. Ю. Метод и алгоритмы обратной кинематики и планирования движения для многосекционных непрерывных роботов : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Колпащиков Дмитрий Юрьевич, 2023. – 126 с.

Уменьшение возмущающего воздействия тремора культей у людей без кисти с помощью инновационной реабилитационной системы

С. Берро✉, А.Н. Тимофеев

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия, berro.somar@gmail.com

Reducing the vibration disturbances of amputees' stump tremor with the help of an innovative rehabilitation system

Somar Berro✉, Андрей N. Timofeev
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia,
berro.somar@gmail.com

Тремор рук — это неконтролируемое дрожание человеческой руки. Тремор характеризуется как ритмичное, непроизвольное колебательное движение и определяется как неврологическое состояние [1]. Постуральный (нормальный) тремор присутствует в любой момент, когда человек пытается сохранить фиксированное положение против силы тяжести. У здоровых людей амплитуда колебаний, вызванных этим типом тремора, незначительна. Но когда тремор является результатом заболевания нервной системы, такого как эссенциальный и паркинсоновский тремор, колебания становятся более проблематичными [2]. В результате, мешая человеку расположить руку в желаемом положении для выполнения требуемых задач.

В таблице 1 показаны максимальная амплитуда и соответствующая частота силы, создаваемой тремя типами тремора культей у людей без кисти (ЛБК).

Таблица 1 — Параметры силы тремора культя ЛБК

Тип тремора	максимальная амплитуда, мН	частота, рад/с
нормальный	65	63
эссенциальный	152	31
паркинсоновский	548	43

Представлено предложение по созданию инновационной манипуляционной реабилитационной системы на основе гибких связей (рис. 1), призванной помочь ЛБК выполнять задачи, требующие точных движений.

При выключенном микроманипуляторе, система считается находящейся в пассивном режиме работы. В этом случае система способна уменьшить амплитуду колебания, вызванную тремором в положении рабочего органа, как показано в таблице 2.

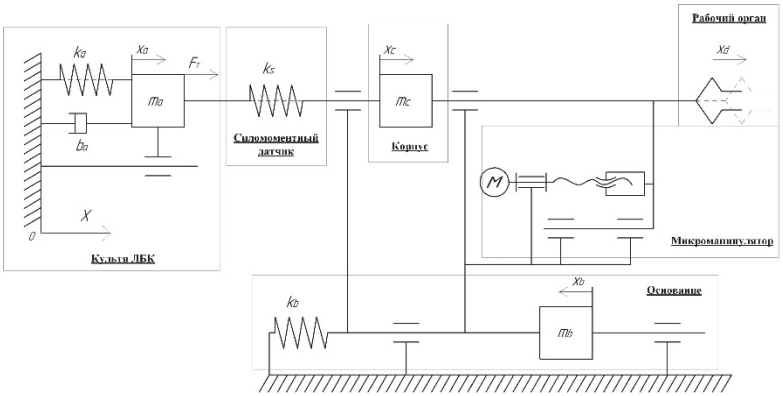


Рисунок 1 — Расчетная схема математической динамической модели манипуляционной реабилитационной системы по оси-X

Таблица 2 — Погрешности позиционирования рабочего органа

Погрешность (ΔX_d)	**Тремора**		
	Нор.	**Эссен.**	**Паркин.**
без реаб. системы	±0,44 мм	±0,55 мм	±1,61 мм
с реаб. системом	±0,1 мм	±0,13 мм	±0,18 мм

Результаты моделирования и симуляции показывают многообещающие результаты в устранении влияния тремора на позиционирование объектов или инструментов для ЛБК.

Литература

1. Bhatia K.P., Bain P., Bajaj N., Elble R.J., Hallett M. Consensus Statement on the Classification of Tremors, From the Task Force on Tremor of the International Parkinson and Movement Disorder Society. Movement Disorders. 2018. Vol. 33, Iss. 1. Pp. 75–87. DOI: 10.1002/mds.27121.

2. Andrade A.O. Practical Applications in Biomedical Engineering. London: INTECH, 2013. 424 p. DOI: 10.5772/3331.

Киберфизическая система мониторинга функциональной надежности парашютистов-спасателей

А.А. Матвийчук
ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил Министерства обороны Российской Федерации» (ЦНИИ ВВС Минобороны России), Москва, Россия, gniiivm.m@ya.ru

Cyber-physical system for monitoring the functional reliability of parachute rescuers

Aleksandr A. Matvijchuk
FSBU «Central Research Institute of the Air Force of the Ministry of Defense of the Russian Federation» (CNII Air Force of the Ministry of Defense of Russia), Moscow, Russia, gniiivm.m@ya.ru

Анализ потребностей практики обеспечения безопасности парашютистов-спасателей свидетельствует о необходимости мониторинга их функциональной надежности для обоснования мероприятий, направленных на повышение их профессиональной работоспособности. В результате исследований обосновано, что реализация такого мониторинга должна быть связана с использованием технологий четвертой промышленной революции, прежде всего, технологий киберфизических систем [1, 2].

Поэтому предложены решения по синтезу облика и методического обеспечения киберфизической системы мониторинга функциональной надежности парашютистов-спасателей на всех этапах их профессиональной деятельности, в том числе, при проектировании средств индивидуальной защиты и специального снаряжения.

Для централизации сбора и обработки психофизиологической информации предложено использовать модель, основанную на теории полумарковских процессов для расчета оценки запаздываний съема показателей состояния различных функциональных систем организма с применением аппарата нелинейных систем управления для описания динамики изменения этих показателей [1, 3]. При этом модель управления должна учитывать особенности интеграции вычислительных ресурсов системы управления динамическим контролем психофизиологических показателей состояния парашютиста в физические объекты (датчики и исполнительные механизмы парашютных систем, экипировки и снаряжения) [4]. Необходимо также

учитывать особенности вычислительной составляющей системы управления мониторингом, которая распределена по всей системе и является ее основой, синергетически связанной со всеми составляющими элементами [1, 3].

Обеспечение настройки синтезируемых алгоритмов адаптивного управления мониторингом функциональной надежности может быть реализовано с использованием машинного обучения. Для повышения надежности мониторинга необходимо предусмотреть резервирование датчиков и вычислителей. Корректное планирование резервирования предполагает наличие моделей процесса отказа/восстановления как отдельных компонентов, так и киберфизической системы в целом. Наиболее эффективный подход к решению таких задач основан на применении теории марковских или полумарковских процессов [5]. Это дает возможность адаптивного управления мониторингом функциональной надежности в соответствии с решаемой задачей и индивидуальными особенностями парашютиста.

Литература

1. Ларкин Е.В., Богомолов А.В., Привалов А.Н., Акименко Т.А. Структура иерархической системы цифрового управления сложным технологическим объектом // Математические методы в технологиях и технике. 2024. № 6. С. 63-66.

2. Мещеряков Р.В. Интеллектуальные робототехнические системы // Датчики и системы. 2024. № 2 (274). С. 12-17.

3. Ларкин Е.В., Богомолов А.В., Горбачев Д.В., Антонов М.А. О приближении потока событий к пуассоновскому в цифровых системах управления роботами // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2017. № 9-1. С. 3-13.

4. Ронжин А.Л., Богомолов А.В., Герегей А.М., Самсонов И.В. Устройство для мониторинга состояния и физической работоспособности пользователя экзоскелета-костюма // Патент на изобретение RU 2820153 C2, 30.05.2024.

5. Ларкин Е.В., Богомолов А.В., Акименко Т.А. Моделирование иерархической системы управления группой мобильных роботов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 2. С. 29-35.

СЕКЦИЯ «КОСМИЧЕСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Инструментальная кинематическая калибровка гексапода космического назначения

Ю.А. Жуков[1]✉, А.А. Киселев[2], Е.Б. Коротков[1]
[1]*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова» (БГТУ «Военмех» им. Д.Ф.Устинова), Санкт-Петербург, Россия, zhukov_iua@voenmeh.ru*
[2]*Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия*

Instrumental kinematic calibration of a hexapod for aerospace applications

Yuri A. Zhukov[1]✉, Aleksey A. Kiselev[2], Evgeny B. Korotkov[1]
[1]*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D.F. Ustinov» in parentheses), St. Petersburg, Russia, zhukov_iua@voenmeh.ru*
[2]*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics, St. Petersburg, Russia*

Шестистепенные механизмы параллельной структуры (МПС) — гексаподы — широко применяются в множестве конструкций машин [1, 2]: обрабатывающих станках, вибрационных машинах, сельскохозяйственной технике, манипуляционных сервисных и промышленных роботах, механизмах пространственной ориентации, медицинской аппаратуре и др. В БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова выполнена разработка [3] типоразмерного ряда прецизионных мехатронных устройств стабилизации, позиционирования и наведения бортовой аппаратуры космической и авиационной техники на базе механизмов с параллельной структурой. В настоящей работе объектом исследований является экспериментальный образец — шестистепенной МПС — гексапод — для решения задач пространственного позиционирования подвижной платформы. Особенностью исследуемого гексапода является управление винтовыми парами стоек URHU-кинематической структуры, звенья которой связаны универсальным, вращательным, винтовым, универсальным шарнирами.

Управление гексаподом реализуется на основе обратной задачи кинематики [4], точность решения которой зависит от геометрической погрешности параметров кинематической структуры платформ и стоек: позиций и ориентации универсальных шарниров, начальных длин и осевого разворота полуштанг стоек гексапода. Перечисленные параметры являются объектом процедуры калибровки гексапода.

Для классической [1, 2] конструкции гексапода UPS-структуры, в которой звенья стоек связаны универсальным, поступательным и сферическим шарнирами, существуют исследования, в которых кинематическая инструментальная калибровка решается в итерационной процедуре на основе модели погрешностей с измерением позиции платформы теодолитом [5], координатно-измерительной машиной (КИМ) последовательной [6] или параллельной [7] структуры. Однако для гексапода URHU-структуры проблема калибровки не вполне решена.

В настоящей работе для оценки действительных значений параметров гексапода после его сборки предлагается инструментальный подход на основе КИМ последовательной структуры. В начальной позиции по измерениям положений выбранных калибровочных точек платформы, основания и каждой стойки гексапода из кинематических связей напрямую вычисляются все значения искомых параметров.

В результате получена процедура калибровки гексапода, разработано программное обеспечение оценки параметров кинематической структуры, выполнена оценка точности решения задач кинематики в системе позиционного управления гексаподом. Перспективным является развитие методов калибровки гексапода URHU-структуры, основанных на моделях погрешностей в итерационных процедурах с применением прецизионных КИМ.

Литература

1. Новые механизмы в современной робототехнике. Под редакцией Глазунова В.А. — М.: Техносфера, 2018. — 316 с.

2. Merlet J.P. Parallel Robots. — Springer, 2006. — 415 p.

3. Горбунов А.В., Коротков Е.Б., Леканов А.В., Матвеев С.А., Слободзян Н.С., Яковенко Н.Г. Опыт разработки системы управления механизмами с параллельной структурой типа «гексапод» для позиционирования и наведения крупногабаритных объектов информационных космических платформ // Вопросы радиоэлектроники. — 2018. — № 7. — С. 111–123.

4. Жуков Ю.А., Коротков Е.Б., Слободзян Н.С. Система управления механизмом с параллельной кинематикой для перемещения бортовых приборов КЛА на базе современного отечественного радиационно стойкого микроконтроллера с процессорным ядром CORTEX-M4F // Вопросы радиоэлектроники. — 2017. — № 7. — С. 48–53.

5. Hanqi Zhuang, O. Masory, Jiahua Yan Kinematic calibration of a Stewart platform using pose measurements obtained by a single theodolite // Proceedings 1995 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Human Robot Interaction and Cooperative Robots. — Pittsburgh, PA, USA. — 1995.— Vol. 2. — pp. 329–334, doi: 10.1109/IROS.1995.526237.

6. Matteo Russo, Xin Dong A calibration procedure for reconfigurable Gough-Stewart manipulators // Mechanism and Machine Theory.— 2020. — Vol. 152. — DOI:10.1016/j.mechmachtheory.2020.103920.

7. Yan H., Li C., Liu X., Zhang J. Calibration of Stewart Platform Based on Coordinate Measurement // Proceedings of 2011 International Conference on Modelling, Identification and Control. — Shanghai, China. — 2011. — pp. 469–474. —DOI:10.1109/ICMIC.2011.5973751.

Опыт проектирования типоразмерного ряда исполнительных приводов для космической робототехники

В.О. Гончаров[1]✉, Н.С. Слободзян[1], К.Н. Михайлов[1], А.В. Генералов[1], А.С. Титова[1], С.А. Комаров[2], С.А. Кузнецов[2]

[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова» (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова), Санкт-Петербург, Россия, vog97@yandex.ru

[2]Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва» (АО «РЕШЕТНЁВ»), г. Железногорск, Россия

Experience in designing a standard-sized range of actuators for space robotics

Vladislav O. Goncharov[1]✉, Nikita S. Slobodzyan[1],
Konstantin N. Michaylov[1], Aleksandr V. Generalov[1],
Anastasia S. Titova[1], Sergey A. Komarov[2],
Stanislav A. Kyznetsov[2]
[1]Baltic State Technical University «VOENMEH», St. Petersburg, Russia,
vog97@yandex.ru
[2]JSC Academician M.F. Reshetnev ISS, Zheleznogorsk, Russia

Современное развитие космической робототехники предъявляет высокие требования к исполнительным приводам, которые являются ключевыми компонентами в обеспечении функциональности и надежности космических аппаратов. В условиях стремительного прогресса в области автоматизации и роботизации, необходимость разработки типоразмерного ряда исполнительных приводов становится особенно актуальной. Это обусловлено потребностью в создании универсальных решений, способных адаптироваться к различным задачам и условиям эксплуатации в космическом пространстве.

Тенденции в роботизации космических аппаратов включают в себя повышение автономности, точности и скорости выполнения операций. Это требует разработки новых конструктивных и технологических решений, которые обеспечат высокую точность и надежность работы исполнительных механизмов [1].

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова по заказу АО «РЕШЕТНЁВ» была выполнена разработка и изготовление типоразмерного ряда универсальных мехатронных модулей, предназначенных для применения в составе механизмов космических аппаратов. Мехатронные модули являются универсальными и могут применяться при решении таких задач, как: раскрытие крупногабаритных трансформируемых конструкций (КТК) в автоматическом или автоматизированном режиме по заданной траектории с регулированием ускорений и скоростей раскрытий; наведение и стабилизация бортовой аппаратуры; манипуляции инструментом при ремонте и обслуживании космических аппаратов и др.

Универсальные мехатронные модули, помимо организации работы КТК, также обеспечивают решение ряда других задач. Модули могут применяться в качестве замены существующих отечественных или импортных аналогов при разработке и модернизации современных спутниковых платформ. Приводы раскрытия и ориентации солнечных батарей, оптико-электронных устройств, излучателей и рефлекторов могут быть сконфигурированы из ряда разработанных универсальных мехатронных модулей, что позволяет существенно

снизить затраты на разработку и модернизацию новых систем космического базирования.

В настоящем докладе рассмотрены три вида универсальных мехатронных модулей:

– исполнительные прецизионные универсальные мехатронные модули (УММ-ИП), обеспечивающие высокоточное вращательного движение выходного кинематического звена;

– исполнительные скоростные универсальные мехатронные модули (УММ-ИС), обеспечивающие вращательного движение выходного кинематического звена с высокой скоростью;

– электронные модули управления (УММ-Э), обеспечивающие функционирование УММ-ИП и УММ-ИС и контроль их технического состояния; УММ-Э обеспечивают управление угловым положением выходного кинематического звена исполнительных модулей в соответствии с полученными командами от устройства верхнего уровня и передачу информации об угловом положении выходного кинематического звена в систему верхнего уровня [2, 3].

В рамках доклада рассмотрены основные технические характеристики мехатронных модулей, приведено обоснование соответствующих конструктивных и технологических решений [4].

Литература

1. С.А. Матвеев, Е.Б. Коротков, Н.Г. Яковенко. Современные мехатронные и робототехнические решения для перспективных космических аппаратов дистанционного зондирования Земли и планет Солнечной системы // Материалы 21-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, 13–17 ноября 2023 года. – Москва: Институт космических исследований Российской академии наук, 2023. – С. 131. – EDN CZJLFP.

2. И. Б. Фуртат, Ю. А. Жуков, Е. Б. Коротков, Р. А. Пряничников Адаптивное нейросетевое управление универсальным мехатронным модулем космического назначения // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. – 2023. – № 3. – С. 41-50. – EDN EFYQDD.

3. / В. О. Гончаров, Н. С. Слободзян, Р. А. Пряничников. Разработка системы управления электроприводом космического назначения без применения микроконтроллера // Экстремальная робототехника. – 2022. – № 1(33). – С. 189-195. – EDN OFORLE.

4. А.С. Титова, А.В. Генералов, Е.А. Ковальчук. Анализ температурных деформаций и механических напряжений в конструкции

мехатронного привода космического // Вестник КРСУ. 2023. Т. 23. № 12. С. 117-124.

Автономные орбитальные роботизированные станции для сбора космического мусора на основе технологий искусственного интеллекта

Е.С. Квас, А.-А.В. Мельницкая, В.В. Назаренко,
М.В. Бутусов, А.В. Степанов
ФГАОУ ВО ГУАП, Санкт-Петербург, Россия, tigerbrine@mail.ru

Autonomous orbital robotic space debris collection stations based on artificial intelligence technologies

Evgeny S. Kvas, Anna-Alexandra V. Melnitskaya,
Valery V. Nazarenko, Mikhail V. Butusov,
Alexander V. Stepanov
SUAI, St. Petersburg, Russia, tigerbrine@mail.ru

Проблема космического мусора, который состоит из неактивных искусственных объектов, их фрагментов и составных частей, находящихся на земной орбите, становится все более актуальной из-за вопроса безопасности космических аппаратов. Космический мусор, не сгоревший при входе в атмосферу, может представлять угрозу для объектов. находящихся на земле. В связи с этим необходимо принятие мер по уменьшению опасности, представляемой неконтролируемыми обломками на земной орбите.

Проект направлен на снижение количества потенциально опасного мусора путем создания автономного робота, способного эффективно собирать мусор, оптимизируя очередность сбора объектов и планирование траектории, тем самым предотвращая повреждение иных космических аппаратов. Традиционные методы не обеспечивают необходимой эффективности и рационального использования ресурсов, поэтому мы предлагаем свой, на наш взляд, оптимальный метод решения возникшей проблемы.

В рамках проекта мы предлагаем использовать алгоритмы машинного обучения и нейронные сети для приоритезации объектов мусора на основе их характеристик: размер, орбита и вероятность столкновения. Для оптимизации маршрутов нами будут использоваться методы теории графов и алгоритмы поиска, такие как A* и D*, что позволит минимизировать затраты топлива и времени.

Интеграция динамического планирования с реальными данными о движении мусора обеспечит адаптацию робота к изменяющимся условиям.

Результаты имитационных моделей показывают высокую эффективность предложенной системы. В будущем планируется масштабирование до использования нескольких роботов в составе комплексных роботизированных систем. Проект может быть интегрирован с международными инициативами, направленными на решение глобальной проблемы загрязнения земной орбиты.

Качественная оценка управляемой адгезии исполнительных элементов космических микророботов

К.Н. Люсина, А.А. Жуков, А.С. Дмитриев
Московский авиационный институт (МАИ, национальный исследовательский университет), Москва, Россия, and_zhukov@mail.ru

Qualitative assessment of the controlled adhesion of the executive elements of space micro robots

Kaleria N. Lyusina, Andrey A. Zhukov, Alexander. S. Dmitriev
Moscow Aviation Institute (MAI, National Research University), Moscow, Russia, and_zhukov@mail.ru

Биморфный термомеханический актюатор – элемент микроэлектромеханической системы, состоящий из двух разнородных адгезионно связанных слоёв материала с разными коэффициентами теплового линейного расширения, образующих единую пластину. Принцип действия основан на деформации пластины за счёт перепада на её поверхности температур. Создание платформы космического микроробота-инспектора [1] на основе управляемой адгезии жид-

кого металла, подвижной частью которой будут являться биморфные термоактюаторы – техническое решение, являющееся ключом к решению актуальных проблем, которое может использоваться на космических станциях для инспекции панелей солнечных батарей.

Цель работы: качественная оценка управляемой адгезии исполнительных элементов космических микророботов для инспекции солнечных батарей Российской орбитальной станции. Идея использования галлия для управления адгезией высказана в [3], однако экспериментальные данные для микророботов космического назначения отсутствуют. Нами предложен следующий принцип действия шагающего микроробота: перемещение ноги микроробота, выполненной на основе биморфного термоактюатора, должно сопровождаться управляемыми процессами прилипания-отлипания к/от поверхности. В качестве адгезива предложено использовать жидкий галлий, нанесенный на стопы микроробота. При соприкосновении с поверхностью перемещения термоактюатор циклично и управляемо нагревается за счёт встроенного нагревателя и охлаждается за счёт отвода тепла в пространство. При этом изменяется смачивание поверхности перемещения и, как следствие, адгезия ног. Для экспериментальной оценки смачивания поверхности цериевого стекла [2] при варьируемой температуре использован галлий, свойства которого исследовали на разогреваемом внешнем источнике тепла. Измерения углов смачивания проводили гониометрическим методом на установке Krüss Easy Drop FM40Mk2, расчёт работы адгезии – по уравнению Юнга-Дюпре, принимая величину поверхностного натяжения галлия в вакууме равной 736 мН/м [4].

Обнаружено, что при постепенном увеличении температуры цериевого стекла капля жидкого галлия объёмом 15 мкл поднималась над смачиваемой поверхностью, т.е. происходило уменьшение контактной линии и увеличение высоты купола. С увеличением температуры контактный угол капли увеличивался (рис.), а контактный диаметр уменьшался от 4,79 мм до 4,23 мм.

Капля галлия совсем не оставляет следов на поверхности стекла, что является преимуществом для использования такого вида адгезии в условиях космоса. При росте температуры от 30°С до 170°С работа адгезии галлия уменьшается с 314 мДж/м^2 до 198 мДж/м^2 соответственно.

Таким образом, обнаружено, что температурный коэффициент краевых углов смачивания галлием цериевых стекол солнечных батарей космического назначения положителен, а работа адгезии с ростом температуры эксплуатации уменьшается приблизительно на 37

%. Регулируя поток тепла и контактные углы «галлий-термоактюатор» и «галлий-цериевое стекло», можно обеспечить перемещение микроробота в космическом пространстве, что позволит обоснованно подходить к разработке и реализации конструкции.

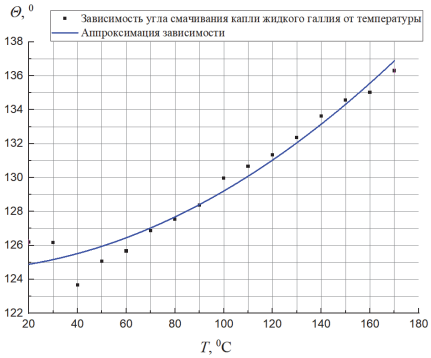


Рисунок 1 — Углы смачивания защитного стекла жидким галлием при варьируемой температуре

Литература

1. Болотник Н.Н., Дмитриев А.С., Жуков А.А., Чащухин В.Г. Микроробототехнический комплекс для инспекции космических аппаратов // МНТК «Экстремальная робототехника», Сборник тезисов 34-й Международной научно-технической конференции. – Санкт-Петербург: ООО «Типография Фурсова», 2023. – 306 с.: с. 202-204.

2. Рябцева М.В., Лебедев А.А., Наумова А.А. и др. Анализ конструкций перспективных солнечных батарей космических аппаратов // Инженерный журнал: наука и инновации, 2022. 26 с. DOI: 10.18698/2308-6033-2022- 3-2162.

3. Zhou Ye, Guo Zhan Lum and al. Gallium Adhesion: Phase Change of Gallium Enables Highly Reversible and Switchable Adhesion // Advanced Materials, 2016, p. 5087. DOI: 10.1002/adma.201670176.

4. Алчагиров Б.Б., Кясова О.Х., Дадашев Р.Х. и др. Поверхностное натяжение жидкого галлия в атмосфере азота // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. Т.IX, № 4, 2019, 84 с., с. 39-44.

Разностно-долготный метод прогнозирования результатов применения многоспутниковой системы наблюдения за морскими объектами

М.И. Калинов[1,2], В.А. Родионов[1,2]
[1]Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия, cesavo@mail.ru
[2]Санкт-Петербургское отделение Секции прикладных проблем при Президиуме Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия, var1959@mail.ru

A difference-longitude method for predicting the results of using a multi-satellite system for observing marine objects

Michael I. Kalinov[1,2], Vladislav A. Rodionov[1,2]
[1]St. Petersburg Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia, cesavo@mail.ru
[2]St. Petersburg Branch of the Section of Applied Problems under the Presidium of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia, var1959@mail.ru

Разработан разностно-долготный метод прогнозирования результатов применения многоспутниковой системы наблюдения за морскими объектами (МСНМО). Он позволяет производить имитацию процесса накрытия полосой обзора космического аппарата (КА) района наблюдения посредством проверки фактов попадания каждого участка заданной широты в диапазон долгот, определяемый для каждого КА как «захват по долготе». При этом под «захватом по долготе» понимается разность долгот между крайними точками отрезка параллели (широты), попадающего в зону обзора КА при его полете. В методе учитывается зависимость вероятности правильного распознавания обнаруженных объектов от времени устаревания данных, а также другие факторы, влияющие на применение КА по целевому назначению.

Для получения искомых оценок прогноза результатов применения МСНМО использовались разработанные разностно-долготный и известный сценарно-временной методы [1]. Моделировалось невозмущенное движение 48 КА (6 групп по 8 КА в группе) МСНМО при наклонениях орбит – 80 градусов, высотах орбит – 500 км, ширине полос обзора 2×300 км [2]. Время устаревания данных для задачи слежения (Т уст.) – 0,5 и 1,5 часа (рис. 1).

Анализ полученных данных показал, что прогнозные результаты применения МСНМО, полученные этими методами близки или совпадают, что позволяет достаточно корректно использовать разработанный метод в дальнейших исследованиях.

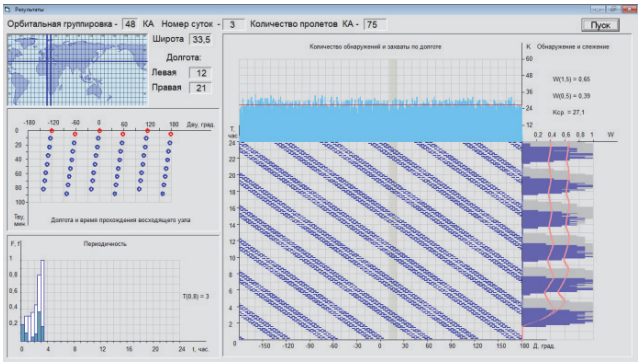


Рисунок 1 – Результирующая форма отображения информации при прогнозировании результатов применения МСНМО в районе Средиземного моря с использованием разностно-долготного метода (вариант)

Таблица 1 — Сравнение результатов прогноза применения МСНМО разностно-долготным и сценарно-временным методами

Район	Вероятность слежения (Туст.= 0,5 часа)	Вероятность слежения (Туст. = 1,5 часа)	Интервал времени между обнаружениями, час.	Среднее количество обнаружений в сутки
Северо-Восточная Атлантика	0,60/0,59	0,87/0,85	2,0/2,0	46,5/50,6
Средиземное море	0,39/0,37	0,65/0,62	3,0/3,0	27,0/24,9
Тихий океан	0,45/0,42	0,77/0,76	2,5/2,5	31,8/29,3

Для повышения достоверности получаемых результатов следует продолжить исследования возможности и целесообразности применения разработанного метода в более широком диапазоне исходных данных.

Литература

1. Калинов М.И., Родионов В.А. Особенности прогнозирования результатов применения многоспутниковой системы наблюдения за морскими объектами. М.: Информатизация и связь. Издательство «Испо-Принт». 2022. № 5. С. 42-49.

2. Основы теории полета космических аппаратов. Под ред. Нариманова Г.С., Тихонравова М.К. – М.: «Машиностроение», 1972.

Результаты анализа эффекта снижения проходимости шасси планетохода при движении по слабосвязанному грунту в условиях пониженной гравитации

А.И. Быков✉, А.В. Артемьев
Филиал АО «НПО Лавочкина» в г. Калуга, г. Калуга, Россия, bykovartem1994@yandex.ru

The effect of permeability reducing of the rover chassis moving on weakly cohesive soil in reduced gravity conditions the analysis results

Artem I. Bykov✉, Artem V. Artemev
Affiliate of Lavochkin Association, Kaluga, Russia, bykovartem1994@yandex.ru

Проходимость шасси планетохода является ключевым параметром в условиях движения по неорганизованному рельефу космического объекта. Для обеспечения высоких показателей проходимости на современных планетоходах используются шасси rocker-bogie. К преимуществам данного типа шасси относятся способность преодолевать препятствия размером вдвое больше диаметра колёса, сохраняя контакт всех шести колёс с опорной поверхностью, и уменьшение угла наклона корпуса аппарата [1].

Однако практический опыт эксплуатации марсоходов с данным типом шасси показал, что при движении по слабосвязанному грунту возникает сильное буксование колёсных движителей, которое снижает проходимость планетохода в целом, а в некоторых случаях приводит к полной потере подвижности. Стоит отметить, что в рамках

наземной экспериментальной отработки с использованием обезвешанных ходовых макетов марсоходов не наблюдалось высокого значение буксования колёсных движителей при перемещении по слабосвязанному грунту [2].

Впоследствии экспериментальные исследования тягово-сцепных свойств отдельного колёсного движителя планетохода, перемещающегося по слабосвязанному грунту, при имитации пониженной гравитации на борту самолёта, летящего по параболической траектории, позволили добиться эффекта роста буксования колеса. Возникновение данного эффекта связано с тем, что при имитации пониженной гравитации данным способом обезвешивается не только колёсный движитель, но и грунт. Анализ результатов, полученных при экспериментальных исследованиях показал:

1. в условиях пониженной гравитации уменьшается угол наклона функциональной зависимости коэффициента сцепления от коэффициента буксования ввиду роста величины буксования колёсного движителя;

2. с уменьшением гравитационного воздействия увеличивается скорость движения грунта в контакте с колёсным движителем [2].

Стоит отметить, что данные эффекты в земных гравитационных условиях наблюдаются при увеличении силы тяги и скорости движения колёсного движителя по слабосвязанному грунту [3]. Также результаты инициативных экспериментальных исследований, проведённых в филиале АО «НПО Лавочкина» в г. Калуга, по изучению тягово-сцепных свойств колёсных движителей при имитации пониженной гравитации путём масштабного моделирования показали аналогичное с результатами на борту летающей лаборатории уменьшение угла наклона функциональной зависимости коэффициента сцепления от коэффициента буксования.

Исходя из анализа работ [2], [3] и результатов инициативных исследований в филиале АО «НПО Лавочкина» в г. Калуга предложена следующая модель для описания функциональной зависимости коэффициента сцепления от коэффициента буксования колёсного движителя по слабосвязанному грунту в условиях пониженной гравитации:

$$\varphi(s) = \varphi_{max}\left(1 - \frac{A_3}{\sqrt{k_g}}v_k\right)\left(1 - e^{-\frac{sk_g^2}{s_{013}}}\right),$$

где $\varphi(s)$ – коэффициент сцепления; φ_{max} – максимальное значение коэффициента сцепления; A_3 – коэффициент, зависящий от конструкции колёсного движителя и дорожных условий в земных гравитационных условиях, с/м; k_g – гравитационный коэффициент, равный отношению ускорения свободного падения на космическом объекте к ускорению свободного падения на Земле; v_k – линейная скорость движения колеса, м/с; s – коэффициент буксования; s_{013} – коэффициент, описывающий форму кривой.

Исходя из совокупности результатов, полученных в рамках данной работы, следует, что снижение проходимости планетохода по слабосвязанному грунту в условиях пониженной гравитации связано с ростом коэффициента буксования. Следовательно, для увеличения проходимости планетохода необходимо снизить величину буксования путём уменьшения скорости движения грунта в контакте с колёсным движителем. Снижение скорости движения грунта в контакте с колёсным движителем можно добиться выбором конструктивных параметров грунтозацепов колёс планетохода согласно следующего выражения [3]:

$$\theta_1 < \frac{1}{1-s}\left(\sqrt{(1+h_\Gamma{}')^2-(1+z')^2}-\sqrt{1-(1+z')^2}\right),$$

где θ_1 – шаг грунтозацепов, град; $h_\Gamma{}'$ – отношение высоты грунтозацепа к радиусу колеса; z' – отношение осадки колеса в грунт к радиусу колеса.

Однако, согласно работы [4] шаг и высота грунтозацепов могут снижать среднюю линейную скорость движения колёсного движителя и для исключения данного эффекта необходимо выбирать конструктивные параметры грунтозацепов согласно следующего выражения:

$$\theta_2 \leq 0{,}5 arccos\left(\frac{r_k-z}{r_k+h_\Gamma}\right),$$

где r_k – радиус колёсного движителя, м; z – величина осадки колеса в грунт, м; h_Γ – высота грунтозацепа, м.

Исходя из этого, для обеспечения высокого показателя проходимости планетохода по слабосвязанному грунту в условиях пониженной гравитации и снижения влияния конструктивных параметров колёсных движителей на линейную скорость перемещения в данной

работе предлагается выбирать конструктивные параметры грунтозацепов в соответствии со следующим неравенством:

$$\theta_2 \leq \theta_{\text{рез}} < \theta_1.$$

Литература

1. Быков А.И., Артемьев А.В. Результаты анализа тяговой динамики и устойчивости движения планетохода для определения граничных конструктивных параметров специальных колесных шасси// Робототехника и техническая кибернетика. – 2022. – Т. 10. № 1. – С. 64-72.

2. Niksirat P., Skonieczny K., Nassiraei A.A.F. Characterizing the effects of reduced gravity on rover wheel-soil interactions using computer vision techniques. In: 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 4739–4745. Montreal, Quebec, Canada (May 20, 2019 - May 24, 2019).

3. Hirotoshi Nakamura , Kenji Nagaoka , Kazuya Yoshida Soil flow analysis for grouser wheels based on a particle image velocimetry method / Journal of Terramechanics 91(2):233-241.

4. Masataku Sutoh, Kenji Nagaoka, Keiji Nagatani, Kazuya Yoshida Design of wheels with grousers for planetary rovers traveling over loose soil // Journal of Terramechanics 50 (2013) 345–353.

Применение метода наименьших квадратов для нахождения взаиморасположения осей вращения двухосной поворотной платформы

Т.П. Романенко, В.В. Варлашин✉, Н.В. Заруцкий
Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, v.varlashin@rtc.ru

Application of the least squares method to find the relative positions of the rotation axes of a two-axis rotary platform

Taras P. Romanenko, Viktor V. Varlashin✉, Nikolay V. Zarutskii
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), St. Petersburg, Russia, v.varlashin@rtc.ru

Двухосная поворотная платформа (ДПП) предназначена для установки на Международной космической станции и наведения полезной нагрузки (ПН) по двум взаимно перпендикулярным осям «α» и «β» с задаваемой скоростью и на задаваемый угол (рисунок 1). В процессе разработки и отладки требуется измерить отклонение от перпендикулярности взаимного расположения осей вращения «α» и «β» для введения поправок в управляющую программу, пересчитывающую заданную траекторию скольжения точки наведения на Землю в углы поворота шарниров ДПП.

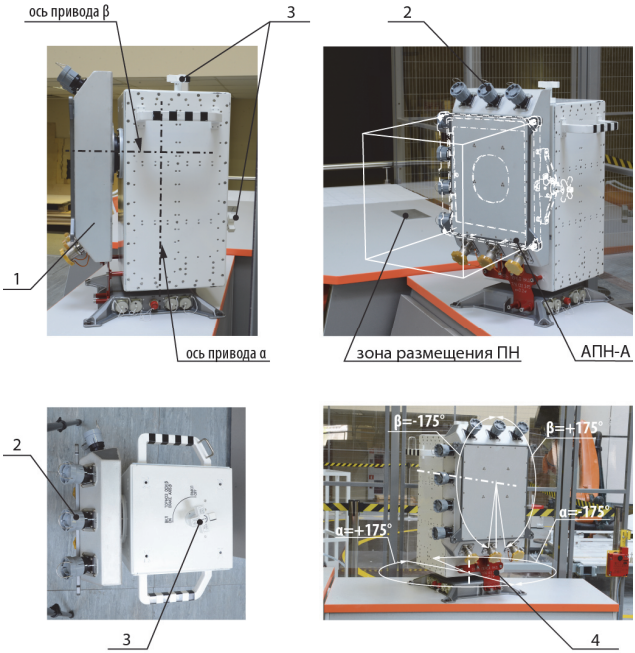


Рисунок 1 — Внешний вид ДПП: 1 – консоль крепления полезной нагрузки; 2 – разъем блочный внекорабельной деятельности; 3 – рукоять ручной фиксации тормоза; 4 – кронштейн арретирования

Для обработки измерений реализован метод обработки (МО), основанный на методе наименьших квадратов и однородных преобразованиях. МО позволяет по входным измерениям в виде двумерного массива вычислить координаты двух точек, принадлежащих оси вращения. Массив описывает траекторию движения точки, связанной с ПН (рисунок 2) по окружности в пространстве в декартовой системе

координат. Массив получен с использованием системы захвата движения. Первая точка, принадлежащая оси вращения, находится как центр круговой траектории движения точки, связанной с ПН. Вторая точка, принадлежащая оси вращения, смещена относительно первой на заданное расстояние из первой точки в направлении нормали к срединной плоскости, построенной через точки траектории движения.

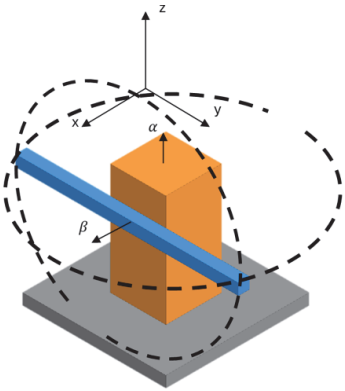


Рисунок 2 — Схематичное изображение траектории движения наблюдаемых точек, связанных с полезной нагрузкой и ДПП

Координаты, записываемые в массив, имеют погрешность измерения, поэтому требуется определить влияние погрешности измеренных координат траектории на вычисленные координаты пары точек, а также найти, с какой погрешностью вычислены координаты пар точек. Для сравнительного анализа результатов, получаемых МО, реализован метод генерации (МГ), генерирующий массив координат траектории по заданным параметрам, а именно: радиус окружности, начальный угол поворота ДПП по осям «α» или «β», угловая скорость, количество точек в траектории, закон распределения для вносимой погрешности измерений, применяемой к координатам точек траектории. Полученный массив обработан МО. Получена разница между значениями координат центрами окружности до применения погрешности к сгенерированному массиву и после.

Также реализован метод расчёта (МР), основанный на геометрических преобразованиях и нормальном уравнении плоскости. С помощью МР по координатам пары точек, полученным с использованием МО, вычислено взаиморасположение двух осей. Для проверки влияния погрешности на МР, используя МГ и МО, получены 1000

пар точек для вертикальной оси и 3000 пар точек для горизонтальной оси в разных положениях. Эти данные переданы в МР и получены три миллиона значений расстояния между осями и три миллиона значения углов.

После проведения натурных экспериментов и обработки полученных траекторий движения наблюдаемых точек ДПП вычислен массив параметров пространственного расположения скрещивающихся прямых, задающих оси вращения шарниров ДПП, а также математическое ожидание для расстояния между осями и математическое ожидание для углов между осями.

Исследование влияния оптимизации регулируемой физической жёсткости шарниров манипулятора

И.В. Шардыко, В.В. Титов
Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, i.shardyko@rtc.ru, vtitov@rtc.ru

Благодарности
Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России на 2024 год № 075-00697-24-00 «Исследования конструкций и разработка методов управления мехатронными узлами с переменной жесткостью» (FNRG-2022-0009, регистрационный номер 1021060307688-8-2.2.2).

A study on the influence of the variable physical stiffness optimization of robotic arm joints

Igor V. Shardyko, Victor V. Titov
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics, St. Petersburg, Russia, i.shardyko@rtc.ru, vtitov@rtc.ru

Acknowledgements
This research is supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation. State assignment №075-00697-24-00

«Research of structures and control methods development for mechatronic nodes with variable rigidity» (FNRG-2022-0009, ID 1021060307688-8-2.2.2).

Одним из основных направлений развития роботов в последние десятилетия стали роботы с механически упругими шарнирами [1,2], обеспечивающие бóльшую контактную безопасность при взаимодействии со средой и с человеком, а также более высокое качество управления контактными усилиями. Последнее связано с тем, что вместо контактные усилия вместо микродеформаций, характерных для традиционных жёстких манипуляторов, вызывают деформации пружин, достаточные для измерения датчиками положения. Через управление величиной деформации также удобно реализовывать и импедансное управление [3].

В целях повышения адаптивных свойств таких роботов создаются различные варианты шарниров с переменной жёсткостью [4]. Возможность регулирования жёсткости в некотором физически доступном диапазоне ставит вопрос о выборе оптимальных значений для той или иной задачи. В работе [5] для манипулятора DLR Hand Arm System был предложен регулятор, где статическая жёсткость манипулятора определялась совместно значениями физической и виртуальной (коэффициенты импедансного регулятора) жёсткости, для чего была предложена двухэтапная оптимизация.

Однако, впоследствии был разработан более передовой регулятор ESpi – импедансный регулятор с сохранением упругой структуры [6], - в котором статическая жёсткость определяется только коэффициентами регулятора. Влияние механической жёсткости сохраняется только во время переходного процесса, определяя характер и величину динамической ошибки. Соответственно, оптимизацию можно сократить до одного этапа, критерием которого выступает приближение декартовой матрицы жёсткости к желаемым значениям. Для этого выбирается взвешенная норма Фробениуса, которая преобразуется в евклидову норму для применения метода наименьших квадратов с учётом физических ограничений.

Влияние оптимизированной жёсткости шарниров на работу манипулятора было рассмотрено в двух задачах – отклонение вследствие ступенчатого и вследствие синусоидального воздействия на рабочую точку манипулятора. Результаты моделирования в Matlab-Simulink показывают, что оптимальные значения жёсткости приводят к минимизации времени переходного процесса, в сравнении с

выбором жёсткости на краях и в центре диапазона. При синусоидальном воздействии оптимизация обеспечивает максимальную полосу пропускания, однако максимизируется и взаимовлияние между некоторыми степенями свободы. Однако, в ряде случаев различия оказываются незначительными. Можно сделать вывод, что в случае, когда нет возможности обоснованно заранее выбрать значения жёсткости шарниров, оптимизация может быть выбрана как такое обоснование, тем не менее, существенно приблизить жёсткость рабочей точки к желаемой, оказывается невозможно в силу недостаточности числа регулируемых параметров.

Литература

1. Pratt J., Krupp B., Morse C. Series elastic actuators for high fidelity force control // Industrial Robot: An International Journal. – 2002. – Vol. 29. – №. 3. – pp. 234-241.

2. Haddadin S. et al. The franka emika robot: A reference platform for robotics research and education //IEEE Robotics & Automation Magazine. – 2022. – Т. 29. – №. 2. – С. 46-64.

3. Pratt G. A. et al. Late motor processing in low-impedance robots: Impedance control of series-elastic actuators // Proceedings of the 2004 American control conference. – IEEE, 2004. – Vol. 4. – pp. 3245-3251.

4. Albu-Schäffer A. et al. Anthropomorphic soft robotics–from torque control to variable intrinsic compliance //Robotics Research: The 14th International Symposium ISRR. – Springer Berlin Heidelberg, 2011. – С. 185-207.

5. Petit F., Albu-Schäffer A. Cartesian impedance control for a variable stiffness robot arm //2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. – IEEE, 2011. – С. 4180-4186.

6. Keppler M. et al. Elastic structure preserving impedance (ESπ) control for compliantly actuated robots //2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). – IEEE, 2018. – С. 5861-5868.

Интерфейс дополненной реальности для совместных операций космонавтов и автономных мобильных роботов на лунной поверхности

И.Н. Куликов[1]✉, Б.И. Крючков[1], В.М. Усов[1,2]
[1]*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина» (НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина) Звездный городок, Московская обл., Россия, I.Kulikov@gctc.ru*
[2]*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Государственный научный центр Российской Федерации Институт медико-биологических проблем Российской академии наук (ГНЦ РФ – ИМБП РАН), Москва, Россия*

Augmented reality interface for joint operations of cosmonauts and autonomous mobile robots on the lunar surface

Igor N. Kulikov[1]✉, Boris I. Kryuchkov[1], Vitaliy M. Usov[1,2]
[1]*Federal State Organization «Yu.A.Gagarin Research &Test Cosmonaut Training Center» (Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center) Star City, Moscow Region, Russia, I.Kulikov@gctc.ru*
[2]*The Russian Federation State Research Center – Institute of Biomedical Problem of the Russian Academy of Sciences (IMBP RAS), Moscow, Russia*

Перспективные планы освоения Луны человеком предполагают применение лунных роботов, которые способствуют мобильности и оперативности действий космонавтов на поверхности Луны с учётом ожидаемых трудностей навигации в условиях снижения видимости. Сложные задачи поиска полезных ископаемых, транспортировки грузов и размещения научных приборов потребуют разработок, которые позволят экипажу в условиях максимальной автономности безопасно выполнять операции внекорабельной деятельности (ВнеКД), поддерживать коммуникацию непосредственных участников работ с совместным доступом к источникам релевантной информации.

В настоящее время рассматриваются различные варианты коллаборации космонавтов и лунных роверов, рассматриваемых в качестве роботизированых средств транспортировки космонавтов и средств сервисного обеспечения ручных операций. Одно из наиболее интенсивно исследуемых направлений представлено автономными мобильными роботами для разведки и картографирования, получение информации от которых открывает путь к использованию

технологий виртуальной реальности и искусственного интеллекта для улучшения ситуационной осведомлённости космонавта в напланетном скафандре и группы удалённой поддержки операций ВнеКД.

В докладе рассмотрены вопросы совместного выполнения операций космонавтов-исследователей и группой лунных роботов в целях обеспечении мобильности экипажа, как при перемещении на значительные расстояния с помощью напланетных роверов, так и при шаговом передвижении в локациях, в которых необходимо проводить непосредственный монтаж, наладку и контроль работоспособности научного оборудования, осуществлять операции транспортировки и складирования грузов, перемещения собранных образцов лунного грунта и т.д. Необходимость информационной поддержки космонавта при выполнении ВнеКД на лунной поверхности в защитном снаряжении (космическом скафандре), потребует обеспечения:

– коммуникации дистанционно удалённых друг от друга членов экипажа (в том числе, как на лунных базах, так и вне герметически замкнутых объектов на поверхности Луны);

– комплексирования и индикации визуальных данных, позволяющих обеспечить совместный доступ членов экипажа к инструментам распознавания объектов внешней среды, навигационной и справочной информации, данных о локализации объектов в зоне активности космонавта, предупредительной информации о возможных рисках внепланового развития событий;

– анализа навигационной информации и информации о рисках коллизий при перемещении мобильных лунных роботов и пр.

В настоящее время привлекает внимание использование интегрированных в конструкцию космического скафандра мультимедийных устройств смешанной (виртуальной и дополненной) реальности, чтобы обеспечить ситуационную осведомлённость космонавтов во время ВнеКД посредством совмещения пространственного представления в едином поле зрения космонавта картины внешней среды, инструкций по выполнению операции, информации о техническом состоянии систем скафандра, биометрических показателях жизнедеятельности человека и др. При этом существует объективная потребность использовать многомодальный интерфейс для задания команд управления, в первую очередь, для реализации жестового и речевого способа ввода команд из-за ограничений локомоций человека в условиях ношения космического скафандра.

В числе наиболее перспективных решений рассматриваются проекционные головные дисплеи (HUD). В то же время, их внедрение для ВнеКД на Луне сопряжено с такими трудностями, как широкий

диапазон изменения освещенности, яркость, контрастность, сложные механизмы управления интерфейсом, ограничения полей зрения и общего объема графических данных, которые можно передать, не вызывая нагрузки на зрительный анализатор космонавта.

В докладе приводится обоснование экспериментального исследования в условиях послеполетных и длительных изоляционных экспериментов возможностей внедрения HUD-дисплеев для космического скафандра на базе интерфейсов дополненной реальности (AR-интерфейсов). Они должны отвечать целям создания навигационного помощника, планирования и прохождения маршрута с выявлением и распознаванием искусственных и естественных объектов на Луне, с которыми может быть связан риск коллизий, требующих, в том числе, выполнения маневра исключения столкновений с препятствиями.

Исследования особенностей выполнения космонавтами совместной операторской деятельности по применению антропоморфного робота, совмещенного с мобильной платформой в режиме телеуправления в длительных космических экспедициях

В.А. Дикарев, А.Н. Симбаев, А.Ю. Кикина, Ю.С. Чеботарев, И.А. Буковская, Э.В. Никитов
ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», п. Звездный городок, Московская обл., Россия, A.Simbaev@gctc.ru

Studies of the peculiarities of cosmonauts performing joint operator activities on the use of an anthropomorphic robot combined with a mobile platform in remote control mode in long-term space expeditions

Vladimir A. Dikarev, Alexander N. Simbaev, Anna Yu. Kikin, Yuri S. Chebotarev, Inna A. Bukovskaya, Eduard V. Nikitov
STATE Organization «Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center», Star City, Moscow region, Russia, A.Simbaev@gctc.ru

При реализации различных космических программ предполагается использование возможностей коллаборативных роботизированных технологий и средств (КРТиС) в длительной космической экспедиции. К настоящему времени наработан опыт применения робототехнических систем (РТС) космического назначения (КН) в рамках изоляционного эксперимента «Сириус-21/22» по направлению «Космическая робототехника», в котором исследованы некоторые аспекты применения РТС для поддержания операторской деятельности экипажей при реализации перспективных пилотируемых космических программ. В настоящее время ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю. А. Гагарина» проводятся экспериментальные исследования «Сириус-23/24» с 12-месячной изоляцией на базе ГНЦ РФ-ИМБП РАН в разделе «Робототехника». При проведении эксперимента предусматривается рассмотрение операционно-технологических аспектов автономности выполнения совместных операций с эффектом сотрудничества с использованием РТС при ограничениях функциональных возможностей членов экипажа в условиях длительной космической экспедиции.

В рамках создания технических средств подготовки космонавтов сформулированы предложения по созданию комплексного стенда-тренажера робототехнических систем (КСТ РТС) в продолжение дальнейшего развития существующего универсального компьютерного стенда РТС (УКС РТС) [1]. КСТ РТС позволит осуществлять подготовку космонавтов к управлению РТС КН с целью выполнения совместных операций при ограничениях функциональных возможностей членов экипажа в длительной космической экспедиции, проведение целевых работ по космической робототехнике. Это обеспечит формирование у космонавтов умений и навыков применения РТС КН, включая исследования и экспериментальную отработку проблемных вопросов их взаимодействия.

В интересах верификации технологических процессов операционной и информационной поддержки деятельности членов экипажа с использованием КРТиС в обеспечение автономности выполнения совместных операций при ограничениях функциональных возможностей в проекции на перспективные длительные пилотируемые космические экспедиции, актуальным является проведение научно-технических исследований по следующим направлениям:

– исследование операционно-технологических аспектов автономности выполнения с эффектом сотрудничества совместных операций с использованием РТС при ограничениях функциональных возможностей членов экипажа в длительной космической экспедиции;

– исследование процесса подготовки (до, во время изоляции)

членов экипажа с использованием виртуальных моделей к применению физических образцов КРТиС в длительной космической экспедиции;

– исследование динамики изменения качества выполнения (до, во время и после изоляции) операторской деятельности членов экипажа с использованием КРТиС в условиях длительной космической экспедиции.

Результаты исследований позволят обосновать организационно-методические рекомендации по подготовке космонавтов к бортовой реализации научно-прикладных исследований по КРТиС в обеспечение автономности выполнения совместных операций при ограничениях функциональных возможностей членов экипажа в условиях длительной космической экспедиции.

Литература

1. О создании комплексного стенда-тренажера робототехнических систем для решения научно-прикладных задач на Российской орбитальной станции / В.А. Дикарев, А.Н. Симбаев, А.Ю. Кикина, Д.А. Петелин, Ю.С. Чеботарев, Э.В. Никитов, А.В. Фалеев, И.А. Пеньков. //Пилотируемые полеты в космос. – №2 (51)/2024. – С. 47-61.

Разработка проектного облика луноходов на основе унифицированных интеллектуальных мобильных платформ

М.И. Маленков, В.А. Волов, А.Н. Богачев, Н.К. Гусева, Е.А. Лазарев

Акционерное общество Научно-Технический Центр РОКАД (АО НТЦ РОКАД) Санкт-Петербург, Россия, info@rocad.ru

Development of the project design for lunokhods based on unified intelligent mobile platforms

Mikhail I. Malenkov, Valery A. Volov, Alexey N. Bogachev, Natalia K. Guseva, Evgeny A. Lazarev

JS Co Science and Technical Center ROCAD (JS Co STC ROCAD), St. Petersburg, Russia, info@rocad.ru

В докладе продолжено изложение результатов проектно – компоновочных и расчетно– теоретических исследований авторов по проблеме создания мобильной робототехники для Международной Научной Лунной Станции (МНЛС) [1, 2, 3]. Напомним, что авторы придерживаются концепции создания робототехнического парка МНЛС на основе унифицированных интеллектуальных мобильных платформ (ИМП) (рис. 1).

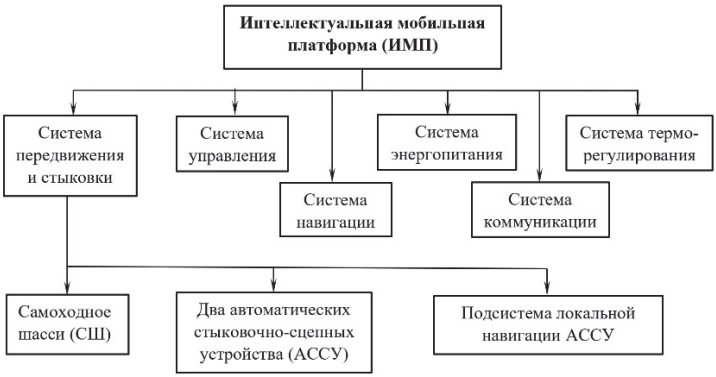


Рисунок 1 — Структурная схема ИМП

Как видно из рисунка 1, в отличие от самоходных шасси (СШ) реальных луноходов и марсоходов, система передвижения которых определяется только СШ, система передвижения ИМП включает в свой состав ещё носовое и кормовое автоматические стыковочно-сцепные устройства (АССУ), а также подсистему локальной (в пределах прямой видимости) навигации, включающую навигационные камеры, блок и программы управления движением при стыковках и расстыковках ИМП. Состав ИМП соответствует структуре служебных систем советских луноходов.

Специализация лунохода на основе подобных унифицированных ИМП определяется навесным и встроенным оборудованием. В настоящее время нами рассматриваются две модификации ИМП: «тяжелый» вариант массой 1800 кг, предназначенный для транспортировки цилиндрических модулей МНЛС, масса которых, на основании разработок [4] и опыта эксплуатации МКС, в расчетах принята равной 18000 кг, диаметр 4м и длина 8м. Транспортировка таких модулей возможна в составе сцепки из двух «тяжелых» ИМП с жесткими металлосетчатыми колесами [5] (рис. 2).

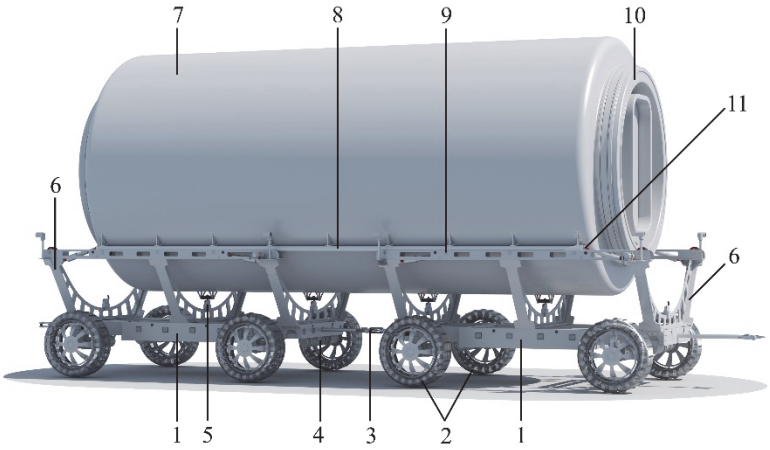


Рисунок 2 — Проектный облик сцепки двух ИМП для транспортировки модулей лунной станции от места посадки до места автоматической сборки

1-самоходное шасси ИМП-1 и ИМП-2, 2-жёсткие металлосетчатые колёса, 3-АССУ в состыкованном состоянии двух ИМП, 4-рычаги активной подвески ходовой части, 5-фиксаторы модуля на ложементе; 6-ложементы ИМП-1 и ИМП-2, 7-модуль лунной станции, 8-направляющие элементы модуля; 9-оси роликов, на которые опираются направляющие, 10- стыковочное устройство модуля лунной станции, 11-стопорные механизмы

Сцепка обеспечивает скорость 0,4 км/ч на подъемы не более 12° по специально подготовленной трассе, обеспечивающей коэффициент сопротивления качению колес не более $f \leq 0{,}12$. Порожние рейсы возможны со скоростью до 2 км/ч. Напомним, что при движении по лунной целине в тягово-динамические расчеты луноходов закладывался $f \leq 0{,}2$. Предлагаемый способ подготовки трассы базируется на результатах исследований физико-механических свойств лунного грунта, выполненных на трассах движения советских Луноходов-1 и 2.

«Легкий» вариант ИМП, собственной массой 500 кг снабжен профилированными металлоупругими колесами [6]. Легкая ИМП массой 500 кг позволяет перевозить на неподготовленной лунной поверхности герметичные жилые кабины, научное, строительное, буровое и иное оборудование массой до 2500 кг со скоростью от 1 км/ч (на подъемах не более 20°) до 5 км/час (на подъемах не более 5°). Этот вариант ИМП подходит как для автономных луноходов, так и для мобильных робототехнических комплексов (МРТК) – лунных

поездов XXI века для дальних (400 и более км) комплексных экспедиций, поиска и добычи полезных ископаемых.

Все технические решения по роботизированным технологиям и устройствам опираются на научно – технический задел и системные подходы школы проектирования СШ луноходов, созданной А.Л. Кемурджианом. Заявки на патентование приняты для рассмотрения.

Литература

1. Маленков М.И. и др. О концепции интеллектуальных мобильных платформ Международной лунной научной станции. Труды конференции ЭР-2022, ЦНИИ РТК, СПб. 2022. С. 339-342. https://er.rtc.ru/images/docs/2022/Abstracts-2022-2.pdf

2. Malenkov M. I. Discussion of the concept of mobile robotic complexes for the International Lunar Research Station. Moscow. IKI RAS. 2022. P.116-118. https://ms2022.cosmos.ru/docs/2022/13-MS3_BOOK_18-10-22l.pdf

3. Маленков М.И. и др. Поисковые разработки проектного облика мобильных платформ для лунной базы. Сборник тезисов конференции ЭР-2023. ЦНИИ РТК, СПб. 2023. С. 210-211. https://er.rtc.ru/images/docs/2023/Sbornik-tezisov_ER-2023.pdf

4. Мержанов А.И. Лунная база «Барминград». Воздушно-космическая сфера. 2018. № 2. С. 107-117.

5. Митин Б.В. и др. Колесо транспортного средства для движения в вакууме. А.С. СССР №806472. Бюл. изобретений №7 от 23.02.1981.

6. Митин Б.В. и др. Колесо транспортного средства. А.С. СССР № 839740. Бюл. изобретений №23 от 28.06.1981.

Использование собственных инерционных движений при построении управления для роботизированного космического модуля

П.П. Белоножко

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, byelonozhko@mail.ru

The use of own inertial movements in the synthesis of control for a robotic space module

Pavel P. Belonozhko
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia, byelonozhko@mail.ru

Современное состояние космической робототехники характеризуется наличием значительного опыта эксплуатации уникальных робототехнических устройств космического назначения с одной стороны, и многообразием потенциальных направлений развития с другой [1-3]. Широкий спектр задач [4] и сложность реализации масштабных проектов, требующих долговременной стратегии [2-3], обусловливают разнообразие концепций перспективных устройств, не имеющих аналогов и прототипов.

Основываясь на логике технического развития можно предположить в качестве масштабной перспективной задачи создание крупногабаритного модульного необитаемого (эпизодически посещаемого) космического объекта, монтаж и сервисное обслуживание которого осуществлялось бы автономными средствами робототехники [1-3]. В качестве таких средств в [2-3], [5-7] предложено рассматривать автономные монтажно-сервисные роботизированные космические модули, осуществляющие захват фрагментов собираемой конструкции, доставляющие их к месту сборки и устанавливающие в штатное положение при помощи манипулятора (рис. 1).

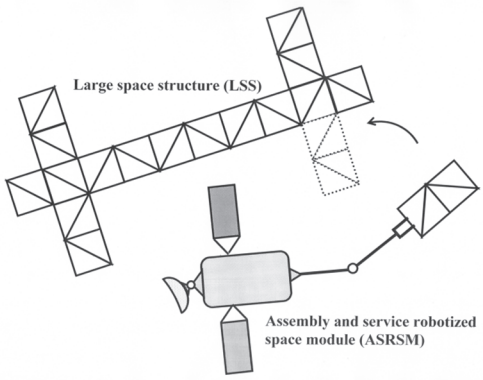


Рисунок 1 — Сборка крупногабаритной космической конструкции с использованием автономного монтажно-сервисного роботизированного космического модуля

Характерной особенностью таких модулей является возможность управляемых режимов движения при отсутствии сил, внешних по отношению к системе «космический модуль – манипулятор – перемещаемый груз». При этом управление изменением ее конфигурации целесообразно строить в соответствии с инерционными (баллистическими) движениями по внутренним степеням свободы (шарнирным координатам).

Показано [5-7], что при определенных допущениях, не накладывающих обременительных ограничений на класс рассматриваемых объектов, возможно введение в рассмотрение в качестве объекта управления приведенной системы, описываемой уравнениями Рауса.

На примере простейшего модельного случая плоского двухзвенного механизма показано [5-7], что динамика приведенной системы – нелинейной колебательной системы с одной степенью свободы – допускает качественное аналитическое исследование с наглядной физической интерпретацией результатов.

Полученные результаты могут быть обобщены на широкий класс модельных объектов, а предложенный подход использован при проектировании монтажно-сервисных роботизированных космических модулей на стадии определения первоначального конструктивного облика и выбора рациональных режимов функционирования.

Литература

1. Белоножко, П. П. Космическая робототехника: опыт и перспективы развития / П. П. Белоножко // Воздушно-космическая сфера. – 2018. – № 1(94). – С. 84-93. – DOI 10.30981/2587-7992-2018-94-1-84-93. – EDN YWIMOL.

2. Белоножко, П. П. Космическая робототехника для монтажа и сервиса. Потенциальные задачи, концепции перспективных систем / П. П. Белоножко // Воздушно-космическая сфера. – 2019. – № 2(99). – С. 84-97. – DOI 10.30981/2587-7992-2019-99-2-84-97. – EDN JXNUJK.

3. Belonozhko, P. P. Modern Space Robotics: History, Trends, Prospects / P. P. Belonozhko // Studies in Systems, Decision and Control. – 2020. – Vol. 272. – P. 161-170. – DOI 10.1007/978-3-030-37841-7_13. – EDN QKLRFT.

4. Перспективы применения модульных манипуляторов в космической робототехнике / А. В. Васильев, И. В. Шардыко, В. А. Гольдберг, В. М. Копылов // Экстремальная робототехника. – 2022. – № 1(33). – С. 583-594. – EDN WJAOLG.

5. Белоножко, П. П. Особенности режимов функционирования перспективных монтажно- сервисных автономных роботизированных космических модулей / П. П. Белоножко // Экстремальная робототехника. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 147-156. – EDN WKFVOH.

6. Белоножко, П. П. Синтез программных движений роботизированного космического модуля с учетом собственной динамики приведенной системы / П. П. Белоножко // Экстремальная робототехника. – 2018. – Т. 1. – № 1. – С. 51-58. – EDN YNCUJF.

7. Belonozhko, P. P. Assembly and Service Robotic Space Module. Mathematical Model of the Reduced System / P. P. Belonozhko // Studies in Systems, Decision and Control. – 2020. – Vol. 259. – P. 337-347. – DOI 10.1007/978-3-030-32579-4_27. – EDN BWCKBG.

СЕКЦИЯ «ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Методическое обеспечение образовательной деятельности в области робототехники и БПЛА: современный подход

М.Е. Данилин, О.П. Меньшиков✉, К.Н. Юсупова,
К.Р. Ахтямов, И.И. Инин
ООО «АВАНТИ-СОФТ», Иннополис, Республика Татарстан, Россия,
metod@avgr.tech

Methodological support of educational activities in the field of robotics and UAVs: a modern approach

Maksim E. Danilin, Oleg P. Menshikov✉, Kristina N. Yusupova,
Kamil R. Akhtyamov, Igor I. Inin
LLC «AVANTI-SOFT», Innopolis, Republic of Tatarstan, Russia, metod@avgr.tech

Современное образование включает робототехнику в качестве важнейшего элемента подготовки специалистов, способных адаптироваться к высокотехнологичному будущему. Рост автоматизации и ИИ требует формирования междисциплинарных знаний у учащихся, развития критического мышления и креативных навыков. Важную роль в этом играет методическое обеспечение образовательного процесса, которое помогает эффективно интегрировать технологии в учебные программы, соответствующие современным стандартам и требованиям рынка труда. Методическое обеспечение включает в себя не только учебные программы и теоретические материалы, но и практические задания, а также руководство по эксплуатации, настройке и программированию продуктов, что обеспечивает полное освоение как теоретических, так и практических аспектов изучаемых технологий [1,2].

Современные методики обучения робототехнике позволяют учащимся развивать базовые инженерные и IT-навыки, охватывая такие области, как программирование, электроника и механика [3]. Это помогает учащимся видеть практическое применение теоретических знаний, способствуя развитию комплексного мышления и навыков решения реальных задач. Большое внимание уделяется поддержке преподавателей: семинары, тренинги и вебинары помогают им осваивать новые технологии и методики преподавания, а также получать

доступ к дополнительным материалам, что облегчает подготовку к занятиям.

Методическое обеспечение также включает инструменты для мониторинга и анализа эффективности учебных программ, что позволяет своевременно корректировать и улучшать учебный процесс. Это способствует поддержанию высокого уровня образования и обеспечивает всестороннее развитие учащихся, помогая им овладеть современными технологиями и развить навыки критического мышления, творчества и командной работы.

Одну из ключевых ролей в развитии отечественных информационных технологий и подготовке квалифицированных инженерных кадров, начиная с дошкольного образования играет наша компания. Мы разрабатываем и внедряем учебно-методические материалы по робототехнике, электронике, программированию и эксплуатации беспилотных летательных аппаратов, соответствующие Федеральному государственному образовательному стандарту. В сотрудничестве с ведущими научными центрами России, проводим курсы повышения квалификации для преподавателей, адаптируя материалы к реальным потребностям образовательного процесса.

Компания активно участвует в различных образовательных и профессиональных конкурсах, разрабатывая конкурсное оборудование и выступая экспертами на региональных чемпионатах. Продукция компании, включая дроны, роботы-манипуляторы и другие робототехнические наборы, используется в учебных заведениях для повышения интереса к техническим дисциплинам и улучшения качества образования.

В будущем компания планирует значительное расширение свои учебно-методический комплекс, продолжая развивать современные технологии и обновлять оборудование, что позволит модернизировать учебные программы и повысить их актуальность. Что обеспечит более глубокое и комплексное обучение, готовя специалистов к требованиям рынка труда и поддерживая конкурентоспособность компании в условиях стремительного технологического прогресса.

В итоге, методическое обеспечение образовательной деятельности в области робототехники является важным фактором успешной подготовки специалистов для работы в условиях стремительного технологического прогресса. Эффективные методы и программы обучения способствуют развитию междисциплинарных навыков, критического мышления и практических умений, необходимых для работы с современными технологиями, поддерживают высокое качество образования, отвечая на вызовы рынка труда.

Литература

1. III.Методическое обеспечение учебного процесса: [сайт]. - URL: (дата обращения: 28.08.2024).
2. Методическое обеспечение образовательного процесса: [сайт]. -URL: https://spravochnick.ru/pedagogika/metodicheskoe_obespechenie_obrazovatelnogo_processa/ (дата обращения: 16.08.2024)
3. Анализ современных методик обучения образовательной робототехнике: [сайт]. - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sovremennyh-metodik-obucheniya-obrazovatelnoy-robototehnike (дата обращения: 28.08.2024).

Особенности подготовки операторов к работе со сложной техникой

В.И. Бегун, П.Н. Балахонов
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Санкт-Петербург, Россия, pumba03@rambler.ru

Features of training operators to work with complex equipment

Vladimir I. Begun, Pavel N. Balakhonov
VUNC Navy «Naval Academy», St. Petersburg, Russia, pumba03@rambler.ru

В последние годы всё активнее происходит внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в образование. На Петербургских экономических форумах в 2023 году проходила секция «ИИ в высшем образовании – прорыв или деградация?», и 2024 году – «Искусственный интеллект – будущее сегодня», где была отмечена важность исследований в этом направлении [1], [2].

Специалисты в данной области разрабатывают индивидуальные образовательные траектории с учётом особенностей и потенциала обучающихся, и алгоритмы машинного обучения с педагогом и без педагога, которые очень удобны для обучающихся и при этом учитывают индивидуальный уровень знаний и специфику подготовки каждого кандидата на подготовку.

Одним из важных и перспективных направлений является построение индивидуальных образовательных технологий с учётом особенностей и индивидуальных характеристик кандидатов для предстоящего обучения.

При подготовке специалистов на работе со сложной техникой, применение ИИ с датчиками, анализирующими состояние обучающихся, позволяет осуществлять замер и анализ напряжённости работы операторов сложной техники, не допуская сбоев в характеристиках их работоспособности.

В период подготовки операторов важно получать информацию о заинтересованности обучающихся в освоении операторской специальности, стабильности и настойчивости при её изучении и отработке необходимых умений и навыков. Не менее важным является сбор данных о сохранении или изменении заинтересованности обучающихся в выполнении данной операторской деятельности или изменения её на другую деятельность. У одних специалистов любовь к своей специальности увеличивается в течение длительного времени, результативность работы стабильно улучшается. У других специалистов происходит выгорание интереса к своей специальности, результативность работы теряет стабильность, происходит существенное снижение качества.

Необходимо обоснование наиболее эффективного (и наименее эффективного) времени суток, для успешного дежурства оператора в первую, вторую, или третью смену. При подготовке специалистов обычно получают рекомендации по эффективности работы в дневные и реже, в ночные часы. Но при условии работы оператора вне помещений, необходима информация по успешности работы не только днём и ночью, но и в переходные периоды между светлым и тёмным временем, в различные сезоны года – в летнее, осеннее, зимнее весеннее время, и в переходные периоды.

Нужна информация об успешности работы при различных состояниях погоды. Например, существует большое отличие в результативности работы и времени наступления усталости при штилевой погоде или шторме на морской поверхности, при работе оператора на судне малого или большого водоизмещения. Получив все перечисленные выше характеристики работы оператора, появляется возможность обосновать рекомендации по длительности вахты оператора с учётом качества его работы. Например, вместо типовых четыре часа через четыре, восемь часов через восемь, или другие типовые. Появляется возможность, во-первых, обосновать длительность вахты конкретных операторов. И во-вторых, разработать методики

поддержания результативности работы оператора на необходимом уровне.

Анализ деятельности оператора необходимо проводить с учётом количества появляющихся вводных, уровня их важности, а также с учётом количества помех, которые осложняют работу оператора.

Анализ деятельности оператора и отдыха между сменами позволит получить данные о времени снятия усталости и восстановления уровня работоспособности (высокого, среднего или низкого) в конкретных цифровых величинах.

Специалисты отмечают необходимость подбора экспертной группы для определения важности необходимых показателей работы оператора в различных условиях, и сочетании этих показателей. Например, при выполнении одних действий в одних условиях нужна высокая точность, а в других условиях требуется быстрота реакции. Для одних видов деятельности следует подготовить операторов, способных работать длительное время при малом количестве вводных. А для других видов деятельности следует подготовить операторов, способных продуктивно работать непродолжительное время при большом количестве вводных. На рисунке 1 представлена функциональная модель анализа деятельности оператора.

Рисунок 1 — Функциональная модель анализа деятельности оператора

Большое значение имеет анализ изменения успешности работы оператора в зависимости от стажа работы, возраста, и других влияющих факторов. Накопление анализированных данных, и предоставленияаналитической службе позволяет выработать выводы и

практических рекомендаций для успешной реализации в работе операторов [3].

Литература

1. Информация о проведении секции «Искусственный интеллект в высшем образовании – прорыв или деградация?» на Петербургском экономическом форуме в 2023 году. – СПБ: 2023.

2. Информация о проведении секции «Искусственный интеллект – будущее сегодня» на Петербургском экономическом форуме в 2024 году. – СПБ: 2024.

3. Бегун В.И., Балахонов П.Н. Подготовка специалистов к работе со сложной техникой. Сборник тезисов 34 Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». – СПБ: 2023. С. 157-15

Определение уровня подготовки специалистов к работе с техникой в различных условиях

В.В. Акимов, В.И. Бегун, А.В. Бегун, П.Н. Балахонов, С.Л. Емельдяжева, А.Л. Калинин

ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Санкт-Петербург, Россия, pumba03@rambler.ru

Determination of the level of training of specialists o work with eguipment in various conditions

Vladimir V. Acimov, Vladimir I. Begun, Andrey V. Begun, Pavel N. Balakhonov, Svetlana L. Emeldyazheva, Anton L. Kalinin

VUNC Navy «Naval Academy», St. Petersburg, Russia, pumba03@rambler.ru

Подготовка специалистов во все времена была важным аспектом деятельности руководства предприятий и учебных заведений. В последнее время увеличивается количество техники, на которой необходимо работать специалистам. Появляется много образцов техники, которой не было ещё пару лет назад. Быстрее происходит

смена действующих образцов техники на новую, отличающуюся по сложности. Это требует совершенствования системы подготовки специалистов [1].

При этом эксперты отмечают, что большая часть молодого поколения имеет иной уровень теоретической и практической подготовки. Это требует проведение более тщательной проверки при определении пригодности претендентов для подготовки к работе на определённых образцах техники и последующей работе. Для этого проводится первичное (входное) тестирование. Первичное тестирование обычно проводят для определения уровня претендента, и если он успешно его проходит, то проводится подготовка оператора (рис. 1).

Рисунок 1 — Алгоритм первичного тестирования и подготовки оператора

В процессе проведения подготовки оператора проводят сопровождающее тестирование.

После завершения подготовки оператора проводят итоговое (выходное) тестирование.

В зависимости от важности выполняемых оператором действий изменяется объём, количество и точность проводимых тестов.

При проведении первичного (входного) тестирования во всех структурах подготовки стараются отобрать наиболее подготовленных претендентов. В зависимости от важности выполняемых оператором действий количество и детализация входного и последующих тестирований существенно меняется.

Различия в характеристиках деятельности при обучении операторов в упрощённом виде можно показать на рис. 2. У претендентов на подготовку будут различные показатели деятельности. Целесообразно отобрать для подготовки претендентов с хорошими показателями деятельности – у которых для отработки умений деятельности по работе на техники необходимо провести меньшее количество тренировок, у которых будет меньше время реакции и выполнения конкретных операторских действий, лучше показатели стабильной, безошибочной работы.

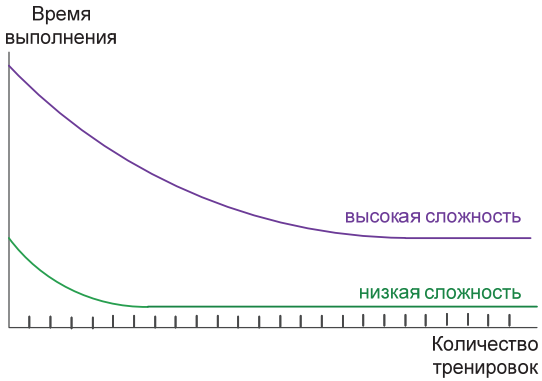


Рисунок 2 — Характеристика роста умений оператора при освоении работы на технических средствах различной сложности

При качественном отношении к подготовке специалистов (операторов) можно получить точные данные по всем показателям их работы и обосновать требуемую дискретность для проведения контрольных тестирований, повышения квалификации или переподготовку на новые образцы техники [2].

Литература

1. Информация о проведении секции «Искусственный интеллект – будущее сегодня» на Петербургском экономическом форуме в 2024 году. – СПБ: 2024.

2. Бегун В.И., Балахонов П.Н. Подготовка специалистов к работе со сложной техникой. Сборник тезисов 34 Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника». – СПБ: 2023. С. 157-158.

Многопользовательская игровая платформа для формирования интереса у молодежи к робототехнике

А.Н. Богданов✉, Д.И. Шайхезадин, Н.С. Шаронов
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» (ФГБОУ ВО «КГЭУ»), г. Казань, Республика Татарстан, Россия, ban.mic@mail.ru

A multi-user gaming platform for generating interest among young people in robotics

Alexander N. Bogdanov✉, Damir I. Shaykhezadin, Nikita S. Sharonov
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kazan State Power Engineering University» (KSPEU), Kazan, Republic of Tatarstan, Russia, ban.mic@mail.ru

Согласно результатам исследования платформы профориентации «Профилум», самые популярные в 2024 году кружки – спортивные секции, их посещают 71% детей опрошенных родителей. Далее по популярности следуют языковые и технические кружки – 38,5 и 33% соответственно [1]. В то же время по данным ВЦИОМ, количество молодых людей 18-24 лет, играющих в видеоигры, увеличилось от 40% в 2019 году до 56% в 2022 году [2].

Нашей командой разрабатывается платформа, позволяющая управлять настоящими роботами дистанционно через интернет и проводить различные соревнования в игровом формате – робо-футбол, робо-сумо, робо-квесты и др. При этом участвовать в таких соревнованиях можно прямо из дома или школы. А получаемые баллы можно использовать на открытие различных улучшений и доступа к

новым возможностям, как и в обычных многопользовательских онлайн-играх [3].

Разрабатываемая платформа (см. рис. 1) включает:

– соревновательный полигон;

– серверная система, обеспечивающая дистанционное управление роботами через интернет, видеотрансляцию в режиме реального времени и взаимодействие игроков и роботов;

– роботы на дистанционном управлении через интернет;

– сайт личного кабинета игрока с элементами игрофикации;

– пользовательский интерфейс в виде сайта управления роботом.

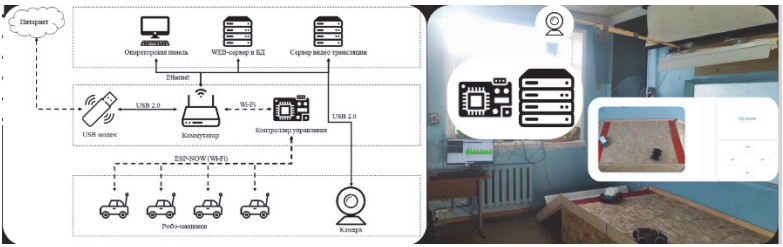


Рисунок 1 — Прототип одной из версий платформы

Весной 2024 мы провели первую сезонную серию, состоящую из более 20 онлайн-турниров, и собрали более 200 отзывов игроков (см. рис. 2). В ходе данных турниров игроки набирали баллы, которые могли потратить на выбор робота и использование навесного модуля – тарана.

В результате прошедшего в ходе весеннего сезона опытного тестирования разрабатываемой системы определены 2 основных на данном этапе недостатка – возникающие временами задержки видеотрансляции и необходимость в администраторе, организующим турнир. Задержки видеотрансляции большей частью вызваны использованием мобильного интернета.

Уже в сентябре планируется запуск игры с круглосуточным доступом с минимальным участием администратора – Полигон 4 (Демо). В данном формате игрок, управляя роботом через интернет, должен за ограниченный период времени провести его через полигон с эстокадами и «минами», сигнализирующими при столкновении. Чем быстрее игрок проведет робота и с меньшим столкновением с «минами» – тем больше он получит ООО (очки опыта оператора). ООО игроки

смогут потратить на улучшение управляемости роботом, а в дальнейшем – на включение бортовой камеры, кастомизацию робота и другие возможности. В данном формате роль администратора заключается лишь в установке робота на зарядную станцию (что в последующем также можно будет автоматизировать).

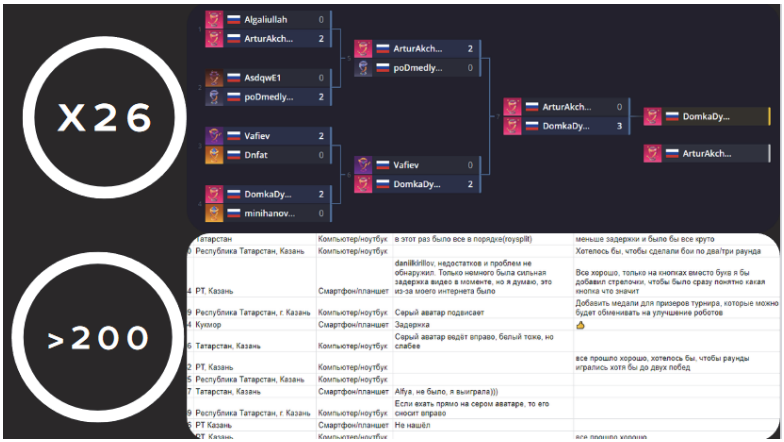


Рисунок 2 — Турнирная таблица

В дальнейшем планируется увеличить образовательный и игровой контент, реализовать сетевую модель, состоящую из множества полигонов, размещенных в кружках робототехники с различными форматами онлайн-соревнований и единой игровой и обучающей системой.

Команда приглашает к сотрудничеству заинтересованные организации и объединения. Более подробная информация о данном проекте размещается в группе https://vk.com/robo_football.

Литература

1. Рамблер/женский: [сайт] / Россияне рассказали, какие кружки выбирают для детей – Обновляется в течение суток. – URL: https://woman.rambler.ru/ (дата обращения: 27.08.2024). – Текст: электронный.

2. Успешность совместного решения игровых компьютерных задач учащимися подросткового и юношеского возраста: вклад социального интеллекта / Е.В. Гаврилова, Е.А. Шепелева, Е.А. Валуева, М.Р. Хуснутдинова // Психологическая наука и образование. 2023. Том 28. № 4. С. 20–31. DOI: 10.17759/pse.2023000003

3. Разработка многопользовательской онлайн-платформы для проведения робототехнических соревнований / Д.И. Шайхезадин, Н.С. Шаронов // Тинчуринские чтения - 2024 «Энергетика и цифровая трансформация»: Международная молодежная научная конференция. В четырех томах, Казань, 24–26 апреля 2024 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2024. Том 2. – С. 644-647.

Обучающий VR-тренажёр по обработке информации на физических носителях

Э.И. Хаерова✉, Б.И. Гатауллин
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ» (КНИТУ-КАИ, ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ», Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ), Республика Татарстан, г. Казань, Россия, engikhaer@gmail.com

VR training simulator for processing information on physical media

Endzhe I. Haerova✉, Bulat I. Gataullin
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI» (KNITU-KAI, KNITU-KAI, Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev–KAI), Republic of Tatarstan, Kazan, Russia, engikhaer@gmail.com

Современные технологии обучения позволяют создавать интерактивные средства, которые могут повысить качество образовательного процесса. Виртуальные лаборатории, AR-тренажеры, VR-симуляторы уже используются в процессе обучения при подготовке специалистов в области медицины, электроэнергетики, авиации, машиностроения и др. [1]. Как правило, такие средства применяются при проведении лабораторных и практических работ. По направлению «Защита информации» подобные разработки существуют, однако они являются разрозненными, недостаточно проработанными, что подтверждается результатами анализа литературных источников и патентного поиска. В связи с этим, разработка практико-ориентированного виртуального

тренажера является актуальной задачей в области защиты информации. Для анализа существующих обучающих программных средств в области защиты информации были выбраны 3 наиболее актуальных на сегодняшний день запатентованных разработок, такие как «система и способ обучения модели обнаружения вредоносных контейнеров» [2], «программно-аппаратный тренажёр аппаратуры для шифрования телефонной информации» [3], «интерактивная автоматизированная система профессионального обучения» [4]. В данный список попали отечественные изобретения. По результатам сравнительного анализа существующих программных средств можно сделать следующие выводы: большинство существующих тренажёров в области информационной безопасности не используют технологии виртуальной реальности и только одно программное средство направлено на обучение специалистов принципам шифрования телефонной информации, но без внедрения технологий виртуальной реальности. В результате анализа можно сделать вывод о том, существующие виртуальные тренажеры являются узконаправленными программными средствами, которые не способны обеспечить защиту конфиденциальных данных на съемных носителях информации. Поэтому требуется разработка виртуального тренажера с целью его применения в учебном процессе студентов, сотрудников предприятий, слушателей повышения квалификации, по обработке конфиденциальной информации на съемных носителях, в части безопасного восстановления, гарантированного удаления и шифрования данных, для обучения процессам «безопасного восстановления данных», «гарантированного уничтожения данных» и «шифрования данных» студентов образовательных учреждений и профильных специалистов.

Разработка виртуального тренажёра была проведена в 3 этапа. На первом этапе проводилась разработка и программная реализация первого главного экрана, содержащего виртуальную доску с теоретическим блоком (набор видеоинструкций) и панелью управления персонализированным процессом обучения (кнопки). На втором этапе была разработана анимация цифрового инструктора (3D-модели). На третьем этапе проводилась разработка и программная реализация второго главного экрана, содержащего блок тестирования и панель управления персонализированным процессом тестирования. Виртуальный тренажёр был реализован с использованием языка C#. Виртуальный тренажер может быть использован для обучения по направлению «Информационная безопасность», а также практикующих специалистов в области эксплуатации программных средств защиты информации. В дальнейшем планируется доработка тренажера по двум

направлениям: в части разработки сценариев дополненнойреальности, конвертации виртуального тренажёра в ядро AR платформа Unity и моделирования инцидентов информационной безопасности за счет расширения набора ситуаций, а также планируется использования таких устройств, как очки, шлемы виртуальной реальности [5]. Это исследование прокладывает путь для внедрения технологии кейс-метода в высшее техническое образование. В процессе исследования также была проведена апробация виртуального тренажера по обработке конфиденциальной информации на физических носителях. В течении 2 месяцев проводилось обучение студентов технических направлений, которые были разделены на 2 группы по 10 пользователей. 1 группа выполняла данную работу с использованием методических указаний, а 2 группа с использованием виртуального тренажёра. По результатам эксперимента можно сделать вывод, что студенты, выполняющие лабораторные работы с использованием виртуального тренажера достигли высоких результатов. В среднем результат обучения с использованием тренажера повысился на 35,8%. Результаты обучения с использованием традиционных методических указаний оказались невысокими из-за увеличения времени для ознакомления с методическими указаниями.

Литература

1. Хаерова Э.И. Нейронная сеть как средство обнаружения фейковых новостей на основе анализа текста и фото: подходы и CNN как модель глубокого обучения // «XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых)»: Международная молодежная научная конференция, 9-10 ноября 2023 г.: материалы конференции. – Казань: Изд-во ИП Сагиев А.Р., 2023. — С. 3966-3969. ISBN 978-5-6050749-0-8.

2. Патент № 2697955. Система и способ обучения модели обнаружения вредоносных контейнеров: № 2018104438: заявл. 06.02.2018: опубл. 06.08.2019 / Крылов Владимир Владимирович, Лискин Александр Викторович, Антонов Алексей Евгеньевич; заявитель, патентобладатель Акционерное общество "Лаборатория Касперского" – Электронная копия доступна на сайте Федерального института промышленной собственности // ФИПС: [сайт]. – URL: https://fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=a65f183665f1450a46bc81c7c5dd14a7 (дата обращения: 28.01.2024).

3. Патент № 2621833. Программно-аппаратный тренажёр аппаратуры для шифрования телефонной информации: № 2016126263:

заявл. 30.06.2016: опубл. 07.06.2017 / Белов Владимир Юрьевич (RU), Звягинцев Александр Владимирович (RU), Буробина Елена Евгеньевна (RU), Харламов Михаил Викторович (RU); заявитель, патентобладатель Акционерное общество "Рязанский Радиозавод" (RU) – Электронная копия доступна на сайте Федерального института промышленной собственности // ФИПС: [сайт]. – URL: https://fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=679e5a3a8190d8c43cf1488cfa5cebe6 (дата обращения: 28.01.2024).

4. Патент № 104361. Интерактивная автоматизированная система профессионального обучения: № 2010124692/12: заявл. 16.06.2010: опубл. 10.05.2011 / Азовская Ольга Николаевна (RU), Боргардт Елена Алексеевна (RU), Капрова Вера Григорьевна (RU), Александрова Наталья Васильевна (RU) ; заявитель, патентобладатель Азовская Ольга Николаевна (RU), Боргардт Елена Алексеевна (RU), Капрова Вера Григорьевна (RU), Александрова Наталья Васильевна (RU) – Электронная копия доступна на сайте Федерального института промышленной собственности // ФИПС : [сайт]. – URL: https://fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=736c406ea4e220727ba7b36db2f046b4 (дата обращения: 28.01.2024).

5. Хаерова Э.И., Гатауллин Б.И., Тумбинская М.В. Программный модуль для виртуального тренажёра по шифрованию данных на физическом носителе. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024619421.

Имитационное тестирование системы динамического мониторинга загрязнения воздуха в рамках профориентационной и проектной деятельности школьников и студентов

С.Ю. Калинин[1], О.А. Алексеев[1], А.А. Жуков[2]✉, А.Н. Лямин[2]

[1]Общество с ограниченной ответственностью «КосМосТехПроект», Москва, Россия

[2]Московский авиационный институт (МАИ, национальный исследовательский университет), Москва, Россия, zhukov.aa@spacecorp.ru

Simulation testing of a dynamic air pollution monitoring system within the framework of career guidance and project activities of schoolchildren and students

Sergey Y. Kalinin[1], Oleg A. Alekseev[1], Andrey A. Zhukov[2]✉, Andrey N. Lyamin[2]

[1]Limited Liability Company «Kosmostekhproekt», Moscow, Russia
[2]Moscow Aviation Institute (MAI, National Research University), Moscow, Russia, zhukov.aa@spacecorp.ru

Система динамического мониторинга загрязнения воздуха предназначена для определения состояния атмосферы с использованием роботизированных средств через построение трёхмерных карт загрязнений воздуха, привязанных к местности. Источники загрязнения воздуха могут возникать в результате выбросов промышленных предприятий, техногенных и/или природных катастроф, аварий на атомных станциях и в других случаях. С учетом проведения СВО и опыта ликвидации последствий случайных аварий в мегаполисах разработка такой системы с привлечением студентов, аспирантов и школьников является весьма актуальной задачей. Роботизированные трёхмерные измерения параметров загрязнения среды позволяют с большой точностью и в режиме реального времени определять координаты неопределенного источника загрязнения.

Цель работы: разработка методики и имитационное тестирование системы мониторинга загрязнения воздуха для определения координат источника загрязнения (возмущения) с участием школьников, студентов и аспирантов города Москвы. Особенностью тестирования является отсутствие опасных и загрязняющих веществ в замкнутом и/или открытом пространстве городской среды. Имитационное тестирование предполагает наземные исследования системы динамического мониторинга загрязнения воздуха. Реализация наземной отработки инновационного решения предполагается на территории ГБОУ «Воробьевы горы» с привлечением учащихся.

Разработана методика экспериментальных исследований устройства с определением координат источника возмущения окружающей среды. Планируется реализация методики на одном из практических занятий дисциплины «Испытания средств мониторинга и контроля экологической обстановки». Источник возмущения окружающей среды имитируется средством формирования звукового сигнала постоянной мощности. Устройство определения координат источника

возмущения окружающей среды имитируется с использованием сенсоров (микрофонов) для измерения интенсивности звука, а полученные результаты обрабатываются на ЭВМ с разработанным программным обеспечением для получения координат источника. Тестирование осуществляется в свободной от предметов части пространства с площадью 30-40 м^2 и высотой 4-5 м в выделенном помещении. В выбранном пространстве строится местная, прямоугольная, правая система координат. В этой системе определяются координаты источника внутри выбранного пространства при известных координатах точек измерения его интенсивности на границах пространства.

В рамках образовательной составляющей предложено создать программу дополнительного образования курс обучения школьников учащихся образовательных учреждений г. Москвы по современным системам мониторинга параметров воздушной среды, в том числе и при помощи беспилотных воздушных судов, реализовать проектную деятельность со школьниками по данному инновационному решению, а также привлечь молодых учёных МАИ (магистров, аспирантов) для работы со школьниками образовательных учреждений г. Москвы. В коллектив участников проекта входят 3 профессора, доктора технических наук и 2 кандидата технических наук, 5 студентов МАИ.

Таким образом, разработанная методика имитационного тестирования системы динамического мониторинга загрязнения воздуха обеспечивает проведение практических занятий школьников и студентов при их профориентации и подготовке к изучению и созданию высокоэффективных роботизированных средств экологического мониторинга.

Литература

1. Калинин С.Ю., Жуков А.А., Алексеев О.А. Информационная система трёхмерного динамического контроля воздуха // 21-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». 21-25 ноября 2022 г. Тезисы. – М.: Издательство «Перо», 2022– 613 с. 8,06 Мб [Электронное издание]. С. 29-31.

2. Патент № 2645249 Российская Федерация, МПК G01W 1/08 (2006.01). Способ мониторинга окружающей среды и беспилотный аппарат для использования в данном способе: № 2016133716. заявл. 17.08.2016 : опубл. 19.02.2018 / Дудкин А.Ф., Калинин С.Ю., Мовляв А.С.; заявитель: Акционерное общество «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» (АО «Российские космические системы»). – 6 с. : ил. – Текст : непосредственный.

Учебная платформа повышенной проходимости для лесного хозяйства

Ю.В. Суханов✉, О.Н. Галактионов, А.С. Васильев
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петрозаводский государственный университет» (ПетрГУ), г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, yv_sukhanov@petrsu.ru

Благодарности
Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 075-03-2023-128).

Off-road educational platform for forestry

Yuriy V. Sukhanov✉, Oleg N. Galaktionov, Alexey S. Vasiliev
Petrozavodsk State University (PetrSU), Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia, yv_sukhanov@petrsu.ru

Acknowledgements
This work was supported by the Russian Federation Ministry of Science and Higher Education (state research target, theme no. 075-03-2023-128).

Для лесистых регионов Российской Федерации лесная отрасль является одной из важных за счёт создания рабочих мест, оздоровления социальной среды в небольших населённых пунктах и повышения доходов в бюджет. Однако сегодня в лесной отрасли наблюдается нехватка молодых и подготовленных рабочих кадров и требуется внедрение современных технологий и машин, которые должны снизить долю тяжёлого физического труда и повысить его производительность и эффективность [1]. Решением этих проблем отрасли должны заниматься выпускники профильных учебных заведений. Однако, зачастую, молодым специалистам не хватает знаний и навыков для внедрения современных технологий. Для знакомства студентов с проблематикой беспилотных наземных решений в Петрозаводском государственном университете развивается тематика, связанная с роботехническими системами. В рамках студенческого проекта выпускницы направления обучения «Лесное дело» Даимовой Фариды было принято решение самостоятельно изготовить

транспортную платформу, на которой в дальнейшем студенты лесных и математических направлений обучения смогут отрабатывать совместные идеи, связанные с посадкой и уходом за лесом, а также с движением беспилотных машин в лесной среде [2].

Целью работы была разработка максимально простой и доступной конструкции полноприводной колёсной платформы из доступных компонентов и материалов, которую студент сможет собрать самостоятельно. Платформа должна иметь достаточные габариты и грузоподъёмность для размещения на ней устройств посадки и посева, а также ухода за растениями. Размеры движителя и параметры геометрической проходимости должны позволять платформе перемещаться на участках лесопокрытых территорий с пологими склонами, хорошо дренированной почвой, без повышенной захламлённости и густого подлеска или подроста. В распоряжении студенческого проекта была лаборатория с набором столярно-слесарного инструмента, FDM 3D-принтер, лазерный станок-гравер для раскроя листового материала, а также учебные токарный и сверлильный станки. Колёсный движитель реализован готовыми пневматическими колёсами от садовой тележки диаметром 360 мм и шириной 120 мм. Основными материалами для корпуса выступали берёзовая фанера и деревянные бруски, скреплённые металлическим крепежом. Габариты платформы 920x730x480 мм, позволяют перевозить ее в багажнике отечественного легкового автомобиля с кузовом типа универсал или лифтбек, а клиренс в 240 мм при колёсной базе 560 мм и колеи 610 мм позволяет преодолевать платформе различные препятствия на бездорожье. В качестве электродвигателей использованы два мотор-редуктора от стеклоочистителя отечественного легкового автомобиля, а в качестве батареи планируется использовать аккумулятор от источника бесперебойного питания напряжением 12 В и ёмкостью 12 А·ч. Два мотор-редуктора обеспечивают платформе бортовой поворот и полный привод. Привод на колеса сегодня реализован посредством зубчатого ремня, альтернативным вариантом были рассмотрены возможности использования в конструкции цепного привода или цилиндрических зубчатых колес, но из-за шумности, необходимости смазки и большей опасности для студентов от них отказались в пользу зубчатого ремня. В силовой части системы управления использованы автомобильные реле, а в слаботочной части платформы планируется использовать аппаратную платформу Arduino, которая кроме управления реле и ШИМ-регуляторов, будет получать данные от датчиков тока, протекающего через мотор-редукторы. Планируется, что платформа Arduino

в свою очередь будет управляться более производительными решениями, разрабатываемыми другими командами студентов. 3D-модель и собираемый экспериментальный образец с установленными на корпус колесами, мотор-редукторами и зубчато-ремённым приводом приведены на рисунке 1.

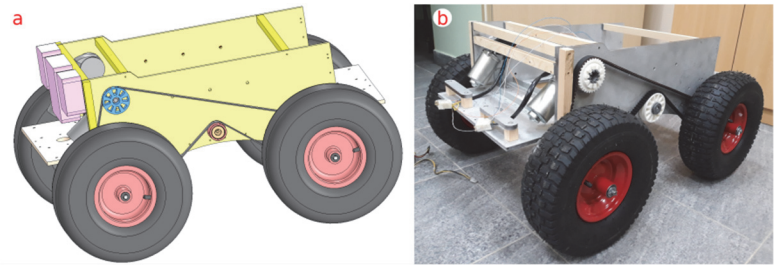


Рисунок 1 — 3D-модель (a) и экспериментальный образец (b)

В настоящее время ведётся работа по монтажу на платформу силовой и слаботочных частей системы управления, которые будут располагаться в электротехнических распаячных коробках для сохранности электронных компонентов. По окончанию работы над проектом для опытов командам студентов будут доступны как колёсная, так и гусеничная платформа [3]. Планируется, что новые команды из студентов лесных и математических направлений обучения будут созданы в 2024-2025 учебном году для совместной работы над тематикой роботизации лесной отрасли. Необходимость создания комбинированных команд возникают из-за различных компетенций у студентов – в таких командах студенты лесных направлений могут заниматься техническими и технологическими сторонами решений, так как лучше разбираются в этой тематике, когда как студенты математических направлений обучения занимаются задачами выбора датчиков и вычислительных средств, программирования и автоматизации.

Литература

1. Каталакиди М. Откуда берутся кадры? // Отраслевой журнал «Лесной комплекс». N 4 (68) июль-август 2024 г. С. 34-42.

2. Рего Г.Э., Корзун Д.Ж., Щеголева Л.В. Проект «Лесной робот»: концептуальная модель анализа движения мобильной робототехнической системы для лесовосстановления и рубок ухода //Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции

«Перспективы и возможности использования цифровых технологий в науке, образовании и управлении». Астрахань, 21–23 апреля 2022 г. С. 206-210.

3. Суханов Ю.В., Фомичев Я.В., Пекурин И.А., Играков Е.А., Фортальнов С.А. Мобильная платформа с гусеничным движителем //Материалы всероссийской научно-практической конференции «Современные ресурсосберегающие технологии и технические средства лесного комплекса». Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова. Воронеж, 25–26 ноября 2021 г. С. 57-60.

Опыт подготовки школьной команды для участия в соревнованиях подводных аппаратов

Ю.А. Вебер
ООО «Подводные дроны», Санкт-Петербург, Россия, info@trionix-lab.ru

Experience of preparing a school team for participation in underwater vehicle competitions

Yuri A. Weber
Podvodnye Drony LLC, St. Petersburg, Russia, info@trionix-lab.ru

В настоящее время в России наблюдается высокий интерес к робототехнике и ее применении в образовательном процессе.

В самом начале развития образовательной робототехники это были наземные колесные и гусеничные роботы. Далее появились воздушные дроны в формате детского конструктора. Последние несколько лет наблюдается становление нового вида учебных роботов – подводных и надводных.

Подводная робототехника позволяет осваивать всё те же привычные для «обычной» робототехники дисциплины и навыки: 3-d моделирование, конструирование, программирование, пайка печатных плат и электронных компонентов. Однако, в связи со спецификой водной среды, к освоению предлагается еще ряд интересных и перспективных дисциплин: теория корабля, гидродинамика, управление роботами в вязкой среде, проектирование герметичных приборов и датчиков.

В ряде школ Санкт-Петербурга и Ленинградской области уже реализован проект «Инженерные классы», в составе которого есть специализированный класс подводной робототехники. В нем устанавливаются шесть рабочих мест, испытательный бассейн, оборудование для пайки и конструирования. Но основным наполнением такой лаборатории являются образовательные роботы «Трионикс» и «Гуппи».

«Трионикс» — это телеуправляемый подводный робот (рис.1). Им управляют с помощью джойстика, подключаемого к компьютеру, смартфону или планшету.

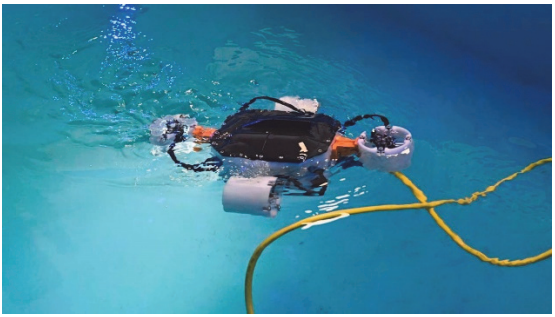


Рисунок 1 — Телеуправляемый подводный робот «Трионикс»

«Гуппи» — это робот автономный (рис.2). Его программируют также с помощью компьютера, смартфона или планшета. Робот выполняет заданную программу автономно, без какого-либо кабеля.

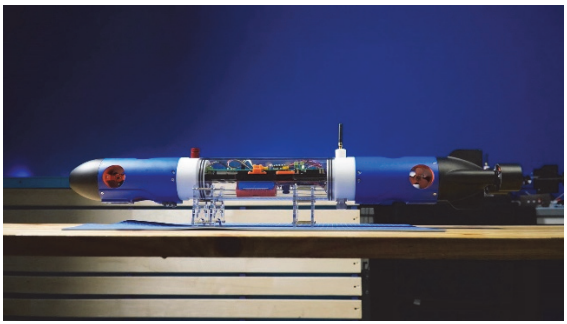


Рисунок 2 — Автономный подводный робот «Гуппи»

Для большей мотивации и развития направления подводной робототехники среди школьников и студентов проводятся различные

соревнования. Они проводятся как среди телеуправляемых роботов, так и автономных. На сегодняшний день наибольшую популярность имеют именно состязания в категории телеуправляемых дронов.

В г. Астрахань уже несколько лет проводится ежегодный кубок России по телеуправляемым подводным аппаратам. Участникам предлагается выполнить ряд специфических заданий под водой в большом бассейне. Задания в основном связаны с маневрированием и соответственно умением управлять роботом, а также с манипуляциями различными объектами с помощью схвата.

Рисунок 3 — Тренировка выполнения заданий соревнований

Рисунок 4 — Участие в соревнованиях

Компания «Подводные дроны», которая производит и развивает роботы «Трионикс» и «Гуппи», также активно занимается технической поддержкой и помощью школьникам и учителям осваивать данное направление. В 2023 году было организовано создание школьной команды Сосновского центра образования для участия в кубке России в г. Астрахань.

Создание команды включало в себя следующие шаги:

– отбор кандидатов в команду;
– доработка подводного робота под задания соревнований;
– тренировка выполнения заданий (рис. 3);
– подготовка к презентации команды на соревнования;
– разработка своего мерча команды;
– организация поездки на соревнования (рис. 4).

Соревнования позволили детям лучше понять суть подводной робототехники и на личном опыте понять, для чего она нужна и какие реальные задачи можно выполнять с ее помощью.

От фабрики-конструктора к реальному производству: комплексное обучение робототехнике для школьников

О.Б. Сенацкая✉, М.В. Загорин
Самарский университет, г. Самара, Россия, olgasenatskaya@gmail.com, misha.zagorin@gmail.com

Благодарности
Проект осуществляется за счёт средств грантов в форме субсидий из федерального бюджета, выделенных на поддержку программ развития передовых инженерных школ, в рамках реализации федерального проекта «Передовые инженерные школы» государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» на 2024 год».

From educational model to real production: comprehensive robotics training for school students

Olga B. Senatskaya✉, Mihail V. Zagorin
Samara University, Samara, Russia, olgasenatskaya@gmail.com, misha.zagorin@gmail.com

Acknowledgements
The project is funded by grants in the form of subsidies from the federal budget allocated to support the development programs of advanced engineering schools, as part of the implementation of the federal project 'Ad-

vanced Engineering Schools' within the state program of the Russian Federation 'Scientific and Technological Development of the Russian Federation' for 2024.

Одной из обязательных частей обучения в Передовой инженерной аэрокосмической школе (ПИАШ) Самарского университета является образовательная работа со школьниками. Мы занимаемся обучением в областях робототехники и цифрового моделирования. Цель работы – дать учащимся старших классов базовые навыки в данных направлениях и вдохновить их на дальнейшее развитие в инженерных профессиях.

Занятия рассчитаны на старшеклассников и включают обучение программированию контроллеров на графическом языке и работу в программном комплексе R-pro [1], где создаются цифровые модели производственных процессов с использованием роботизации. Следует подчеркнуть, что робототехнику и программирование роботов невозможно рассматривать в отрыве от общего производственного процесса. Цифровое моделирование в R-pro позволяет смоделировать множество технологических процессов, встречающихся на реальных предприятиях (механическая обработка, складирование, сборка изделий и т.д.) и подобрать для них оптимальные средства роботизации и автоматизации. R-pro также предоставляет возможность прописывать программы движения роботов и выгружать их через постпроцессор на физическое оборудование.

Фабрика-конструктор как инструмент обучения

Для ребят, которые не имели опыта с реальными производственными объектами, в лаборатории ПИАШ имеется фабрика-конструктор от компании Fischertechnik [2] (рис. 1). Она отображает небольшое производство, включая сканирование, складирование, сортировку и имитацию термической и механической обработки трёх типов деталей. Управление модулями фабрики осуществляется с помощью программируемого логического контроллера.

После ознакомления с физической моделью фабрики школьники переходят к созданию цифровой модели в программе R-pro. Основным средством перемещения деталей в фабрике является робот, поэтому учащиеся знакомятся с программированием роботов-манипуляторов и их ключевыми характеристиками (область досягаемости, количество звеньев и грузоподъемность). Одной из задач для учеников является выбор подходящего робота из каталога. После создания модели они анализируют её с помощью встроенных программных

инструментов для оценки производительности системы, загруженности роботов и времени выполнения операций.

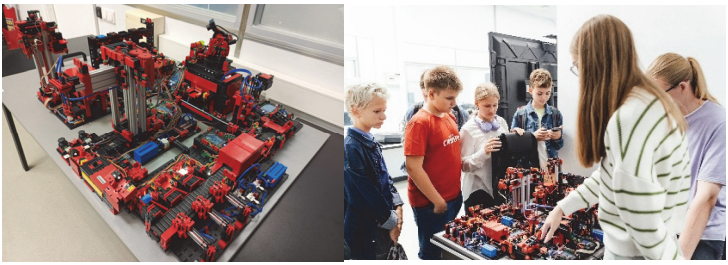


Рисунок 1 — Фабрика-конструктор Fischertechnik

Обучение программированию контроллеров

После получения общих знаний о производственных процессах школьники начинают обучение программированию контроллеров в среде RoboPro, где предусмотрено пять уровней подготовки с нарастающей сложностью. На первом этапе учащиеся осваивают примитивные алгоритмы работы с дискретными сигналами. Далее изучаются циклы, аналоговые сигналы, управление моторами в зависимости от сигналов с датчиков, логические элементы, а также основы технического зрения. Для лучшего понимания алгоритмов и освоения теории, часть задач напрямую связана с работой фабрики-конструктора.

Будущие перспективы

В продолжении данного курса планируется использование роботизированной ячейки от компании Technored. Ячейка предназначена как для учебных целей, так и для решения реальных производственных задач. Для обучения будут использоваться специальные модули с простыми заготовками (цилиндры, шестиугольные призмы, кубики), имитация пневматического патрона и камера технического зрения. Кроме того, робот будет интегрирован с фрезерным станком для отработки учащимися задач по загрузке и выгрузке заготовок.

После разработки постпроцессора для данной модели робота планируется использовать возможность выгрузки программ из R-pro на физическое оборудование, что позволит школьникам увидеть результаты их оффлайн-программирования.

Работа по профориентации и обучению старшеклассников даёт им возможность познакомиться с современными технологиями робототехники и цифрового моделирования. Эти знания позволяют не

только лучше понять производственные процессы, но и развивают навыки, необходимые для успешной работы в индустрии будущего.

Литература

1. R-Pro Digital [Electronic resource]. URL: https://r-pro.digital/ (дата обращения: 08.09.2024).

2. Fischertechnik Training factory Industry 4.0 V2 [Electronic resource]. URL: Lernfabrik_TXT_40_9VENgb.pdf (дата обращения: 10.09.2024).

Организация кружка робототехники с детьми, оказавшимися в трудной жизненной ситуации

А.А. Борисова✉, И.А. Муртазин

Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего Образования «Сыктывкарский Государственный Университет имени Питирима Сорокина» (ФГБОУ ВО «СГУ им. Питирима Сорокина)) г. Сыктывкар, Республика Коми, Россия, boriska200226@mail.ru

Organization of a robotics club with children in difficult life situations

Anna A. Borisova✉, Igor A. Murtazin

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokin» (FGBOU VO «SSU named after Pitirim Sorokin») Syktyvkar, Komi Republic, Russia, boriska200226@mail.ru

В современном обществе особое внимание уделяется вопросам социальной поддержки и адаптации детей, находящихся в трудной жизненной ситуации. Такие дети часто сталкиваются с трудностями на пути к успешной интеграции в общество. Организация дополнительного образования требует особого подхода и учета специфики обучающихся.

Для работы с учащимися, оказавшимися в трудной жизненной ситуации, Мардахаев Л.В. выделяет следующие группы социально-педагогических технологий:

1. связанные с реализацией общих процессов, свойственных целям и задачам социально-педагогического сопровождения – это технологии социального образования, социального воспитания, социального формирования; социального закаливания, социального становления, которые в своей совокупности обеспечивают социализацию, социальное развитие человека (прогрессивное или регрессивное);

2. специфические технологии социально-педагогического сопровождения, определяемые ее основными функциями: диагностирования, оценивания, прогнозирования, моделирования, проектирования, программирования;

3. частные социально-педагогические технологии, обусловленные жизненными ситуациями: адаптации, анимации, компенсации, консультирования, контроля, коррекции, мобилизации, обеспечения, патронирования, посредничества, просвещения, профилактики, реабилитации, стабилизации, терапии, экспертизы и др. [1].

Основными средствами реализации социально-педагогического сопровождения детей и подростков, попавших в трудную жизненную ситуацию, являются:

– отбор содержания и форм педагогического сопровождения социализации подростков, попавших в трудную жизненную ситуацию;

– организация социального партнерства субъектов микросоциума по социализации подростков, попавших в трудную жизненную ситуацию;

– оценка результативности педагогического сопровождения социализации подростков, попавших в трудную жизненную ситуацию [2].

Рассмотрим организацию кружка робототехники на базе Центра досуга и кино «Октябрь» мкр. в. Чов. г. Сыктывкар. Кружок представляет собой объединение детей из социально-реабилитационного центра для несовершеннолетних.

Особенности детей, обучающихся в кружке

– поскольку дети находятся в социально-реабилитационном центре для несовершеннолетних, неизвестно, сколько ребенок пробудет в нем, может, неделю, а может и несколько лет. Исходя из этого в группе нет постоянного состава.

– дети с разным уровнем подготовки: читающие с трудом и не знакомые с LEGO; в прошлом занимавшиеся техническим творчеством.

– выбор не по интересу: у многих детей отсутствует мотивация заниматься в кружке, или вообще нет предрасположенности, так как за них решили работники центра, куда они будут ходить

Для обеспечения благоприятной атмосферы при изучении робототехники мы предлагаем:

– выстраивать учебный процесс таким образом, чтобы уроки не зависели от друг друга и чтобы каждый имел свое логическое завершение;

– организовывать парную и групповую деятельность;

– использовать личностный подход.

При обучении детей, которые не проявляют интереса к робототехнике мы предлагаем подходить к изучению робототехники через личные интересы детей.

Например: способы, которые помогут привлечь ребенка, который любит собак, заниматься робототехникой:

– рассказать о связи между робототехникой и собаками, о роботах, которые созданы для того, чтобы ухаживать за питомцами ;

– поддерживать его интерес к собакам;

– предложить проект, связанный непосредственно с увлечением ребенка.

Проект «Собака из LEGO SPIKE Prime» (см. рис. 1).

Цель проекта: создать модель собаки из конструктора LEGO SPIKE Prime.

Задачи проекта:

– изучить основные принципы работы с конструктором LEGO SPIKE Prime;

– разработать дизайн-проект модели собаки;

– собрать модель собаки, используя конструктор LEGO SPIKE Prime;

– запрограммировать модель собаки для выполнения определённых действий;

– провести испытания модели и оценить её работоспособность.

Для успешной реализации кружковой деятельности необходимо учитывать индивидуальные особенности и потребности каждого ребенка, создавать комфортную и безопасную среду, а также привлекать квалифицированных педагогов и специалистов. Важно также обеспечить доступность занятий для всех детей независимо от их социального статуса и материального положения.

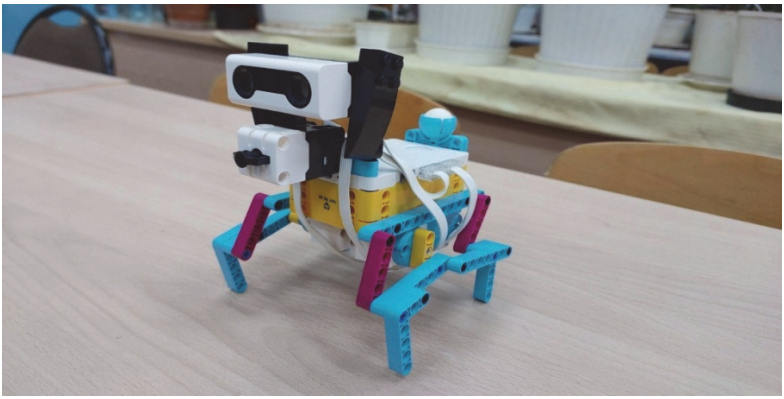


Рисунок 1 — Проект «Собака из LEGO SPIKE Prime»

Литература

1. Мардахаев, Л. В. Социально-педагогическое сопровождение и поддержка человека в жизненной ситуации / Л. В. Мардахаев // Педагогическое образование и наука. – 2010. – № 6. – С. 4-10. – EDN OJJSXB. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_17062300_97519509.pdf (дата обращения – 11.09.2024).

2. Макеева, Т.В. Социально-педагогическое сопровождение детей, оказавшихся в трудной жизненной ситуации // Ярославский педагогический вестник. 2013. №2.- Том II (Психолого-педагогические науки) URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialno-pedagogicheskoe-soprovozhdenie-detey-okazavshihsya-v-trudnoy-zhiznennoy-situatsii (дата обращения - 10.09.2024).

Многоцелевой малый квадрокоптер «Снежинка»

Ю.М. Виноградов✉, А.М. Алсуфьев
Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический Университет (СПбГМТУ), Санкт-Петербург, Россия, yuravinogradof@yandex.ru

Благодарности
Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации программы «Приоритет 2030».

Multipurpose small quadrocopter «Snezhinka»

Yuri M. Vinogradov✉, Alexander M. Alsufev
St. Petersburg State Marine Technical University (SPbSMTU), St. Petersburg, Russia, yuravinogradof@yandex.ru

Acknowledgements
Ministry of Education and Science of Russia within the framework of the strategic academic leadership program «Priority-2030».

С учетом современных тенденций, направленных на широкомасштабное внедрение робототехники в различные сферы деятельности, использование беспилотных авиационных систем приобретает всё большую значимость. Помимо замещения человека в рутинных или опасных задачах, эти системы открывают новые возможности для выполнения сложных операций, требующих высокой точности и оперативности.

Квадрокоптер «Снежинка» (см. рис. 1 и 2), разработанный Институтом робототехники и интеллектуальных систем представляет собой универсальную платформу, способную не только выполнять функции обучающего средства, но и решать прикладные задачи, что делает его ценным инструментом как для начинающих, так и для опытных операторов. Благодаря модульной архитектуре и доступности компонентов, «Снежинка» может быть легко модифицирована в соответствии с конкретными требованиями, будь то расширение функциональных возможностей за счёт интеграции дополнительных систем, таких как FPV, или адаптация под специализированные задачи, связанные с мониторингом труднодоступных объектов.

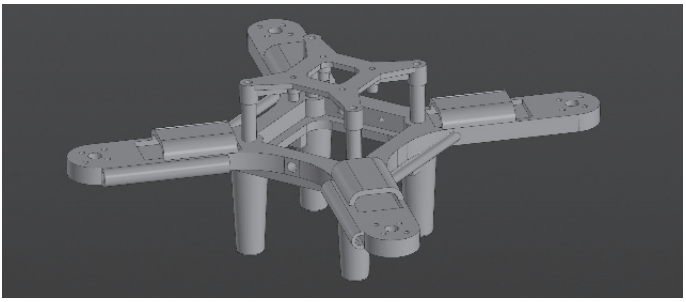


Рисунок 1 — 3D-модель многоцелевого малого квадрокоптера «Снежинка»

Система автопилота дрона построена на базе алгоритмов адаптивного управления [1], а также использует собственную систему идентификации [2] объекта управления, передачи данных [3] на внешний компьютер для визуализации.

Рисунок 2 — Реальное изображение квадрокоптера «Снежинка»

Таким образом, «Снежинка» является не просто учебным средством, но и экспериментальной платформой, способствующей развитию профессиональных навыков операторов и расширению их компетенций. Это особенно актуально в условиях стремительного прогресса технологий, где способность к быстрой адаптации и освоению новых решений становится ключевым фактором успешной деятельности.

Литература

1. Nonsingular Integral-Type Dynamic Finite-Time Synchronization for Hyper-Chaotic Systems / K. A. Alattas, J. Mostafaee, S. Mobayen [et al.] // Mathematics. – 2022. – Vol. 10, No. 1. – DOI 10.3390/math10010115. – EDN ZDBGGV.

2. Karpov, A. D. Designing the platform for monitoring and visualization orientation in Euler angles / A. D. Karpov, A. A. Zhilenkov // Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, ElConRus 2017, St. Petersburg, 01–03

февраля 2017 года. – St. Petersburg, 2017. – P. 301-305. – DOI 10.1109/EIConRus.2017.7910551. – EDN XMZGNY.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024662038 Российская Федерация. Графическое приложение для коммуникации с дроном/программой-симулятором на базе клиент-серверного взаимодействия : № 2024661095 : заявл. 17.05.2024 : опубл. 23.05.2024 / А. А. Жиленков, М. С. Минин ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет». – EDN ULRJFY.

Образовательный робототехнический комплекс для студентов

Е.В. Лебедева✉, В.А. Ложкин, М.С. Моисеенко
Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (СПБГМТУ), Санкт-Петербург, Россия, kata-lebedeva-2017@mail.ru

Благодарности
Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации программы «Приоритет 2030».

Educational robotics complex for students

Ekaterina V. Lebedeva✉, Vladislav A. Lozhkin, Maxim S. Moiseenko
Saint Petersburg State Marine Technical University (SPbSMTU), St. Petersburg, Russia, kata-lebedeva-2017@mail.ru

Acknowledgements
Ministry of Education and Science of Russia within the framework of the strategic academic leadership program «Priority-2030».

Образовательный робототехнический комплекс позволяет реализовать практико-ориентированное обучение студентов, интегрируя теоретические знания с их непосредственным практическим применением.

Это способствует глубокому усвоению материала и развитию ряда ключевых умений, таких как:

– Проблемное мышление: студенты сталкиваются с реальными техническими вызовами и учатся анализировать проблемы, искать оптимальные пути решения и разрабатывать стратегии для достижения целей.

– Сотрудничество и командная работа: создание и управление роботами часто требует коллективных усилий, что учит студентов эффективно взаимодействовать в команде, делить обязанности и обмениваться идеями.

– Креативность и инновации: разработка оригинальных конструкций и алгоритмов для робототехнических систем способствует формированию творческого подхода и стимулирует инновационное мышление.

– Программирование и алгоритмическое мышление: Программирование роботов помогает развивать навыки написания кода и алгоритмического мышления, что является важным компонентом в современном информационном мире.

– Адаптивность: студенты приобретают навыки гибкости и умения оперативно реагировать на непредвиденные технические сложности, что способствует развитию устойчивых стратегий решения проблем.

Образовательные роботы для студентов должны обладать следующими характеристиками:

1. Эргономичность использования: робототехнический комплекс должен обладать интуитивно понятным интерфейсом и предустановленным программным обеспечением, обеспечивающим минимальные временные затраты на начало работы.

2. Безопасность: оснащение датчиками и системами остановки робота при обнаружении препятствий во время работы.

3. Компактность и мобильность: возможность легкого перемещения робота в разные учебные аудитории без необходимости его разборки.

4. Гибкость и универсальность: робот должен обеспечивать выполнение широкого спектра операций, включая манипуляции, сборку, измерение и другие задачи, что позволяет адаптировать образовательный процесс под различные технические требования.

5. Практическое применение: возможность решать реальные задачи с помощью робота.

6. Возможность индивидуального обучения: подбор задач и их сложности в соответствии с уровнем подготовки каждого студента.

7. Обучение основам робототехники: включает в себя управление роботом, запуск и тестирование программ, манипулирование периферийными устройствами, управление техническим зрением.

Существующие решения или имеют малое количество составляющих или имеют дорогие составляющие.

В данной работе представляется робот, сочетающий модульность, многочисленные и дешёвые составляющие.

Исходя из проблемы и характеристик был разработан образовательный робот. Ключевые этапы разработки [1]:

1. Проектирование: определение основных характеристик робота, включая его размер, форму, вес и функции.

2. Производство: изготовление робота из различных материалов, таких как металл,

3. пластик и электроника.

4. Программирование: написание программ, управляющих роботом.

5. Тестирование: проверка производительности и надежности робота.

Основой робота является платформа с omni колёсами и платой управления. Эта минимальная конфигурация позволяет роботу функционировать.

В другие варианты сборки входят: лидар, дальномер, плата для обработки данных с датчиков [2], манипулятор [3] со сменными схватами (с возможностью разработки нового схвата).

Создание образовательного робототехнического комплекса является значительным вкладом в развитие инновационной образовательной среды, направленной на подготовку высококвалифицированных специалистов в области робототехники и STEM-дисциплин. Этот проект не только способствует формированию у студентов практических навыков и умений, но и стимулирует их к творческому мышлению, командной работе и решению сложных технических задач.

Образовательный робот открывает перед студентами двери в мир современных технологий, позволяя им не только изучать основы робототехники, но и применять полученные знания на практике. Подобный подход к образовательному процессу повышает вовлечённость студентов, делая усвоение знаний более эффективным и мотивируя их к непрерывному профессиональному развитию.

Важно отметить, что успешная реализация проекта по разработке образовательного робота требует не только технических знаний и навыков, но и понимания потребностей студентов, их интересов и

способностей. Только комплексный подход, включающий в себя анализ сильных и слабых сторон образовательной организации, а также активное вовлечение всех участников образовательного процесса, может обеспечить эффективное внедрение и использование образовательного робота в учебном процессе.

Таким образом, разработка и внедрение образовательного робота в учебный процесс является важным шагом на пути к созданию инновационной образовательной среды, способствующей подготовке высококвалифицированных специалистов, готовых к вызовам современного мира.

Литература

1. К. Фу, Р. Гонсалес, К. Ли, Робототехника, 1989.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023680366 Российская Федерация. Программа моделирования эволюции механической системы на базе геометрического интегратора: № 2023668842: заявл. 14.09.2023: опубл. 28.09.2023 / А. А. Жиленков, И. М. Портнов, А. А. Медведева, И. С. Моисеев; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет». – EDN LCMKZX.

3. Zhilenkov, A. A. Designing of sensoreless control system for brushless direct current motor / A. A. Zhilenkov, D. Denk // Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, ElConRus 2017, St. Petersburg, 01–03 февраля 2017 года. – St. Petersburg, 2017. – P. 1104-1108. – DOI 10.1109/EIConRus.2017.7910748. – EDN PRMIVB.

Виртуальная реальность как инструмент для подготовки операторов беспилотных летательных аппаратов

М.Ю. Серебряков

Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический Университет (СПбГМТУ), Санкт-Петербург, Россия, serebryakov@smtu.ru

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации программы «Приоритет 2030».

Virtual reality as a tool for training drone operators

Mikhail Y. Serebryakov
St. Petersburg State Marine Technical University (SPbSMTU), St. Petersburg, Russia, serebryakov@smtu.ru

Acknowledgements
Ministry of Education and Science of Russia within the framework of the strategic academic leadership program «Priority-2030».

В современном мире, где интерес к робототехнике и автоматизированным системам продолжает расти, обучение операторов беспилотных летательных аппаратов становится ключевым направлением в образовательных программах. Операторы БПЛА востребованы в таких важных областях, как сельское хозяйство, мониторинг окружающей среды, поисково-спасательные операции, а также в сфере безопасности и обороны. Развитие технологий виртуальной реальности открывает новые возможности для эффективного обучения и подготовки операторов, делая этот процесс более интерактивным и погружающим.

Нынешняя молодежь проявляет значительный интерес к интерактивным цифровым развлечениям, которые позволяют им погружаться в увлекательные виртуальные миры. Этот интерес можно эффективно использовать в образовательных целях. Исследования показывают, что школьники, использующие технологии виртуальной реальности в обучении, демонстрируют большую вовлеченность и значительно лучшие результаты [1, 2]. Виртуальная реальность не только повышает интерес учащихся к учебному процессу, но и способствует более глубокому пониманию и усвоению материала.

Ранее в институте робототехники и интеллектуальных систем был создан симулятор для обучения управлению вертолетами [3–5]. Со временем, учитывая современные тренды и запросы, в симулятор было принято решение добавить поддержку устройств виртуальной реальности, что сделало обучение более погружающим. Также была добавлена возможность тренировки управления беспилотными летательными аппаратами роторного типа, что расширило возможности симулятора и сделало его более полезным для подготовки операторов.

Литература

1. Побокин П.А. Целесообразность использования средств виртуальной реальности в курсе стереометрии //Психология когнитивных

процессов [под ред. Егорова А.Г., Селиванова В.В.]. Материалы 4-ой всероссийской, научно- практической конференции (сборник статей). - Смоленск: Универсум, 2013.

2. Побокин П.А. Информационные технологии как одно из средств активизации мыслительного процесса учеников //Идеи О.К. Тихомирова и А.В. Брушлинского и фундаментальные проблемы психологии. Материалы всероссийской конференции с иностранным участием [Отв. ред. Ю.П. Зинченко, А.Е. Войскунский, Т.В. Корнилова]. - М.: МГУ, 2013.

3. Современные проблемы проектирования и создания компьютерных тренажеров на базе симулятора вертолета / А. А. Жиленков, М. Ю. Серебряков // Оборонный комплекс - научно-техническому прогрессу России. – 2024. – № 1(161). – С. 26-32. – DOI 10.52190/1729-6552_2024_1_26.

4. Компьютерный тренажер на базе симулятора вертолета / М. Ю. Серебряков, И. С. Моисеев // Экстремальная робототехника. – 2024. – № 1(34). – С. 402-409.

5. M. Serebryakov, «Contemporary Issues in the Design and Creation of Computer-based Helicopter Simulator Training Systems», 2024 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, Russian Federation, 2024, pp. 1107-1112, doi: 10.1109/ICIEAM60818.2024.10553884.

Многофункциональный лабораторный стенд для исследования сенсорных и управляющих систем роботов

В.П. Андреев✉, В.В. Майоров

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» (ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»), Москва, Россия, andreevvipa@yandex.ru

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Международного учебно-научного центра перспективных медиа-технологий Российского государственного гуманитарного университета.

A versatile laboratory stand for studying sensor and control systems in robots

Viktor P. Andreev✉, Vladislav V. Maiorov
Moscow State University of Technology «STANKIN» (MSUT «STANKIN»), Moscow, Russia, andreevvipa@yandex.ru

Acknowledgements
The work was accomplished with the financial support of the International Educational and Scientific Center for Advanced Media Technologies of the Russian State University for the Humanities.

Цель

Обеспечить проведение практических занятий по изучению сенсорных и управляющих систем роботов студентами ВУЗов соответствующих специальностей и школьниками при организации дополнительного школьного образования в области интеллектуальной робототроники.

Аналоги

В статье [1] рассматривается «концепция лабораторного стенда для изучения робототехнических датчиков, предназначенного для студентов первых курсов по специальностям, связанным с робототехникой». В работе рассмотрена лишь концепция, которая ограничена исследованием только датчиков, не предлагая возможности изучения полного цикла управления мехатронным устройством – система управления приводами по показаниям датчиков.

Результаты

Создан многофункциональный лабораторный стенд, представляющий собой мехатронное устройство. Стенд представляет собой массивное деревянное основание размером 1500x200x40 мм, на котором размещены механические и электронные компоненты. Конструкция стенда позволяет обучающемуся создавать различные варианты их взаимодействия. Стенд даёт возможность изучить на практике использование в системе управления (СУ) роботов таких датчиков, как УЗ- и ИК-датчик расстояния, концевой датчик на герконе и на основе эффекта Холла, датчик тока, оптический одометр и одометр на эффекте Холла (все компоненты входят в состав стенда). В СУ стенда используется микроконтроллер (МК) Arduino, с помощью которого обучающиеся могут создавать различное ПО для

управления через имеющийся драйвер шаговым двигателем, сервоприводом и линейным приводом. Линейный привод состоит из двигателя постоянного тока (ДПТ), который посредством зубчатой передачи приводит в движение ходовой винт длиной 120 см. На ходовом винте установлена ходовая гайка, на которой закреплена каретка. На каретке можно располагать различные объекты перемещения (препятствие различной формы, груз различной массы и т.п.). Имеющиеся в комплекте шаговый двигатель и сервопривод, а также УЗ- и ИК- датчики закреплены на отдельных съёмных платах, которые легко устанавливаются в конструктив стенда.

Конструкция стенда позволяет автоматизировать процесс снятия характеристик преобразования ИК- и УЗ-датчиков расстояния (калибровка датчиков), предоставляя обучающемуся возможность разработать соответствующее ПО для управления линейным приводом и закрепив на каретке препятствие. Микроконтроллер может быть подключён через USB-интерфейс к ПК, что обеспечивает возможность исследования различных алгоритмов фильтрации шумов датчиков. Установленные на стенде концевые датчики конструктивно снабжены индикаторными светодиодами, управление которыми должно осуществляться от МК по программе, разработанной обучающимся.

Разработаны методические материалы для проведения лабораторных работ с помощью стенда.

Литература

1. Осипова П., Антипин М. Е. Концепция лабораторного стенда для изучения робототехнических датчиков // Журнал «Научный лидер», 2020. №2 (2). URL: https://scilead.ru/article/36-kontseptsiya-laboratornogo-stenda-dlya-izucheni (дата обращения 31.08.2024 г.).

Умный социальный робот – координатор маршрута, консультант

А.В. Мекаев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова» (ТУ им. А.А. Леонова), Московская область, г. Королев, Россия, salamabraam@yandex.ru

Smart social robot route coordinator, consultant

Artem V. Mekaev
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, Cosmonaut A.A. Leonov» (TU named after A.A. Leonov), Moscow region, Korolev, Russia, salamabraam@yandex.ru

Педагогическая деятельность в школе ориентирована на результат повышения качества обучения и воспитания, возможность эффективного стартового профессионального самоопределения и самореализации обучающихся с учётом личностных интересов, опираясь на способности. Основная задача школы – обеспечение обучающихся хорошими знаниями, умениями и навыками, овладение основными ключевыми компетенциями: коммуникативные и информационные, реализация теоретических знаний в практической деятельности школьников, создание условий для развития творческого инженерного мышления [1].

Развитие добровольчества посредствам робототехники на наш взгляд будет иметь социально значимую деятельности школьный и студенческих объединений и организаций. Школьники и студенты могут заниматься социальным проектированием – деятельностью деятельность с положительным социальным эффектом, итогом которой должно стать реальное улучшение ситуации в какой-либо социальной области.

Перед образовательными организациями стоит задача - организация образовательной среды, в том числе инклюзивной адаптивной образовательной среды, включающей технические средства обеспечения комфорта. Благодаря образовательной робототехники есть возможность создания ассистирующих машин.

Роботы становятся независимыми объектами социальной среды [2]. Социальные когнитивные умные роботы важны в сфере образования в качестве консультанта, координатора маршрута для обучающихся, в том числе для детей с ОВЗ (рис. 1).

Наш проект – это интеллектуальный робот, который может подсказать пользователю куда ему идти, записать заявку в школьную библиотеку, подсказать нужную информацию по школьному расписанию, подсказать маршрут передвижения в школе.

В основу проекта лёг одноплатный компьютер Raspberry Pi 4 2Gb Он отвечает за интерфейс. выводимый на семи дюймовый сенсорный

дисплей и перемещение робота по помещению. Навигация осуществляется с помощью двух лазерных дальномеров, которые выступают в качестве лидара. Так же у робота есть концевые переключатели для первичного сканирования помещения и построения карты препятствий. Для построения карты робот проезжает помещение по периметру и за счет концевых переключателей составляет карту препятствий. Принцип навигации схож с обыкновенным роботом-пылесосом. Прототипом проекта являетсяч робот-официант «BellaBot» от компании Pudu Robotics, стоимость которой составляет 22000 евро. Взяв за концепт, решили сделать своего робота консультанта, который отличается своим ПО, а также своими задачами, с расчетной стоимостью 72 000 рублей. Кроме того, вовлечение подростков в социально-полезную деятельность посредством робототехники, работа в проектных командах и реализацию офлайн проектов при сопровождении педагогов, позволит отечественному образованию восстановить свои преимущества, которыми исторически обладало – воспитание русского инженера как представителя класса интеллигенции, готового активно принимать участие в процветании своей страны [3].

Рисунок 1 — Прообраз робота-консультанта от компании «Pudu Robotics»

В каких сферах применим робот представлено на рисунке 2.

Используя изученный нейрофизиологами механизм центральных моторных программ, строится и система управления поведением умного робота. Реальное поведение возможно реализовать по модели окружающей среды и модели поведения. Технические возможности и вычислительная мощность пока ограничивают способности поведения роботов, но технологии стремительно развиваются.

Рисунок 2 — сферы применения робота – консультанта

Для современного образования характерно активное развитие структурных составляющих: цель образования, содержание образования, методы, средства и формы обучения, преподавательский состав, обучающиеся. Гарантом успеха обучения робототехники являются базовые принципы: опора на традиции инженерной культуры, системный подход при достижении цели, целеполагание, выработанная стратегия партнерских отношений, отраслевая ориентация, результативность.

Литература

1. Илькевич, Б. В. Образовательная робототехника как средство развития творческого инженерно-технического мышления школьника / Б. В. Илькевич, А. В. Ярославцева // Вестник ГГУ. – 2021. – № 1. – С. 64-75. – EDN OTBUCY.

2. Брындин, Е. Г. Когнитивные роботы с подражательным мышлением / Е. Г. Брындин // Информационно-телекоммуникационные системы и технологии: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Кемерово, 12–13 октября 2017 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2017. – С. 298-300. – EDN ZRXANL.

3. Ащеулова, А. В. Проектная деятельность как средство профессионального самоопределения учащихся основной школы в условиях инклюзивной цифровой образовательной среды // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ. -2023. -№03. - С. 33-36.-DOI 10.37882/2223-2982.2023.3.03.

Обучение робототехнике служит единой цели: целостному развитию личности

Н.Ю. Евтиков

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова» (ТУ им. А.А. Леонова), Московская область, г. Королев, Россия, SodaPopals@yandex.ru

Robotics training serves a single purpose: holistic personal development

Nikita Yu. Evtikov

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, Cosmonaut A.A. Leonov» (TU named after A.A. Leonov), Moscow region, Korolev, Russia, SodaPopals@yandex.ru

Образование XXI века находится под влиянием развития инновационного технического прогресса. Инновационным в образовательной среде является развитие информационных технологий и искусственного интеллекта, активное внедрение указанных форм в образовательный и научный процессы обучения молодежи. Вновь звучат эволюционно - философские взгляды мыслителей девятнадцатого и двадцатого

веков о воспитании молодежи, в которых социокультурные аспекты заслужили самое серьезное внимания наших современников. При изучении аспектов философии И. Канта через призму «обучения, воспитания и развития», на первый план выступают сознательно - духовные силы человека, дающие возможность дальнейшего его саморазвития и самосовершенствования. Внедрение робототехники в пространство школы – универсального инструмента образования, способствовало формированию личностных качеств школьников – развитию силы воли, личной ответственности и умению работать в группе (рис. 1). В проектной деятельности школьников все смелее звучать возможность реализации в образовательном процессе иммерсивных и аддитивных технологий, цифровых двойников и искусственного интеллекта - дополнительной технологией, которая позволяет имитировать функции человека во всех сферах. Применение технологий искусственного интеллекта в сфере образования играет важную роль в обучении и развитии человека на протяжении всей жизни [1-2].

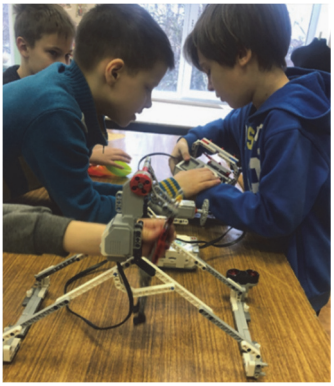


Рисунок 1 — На занятиях в кружке по робототехнике для школьников 1-5 классов

Применение технологий искусственного интеллекта в сфере образования играет важную роль в обучении и развитии человека на протяжении всей жизни [1-2]. Одним из примеров использования обучающимися технологии искусственного интеллекта являются соревнования по робототехнике, проводимые обучающимися. Есть ряд проблем, связанные с использованием машин в образовании, развития «цифровой зависимости» обучающихся, снижение мотивации к обучению.

Рисунок 2 — влияние киборгизации на массовую культуру

В информационную эру появились киборги, биороботы, киберпространство, виртуальная реальность, кибернетические импланты, искусственный интеллект. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» в своих исследованиях подтвердила актуальность среди молодежи «Манифеста киборгов», оказавшее за полвека значительное влияние на массовую культуру и индустрию развлечений (рис. 2). Рост интереса к этой тематике дополнился развитием кибер-, нано-, био-, когнито-, социогуманитарных технологий. Опрос компании «Моторика» - лидер производства протезов для лиц с ОВЗ, подтверждает интерес людей к теме «Кибернетический человек» (рис. 3). Готовы ли педагоги работать в таких школах и с такими технологиями?

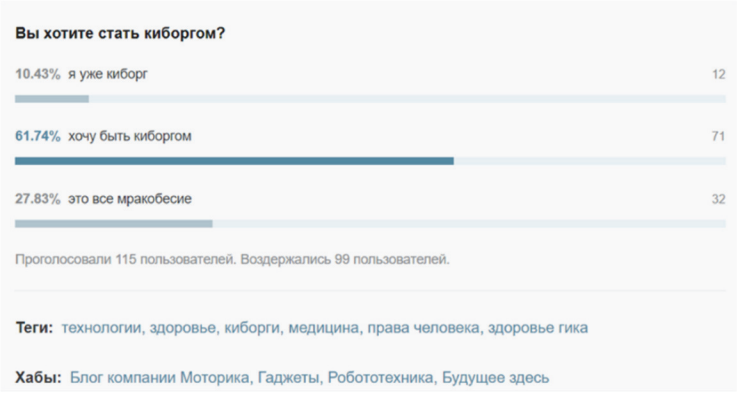


Рисунок 3 — Опрос компании «Моторика» в соцсети

Важна роль педагога-наставника, который создаст перевес перевернутому пониманию эволюции человека – киборгизации, поддержит школьника в вопросах личностного развития, профессиональной ориентации и предпрофессиональной подготовки.

В своём труде «Критика чистого разума» [3] И. Кант рассматривает «чистый разум», как «трансцендентальный разум», путем нахождения ответов на серию вопросов, вследствие чего находит структуру, через которую человеком необходимо познается мир, данный в явлении. Но возникает вопрос об обосновании моральных поступков. Кант ввел такое понятие, как «категорический императив» описывая его как волю, независимую от эффектов внешнего мира: «Поступай так, чтобы твой образ поведения стал законом для всех людей». Личностное самоопределение характеризуется поиском его собственного места в обществе. Важнейшими факторами успеха являются навыки самоорганизации, упорный труд, активность и уверенность в себе – это концепт, как перевес перевернутому пониманию эволюции человека - желание заменить внутреннее развитие человека на физическое совершенство и бессмертие киборгов. Жизнь является ценностью человека, то есть осознанной потребностью, как и следование категорическому императиву является осознанной потребностью в свободе. Аспект проблемы ориентирует на всесторонние усилия со стороны философов, ученых-гуманитариев и специалистов на развитие творчески-деятельностных и волевых компонентов сознания людей, в том числе посредством образовательной робототехники, технологии искусственного интеллекта.

В эпоху киборгизации, давая соответствующее образование молодым инженерам и технологам, следует повысить внимание к гуманитарной компоненте обучения, проводить обучающие и профориентационные мероприятия, направленные на популяризацию технологий искусственного интеллекта - научное направление, напрямую связанно с робототехникой. Создание интеллектуальных роботов составляет конечную цель робототехники.

Литература

1. Амиров Р.А., Билалова У.М. Перспективы внедрения технологий искусственного интеллекта в сфере высшего образования / Р.А. Амиров, У.М. Билалова // Управленческое консультирование. 2020. № 3. С. 80-88.

2. Лучшева Л.В. Социальные проблемы использования искусственного интеллекта в высшем образовании: задачи и перспективы / Л.В. Лучшева // Научный Татарстан. 2020. № 4. С. 84-89.

3. Кант И. Критика чистого разума / Пер. с нем. Н.О.Лосского. — М.: Академический проект, 2020. — 567 с.

Робототехника и образование: школа, университет, производство

А.В. Ащеулова
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова» (ТУ им. А.А. Леонова), Московская область, г. Королев, Россия, a-korolev-a@mail.ru

Robotics and education: school, university, production

Anna V. Ascheulova
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, Cosmonaut A.A. Leonov» (TU named after A.A. Leonov), Moscow region, Korolev, Russia, a-korolev-a@mail.ru

Педагогика, как наука настоящего и будущего, меняет ориентиры, содержание и технологические инструментарии процесса обучения на инновационные, актуализируя современные образовательные программы подготовки специалистов и раннего «профессионального самоопределения» школьников [1]. Происходит активное внедрение в учебный процесс урочной и внеурочной деятельности школьников элементов инженерного образования «с целью формирования навыков» к осознанному выбору будущей профессии в высокотехнологичных сферах производства [2]. Кроме того, внедрение технологии «искусственного интеллекта начинает обретать свою широту в образовании, а цифровые технологии развиваются» [3]. Сегодня практики образовательной робототехники широко распространены в школах (рис. 1).

Выделим векторы образовательной робототехники: инженерно-техническое направление, естественно-научное, спортивное направление [4]. Часто для школ вектор направления спортивной робототехники, приносящий в копилку рейтинга баллы за участие в конкурсах и соревнованиях, более приоритетный. В то время как для развития

инженерно-технического и естественно-научного направлений робототехники школам требуются не только преподавателя – наставника проектных работ, но и инвесторы школьных проектов.

Рисунок 1 — Фестиваль технических проектов школьников г. Королёв Московской области

Школы пробудили у детей интерес заниматься робототехникой в техническом направлении. На данном этапе необходимо поддержать инициативных, талантливых обучающихся, способных создавать и реализовывать инновационные научные проекты в технической и естественнонаучной сферах.

Быстро развивающиеся в сфере робототехники научные знания и современные технологии, делают техническую деятельность специалистов области мехатроники и робототехники ключевой в промышленном секторе экономики страны и машиностроении, в частности. Научно-технический прогресс предъявляет повышенные требования к уровню подготовки специалистов. Анализ проблемы позволяет сделать вывод: важной научно-практической проблемой является развития системы мотивации в том числе для решения практико-ориентированных задач в обучении. Обучение, построенное на интересе и потребности обучающегося, возможно лишь при уверенности студентов в качестве получаемого образования, своей конкурентоспособности. Студенты кафедры «Техники и технологии» в рамках исследования прошли тестирование и самостоятельно оценили готовность решать профессиональные задачи, связанные научно-исследовательской деятельностью. анные самодиагностики констатируют сложность выпускников ТУ им. А. А. Леонова направления «Мехатроника и робототехника» (рис. 2) по следующем навыкам и

компетенциям: позиция 3 - исследования, разработки новых образцов; позиция 4 - проведение патентных исследований; позиция 5 - разработка новых технико-технологических систем. Данные компетенции в числе совместной персонализированной работы обучающегося с наставником, что подтверждает важность развития наставничества в нашей стране.

Образовательные организации высшего образования осуществляют необходимый поиск и введение новых педагогических условий, которые позволяют перейти студентам на более высокий уровень готовности к проектной деятельности средствами робототехнического образования [5].

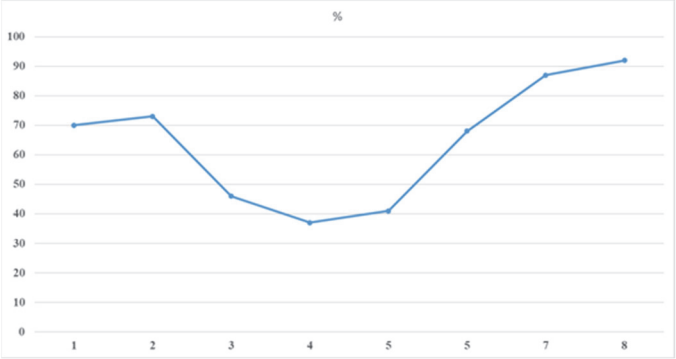


Рисунок 2 — Самодиагностика бакалавров «Готовность решать научно - исследовательские задачи»

Рисунок 3 — Взаимосвязь образовательной робототехники и робототехнического образования

Поскольку процесс формирования и развития инженерного мышления долгая и кропотливая работа, то главная задача педагогического сообщества – создание инновационного образовательного продукта – системы формирования и развития инженерного мышления через преемственность обучения (рис. 3).

Важными составляющими совместной работы школы и университета являются:

– помощь в трансформация содержания предмета «Технология» и внедрение сетевого взаимодействия;

– совершенствование методики профессиональной ориентации школьников путем внедрения в учебный процесс элементов робототехнического образования (рис. 4);

– организация сотрудничества со школами, колледжами, техникумами в целях ранней профориентации и включения школьников и студентов в научную и проектную деятельность (рис. 5);

– поддержка школьников в олимпиадах и конкурсах, организованных партнерами вузов.

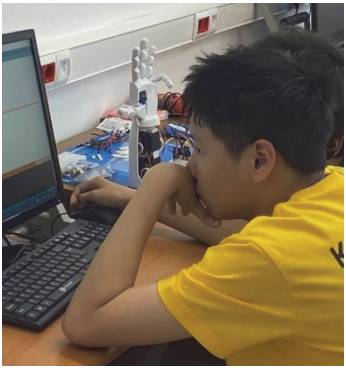


Рисунок 4 — Выполнение проекта по сборке и программированию

Развитие робототехники стоит на острие актуальности, в том числе, ввиду дефицита кадров во многих отраслях. На сегодняшний день перспективные способы взаимодействия вузов и индустриальных партнеров реализуются в реализации совместных научных исследований и формирование консорциумов, совместных образовательных программ, поддержке проектов студентов и школьников.

Реализация сетевого взаимодействия между участниками образовательного процесса в образовательном комплексе «школа -универ-

ситет - производство» в конечном итоге повысит уровень компетенций инженерно-технического направления и количество учащихся, поступающих в российские технические учебные заведения высшего профессионального образования на специальности, связанные с робототехникой.

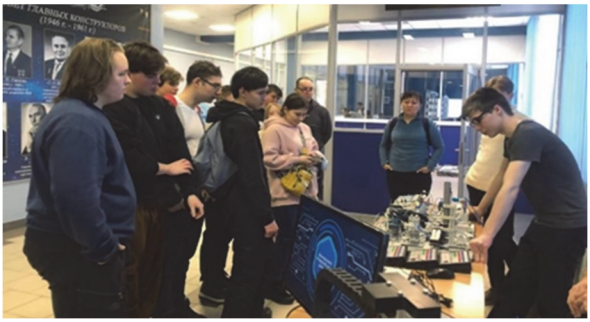


Рисунок 5 — Дни открытых дверей ТУ им. А.А. Леонова

Литература

1. Ащеулова, А. В. Компетентностно-ориентированные задания как средство профессионального самоопределения учащихся основной школы в условиях инклюзивной цифровой образовательной среды / А. В. Ащеулова, Т. Н. Суворова // Шамовские чтения : сборник статей XV Международной научно-практической конференции: В 2 ч., Москва, 21–25 января 2023 года. Том Ч. 1 – Москва: 5 за знания, 2023. – С. 177-180. – EDN CPIVFR.

2. Проектирование системы доступа к полезной нагрузке платформы аппаратно-программного комплекса «Ларец». А.В. Ащеулова, В.А. Барсуков, Д.Г. Демьяненко, А.П. Мороз // Инженерный вестник Дона, №8 (2024) http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2024/942.

3. Ащеулова А.В., Якимов С.Е. Проектирование и изготовление манипулятора с применением аддитивных технологий. https://na-journal.ru/5-2024-tehnologii-proizvodstva/12164-proektirovanie-i-izgotovlenie-manipulyatora-s-primeneniem-additivnyh-tehnologii.

4. Ascheulova AV, Gribkov DN, Mamaeva EA, Nimatulaev MM. Using 3D-modeling to improve the quality of bachelors' training in the field of socio-cultural activities. RUDN Journal of Informatization in Education. 2023;20(3):316–327. http://doi.org/10.22363/2312-8631-2023-20-3-316-327.

5. Кузьмина, М. В. др. Робототехника в школе как ресурс подготовки инженерных кадров будущей России // сборник методических материалов для работников образования в условиях реализации Федеральных государственных образовательных стандартов (по итогам областных семинаров и курсов повышения квалификации по образовательной робототехнике) [Электронный ресурс]: ИРО Кировской области, 2017. – 179 с.

Опыт разработки робототехнического MoCap-полигона для проведения профориентационной и научно-исследовательской работы школьников и студентов

А.Г. Ефромеев✉, Э.А. Гейс, А.В. Козырь
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет» (ТулГУ), Лаборатория цифровых систем управления сложными динамическими объектами (ЛЦСУСДО), г. Тула, Россия, Kozyr_A_V@mail.ru

Experience in developing a robotics MoCap-polygon for career guidance and research work of schoolchildren and students

Andrey G. Efromeev✉, Ed A. Heiss, Andrey V. Kozyr
Russian Federal State Educational Institution of Higher Education «Tula State University» (TulSU), Laboratory of Digital Control Systems for Complex Dynamic Objects, Russia, Tula, Russia, Kozyr_A_V@mail.ru

В последние годы наблюдается растущий интерес к робототехнике и мехатронике, что делает необходимым вовлечение школьников и студентов младших курсов в изучение этих областей. Понимание основ робототехники и теории автоматического управления становится важным для формирования будущих специалистов в инженерной сфере. В этом контексте в Передовой инженерной школе Тульского государственного университета активно используется робототехнический MoCap-полигон [1], который служит платформой для проведения профориентационной и научно-исследовательской

работы студентов. МоСар-полигон (Motion Capture) – это специализированная площадка, оснащенная камерами захвата движения, расположенными по периметру, которые позволяют получать координаты объектов, снабжённых специальными маркерами. По своему основному назначению он используется для тестирования и разработки систем управления подвижными объектами, позволяя точно отслеживать и анализировать движения объектов в реальном времени (см. рис 1.)

Часто в рамках одной лаборатории необходимо проводить исследования с различными типами робототехнических систем, включая наземные платформы, летательные аппараты, такие как квадрокоптеры и малые летательные аппараты самолетного и вертолетного типов (см. рис. 2)

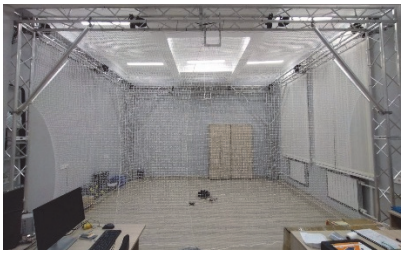


Рисунок 1 — МоСар-полигон ПИШ (ТулГУ)

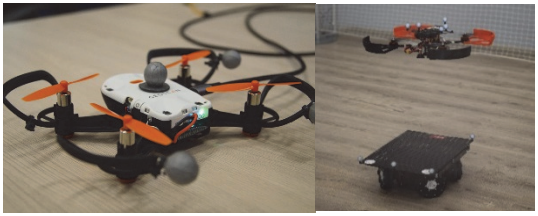


Рисунок 2 — Объекты управления

Это требует комплексного подхода построению лабораторного пространства для тестирование различных робототехнических систем. Кроме того, существует проблема отладки и быстрого апробирования алгоритмов управления. Так для этого требуется приобретение навигационного оборудования и разработка электронных блоков взаимодействия, что может занимать значительное время – до года. В результате затягивается разработка самих систем управления, а интерес студентов может переключаться на другие области,

что негативно сказывается на их вовлеченности в проект. Рассматриваемый MoCap-полигон Лаборатории цифровых систем управления сложными динамическими объектами позволяет оценивать эффективность работы систем управления в реальном времени, когда всех необходимых датчиков и блоков еще нет в наличии.

Однако, данный полигон нашёл своё применение не только в исследовательской деятельности Лаборатории, но и в образовательном процессе в том числе в рамках профориентационной работы со школьниками. Проблема такой работы заключается в том, что у школьников зачастую не хватает времени для глубокого погружения в процесс построения систем управления различными роботами. Для решения этой задачи в Лаборатории разработаны программы для студентов и школьников с различными уровнями подготовки. Они охватывают задачи от простого прокладывания траектории движения робота по виртуальным линиям до реализации полностью автономного управления группой роботов.

Опыт разработки и применения робототехнического MoCap-полигона в передовой инженерной школе ТулГУ демонстрирует важность интеграции теоретических знаний с практическими навыками. Это не только способствует развитию интереса к инженерным специальностям среди молодежи, но и создает условия для научных исследований в области робототехники, что является важным шагом к формированию нового поколения специалистов в данной области.

Литература

1. Luque-Vega, L.F.; Lopez-Neri, E.; Arellano-Muro, C.A.; González-Jiménez, L.E.; Ghommam, J.; Saad, M.; Carrasco-Navarro, R.; Ruíz-Cruz, R.; Guerrero-Osuna, H.A. UAV-Based Smart Educational Mechatronics System Using a MoCap Laboratory and Hardware-in-the-Loop. *Sensors* 2022, *22*, 5707, https://doi.org/10.3390/s22155707.

Подготовка и проведение робототехнической олимпиады в виртуальной среде

А.Ю. Овсянников, И.А. Статкевич, А.В. Малолетов
Автономная некоммерческая организация высшего образования «Университет Иннополис» (АНО ВО «Университет Иннополис»), г. Иннополис, Республика Татарстан, Россия, a.ovsyannikov@innopolis.ru

Preparation and holding of a robotics Olympiad in a virtual environment

Alexey Y. Ovsyannikov, Irina A. Statkevitch, Alexander V. Maloletov
Autonomous noncommercial organization of higher education «Innopolis University» (Innopolis University), Innopolis, Tatarstan, Russia, a.ovsyannikov@innopolis.ru

Робототехнические соревнования и олимпиады, которые до 2020 г. проводились в установленном формате (очно) и имеющие целью демонстрацию участниками навыков работы с оборудованием и/или демонстрацию работы устройства (робота), решающего поставленную задачу, в указанный период столкнулись с рядом серьезных вызовов (от технического оснащения площадок, до формирования новых методик и практик сопровождения). Допандемийная парадигма таких соревнований 2019-2020 гг. может быть представлена высокоуровневой олимпиадой Innopolis Open Robotics, участники которой, выбирая из нескольких предложенных профилей интересный для них, должны были подготовить робота таким образом, чтобы решить практические задачи, заявленные в условиях. К профилям, предложенным в рамках высокоуровневых специализированных робототехнических соревнований Innopolis Open Robotics отнесены следующие: «Манипуляционные ИРС», «Мобильные ИРС», «Интеллектуальные АНПА», «Интеллектуальные БПЛА», «Творческие ИРС».

Пандемия COVID-19 в 2020 г. сузила возможности и рамки, как проведения, так и участия в соревнованиях, имеющих для их участников определяющее знание (поскольку ведущие вузы осуществляют зачисление абитуриентов, в том числе, и по результатам олимпиадной деятельности) настолько, что организаторы, тренеры и соревнующиеся вынуждены были уйти на самоизоляцию, а проведение всех очных мероприятий было отменено. Олимпиаду Innopolis Open Robotics введение описанных ограничений в Российской Федерации застало на этапе активной подготовки участников к финалу. Учитывая вовлеченность участников и, предпринимая все усилия к тому, чтобы финал состоялся, организационный комитет олимпиады принял решение проводить ее в формате, не предполагающем очное присутствие и, тем самым, не нарушающем санитарные ограничения. Методическими комитетами была проделана серьезная подготовительная работа и выработан наиболее удачный формат, соответствующий заявленным профилям.

Профили «Манипуляционные ИРС» и «Мобильные ИРС» выбрали вариант с подготовкой модели полигона и робота в симуляторе, при котором участникам достаточно было написать адекватную управляющую программу; подобный формат не подразумевал проверку навыков конструирования робота и его электроники.

В профиле «Манипуляционные ИРС» задача предполагала перемещение объектов в трехмерном пространстве, поэтому и симулятор должен был уметь реализовывать трехмерные модели роботов и объектов. Научно-методический комитет профиля «Манипуляционные ИРС» выбрал симулятор CoppeliaSim для создания виртуальных полигона и робота (см. рис. 1). В профиле «Мобильные ИРС» задача сводилась к перемещению робота по двухмерному полигону и поиску путей на нем. Поэтому научно-методический комитет профиля «Мобильные ИРС» выбрал достаточный для этой задачи симулятор TRIKStudio.

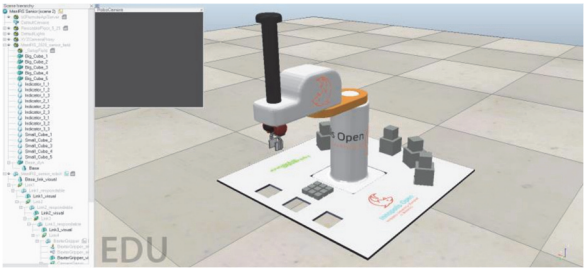


Рисунок 1 — Модель виртуального пространства и робота старшей возрастной группы профиля «Манипуляционные ИРС»

Объектом нашего исследование стал процесс подготовки и поиска формата проведения (переноса) робототехнической олимпиады в виртуальную среду.

Предметом исследования – виртуальная среда и возможности виртуальных платформ для подготовки и проведения специализированных робототехнических соревнований высокого уровня с минимальными потерями качества.

К задачам такого исследования следует отнести: оценку эффективности использования цифрового и виртуального пространства путем соответствующего тестирования как самих возможностей, так и технологий, представленных в симуляторах роботов (CoppeliaSim, Gazebo, TRIK Studio).

Методология исследования выстраивалась с привлечением методов системной организации, сбора максимально доступного количества данных, обработки, интерпретации и дескрипции полученных результатов с целью осознания объективной картины реализации потребностей статусных соревнований в меняющихся условиях.

Благодаря проделанной работе организаторам олимпиады удалось, не нарушая ежегодный календарный цикл подготовки, сохранить вовлеченность участников и тренеров в олимпиадный процесс. Виртуальный формат проведения позволил, хотя и не в полном объеме, оценить навыки и знания участников. Однако виртуальный формат проведения подобных соревнований отличается от очного и для полноценного его использования требует принципиально другой проработки олимпиады с момента разработки задач и до подведения окончательных итогов. Полученный и всесторонне проанализированный при участии сотрудников университета опыт позволил нам не просто определить уязвимости при проведении многоэтапных высокоуровневых соревнований робототехнической направленности, но, проанализировав данные, создать и отрабатывать методики, соответствующие формату состязаний в виртуальной среде.

Конкурсное движение в сфере образовательной робототехники как средство развития технологического образования

Ю.А. Скрипник

Государственное бюджетное учреждение дополнительного образования Центр детского юношеского технического творчества «Старт+» Невского района Санкт-Петербурга (ГБУ ДО ЦД(Ю)ТТ «Старт+ Невского района Санкт-Петербурга), Санкт-Петербург, Россия, skripnik-155@bk.ru

Competitive movement in the field of educational robotics as a means of developing technological education

Julia A. Skripnik

State budgetary institution of additional education Center for Children's and youth technical creativity «Start+» Nevsky district of St. Petersburg, St. Petersburg, Russia, skripnik-155@bk.ru

Актуальность

Соревновательная робототехника развивает не только навыки технического творчества, но и лидерские качества, умение представить свой проект, помогает детям увидеть других увлечённых робототехников. Участие в соревнованиях даёт бесценный опыт и самую лучшую мотивацию.

Развитие технических навыков

Конкурсы в области образовательной робототехники предоставляют школьникам практический опыт в проектировании, конструировании и программировании роботов, тем самым развивая их технические навыки в областях, таких как робототехника, программирование и инженерия.

Эти навыки являются необходимыми для школьников, чтобы преуспеть в быстро развивающейся области технологий и инноваций.

Поощрение образования в области STEM

Конкурсы в области образовательной робототехники способствуют интересу к образованию в области STEM (наука, технология, инженерия и математика) среди школьников, будущих студентов, что является критически важным для развития квалифицированной рабочей силы в этих областях.

Участвуя в конкурсах по робототехнике, школьники мотивируются на выбор карьеры в областях STEM, что помогает решить проблему нехватки квалифицированных специалистов в этих областях.

Развитие критического мышления и навыков решения проблем

Конкурсы по робототехнике требуют критического мышления и развития навыков решения проблем, поскольку они должны проектировать, конструировать и программировать роботов для выполнения конкретных задач.

Эти навыки могут быть применены в реальной жизни, позволяя школьникам решать сложные проблемы и развивать инновационные решения.

Поощрение сотрудничества и командной работы

Конкурсы в области образовательной робототехники поощряют сотрудничество и командную работу среди школьников, поскольку они работают вместе над проектированием, конструированием и программированием роботов.

Это помогает развивать важные навыки, такие как общение, лидерство и управление временем, которые являются жизненно важными для успеха в академических и профессиональных сферах.

Развитие креативности и инновационности

Конкурсы по робототехнике предоставляют школьникам возможность думать креативно и развивать инновационные решения сложных проблем.

Это способствует развитию культуры инноваций и предпринимательства, готовя школьников к тому, чтобы стать лидерами в области технологий и робототехники.

Подготовка школьников к будущей профессии

Конкурсы в области образовательной робототехники направлены на профориентацию школьников, предоставляя им навыки и знания, необходимые для успеха в отраслях, таких как робототехника, искусственный интеллект и автоматизация.

Участвуя в конкурсах по робототехнике, школьники получают конкурентное преимущество на рынке труда и лучше готовятся к адаптации к изменяющимся требованиям отрасли.

Литература

1. Караваев Н.Л., Соболева Е. В. Совершенствование сквозного курса робототехники для подготовки специалистов профессий будущего. Статья – 2019. – № 3. –14 с.

2. Морев А.В. Формирование компонентов технической культуры на занятиях по робототехнике в дополнительном образовании детей. Статья – 2019. – № 6. –13 с.

3. Скурихина Ю. А. Методические принципы изучения робототехники в рамках урочной и внеурочной деятельности. Статья – 2018. – № 4. –10 с.

Робототехника для школьников: профориентация и возможности дополнительного образования

Л.А. Зыкова
Государственное бюджетное учреждение дополнительного образования Центр детского юношеского технического творчества «Старт+» Невского района Санкт-Петербурга (ГБУ ДО ЦД(Ю)ТТ «Старт+ Невского района Санкт-Петербурга), Санкт-Петербург, Россия, zykovastart@internet.ru

Robotics for schoolchildren: career guidance and opportunities for additional education

Ljudmila A. Zykova
State budgetary institution of additional education Center for Children's and youth technical creativity «Start+» Nevsky district of St. Petersburg, St. Petersburg, Russia, zykovastart@internet.ru

В послании к Федеральному собранию 29 февраля 2024 года Президент Российской Федерации В.В. Путин сказал о реализации нового национального проекта «Кадры», одной из позиций которого является укрепление связки всех уровней образования от школы до ВУЗа, работа «…в единой логике на общий результат…» Владимир Владимирович призвал руководителей предприятий, научных и медицинских центров приглашать к себе на производства, в цеха и лаборатории, заводские музеи учащихся школ.

Единая модель профориентации в школах Российской Федерации начала свое функционирование еще в прошлом учебном году. С 1 сентября 2023 года был внедрен проект по профессиональной ориентации учащихся 6-11 классов – Единая модель профориентации – профориентационный минимум (Профминимум). Целью его стало формирование единого профориентационного пространства в системе общего образования Российской Федерации, обеспечивающего готовность выпускников общеобразовательных организаций к профессиональному самоопределению. 19 августа 2024 года вышли обновленные методические рекомендации по реализации Единой модели профессиональной ориентации обучающихся 6-11 классов образовательных организаций Российской Федерации, реализующих образовательные программы основного общего и среднего общего образования. Цель Единой модели профориентации несколько

изменилась: это формирование единого образовательного и воспитательного пространства в системе основного и среднего общего образования Российской Федерации, обеспечивающего готовность выпускников общеобразовательных организаций к профессиональному самоопределению с учетом их потребностей и возможностей, а также социально-экономической ситуации на рынке труда и развития современных производств.

В зависимости от уровня (базовый, основной или продвинутый) школы реализуют профориентационные мероприятия в рамках модулей ЕМП: урочная деятельность, внеурочная деятельность – курс занятий «Россия – мои горизонты», взаимодействие с родителями, практико-ориентированный модуль, дополнительное образование и профессиональное обучение.

С 1 сентября 2024 год во всех российских школах обновился учебный предмет «Труд (технология)». Согласно изменениям в Закон «Об образовании в Российской Федерации» он стал обязательным для учеников с 1-го по 9-й класс. Программа по Труду (технологии) состоит из нескольких модулей, общих для каждого года обучения. Для основной школы предусмотрены такие модули, как «Производство и технологии», «Компьютерная графика. Черчение», «Технологии обработки материалов и пищевых продуктов», «3D-моделирование, прототипирование, макетирование», «Робототехника».

Отдельный интерес представляет практико-ориентированный модуль, который включает в себя большое разнообразие форм профориентационной работы: профпробы, мастер-классы, мультимедийные выставки-практикумы «Лаборатория будущего», интерактивные мероприятия и иные мероприятия, где предполагается непосредственный контакт с условиями, средствами, предметами труда, а также представителями профессий организаций-работодателей, организаций дополнительного образования, профессиональных образовательных организаций, организаций высшего профессионального образования. Этот модуль дает огромные возможности для погружения учащихся в сферу «умной среды» и привлечения внимания к отрасли ИИ и робототехники.

Модуль «Дополнительное образование» является обязательным для основного и продвинутого уровня реализации ЕМП. Центры и дома творчества, в том числе технического, представляют огромный спектр мероприятий профессиональной направленности.

Государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного образования центр детского (юношеского) технического творчества «Старт+» Невского района Санкт-Петербурга – это инновационная площадка для реализации актуальных образовательных проектов, ориентированных на приобщение детей к техническому творчеству, знакомству с современными ИТ- и медиа-технологиями, различными направлениями деятельности, профессиональную ориентацию детского и юношеского сообщества Невского района и города. В настоящее время на базе ГБУ ДО ЦД(Ю)ТТ «Старт+» функционируют три опорных центра: по развитию системы профориентации и поддержке и продвижения участников чемпионатного движения профессиональной направленности, по поддержке и развитию школьных медиацентров и по поддержке дополнительного образования в сфере искусственного интеллекта и робототехники. В рамках основной деятельности Учреждения мы предлагаем обучающимся от 7 до 18 лет дополнительные общеразвивающие программы в области робототехники, мастер-классы, интенсивы, краткосрочные программы, которые проходят в рамках реализации каникулярных смен, открытый городской фестиваль робототехники и программирования Кубка Невского района, занимаемся подготовкой учащихся и площадкой проведения Национальной технологической олимпиады для учащихся 5-7 классов в сфере «Технологии и роботы», готовим обучающихся к участию в чемпионатах профессионального мастерства по данному направлению.

В настоящее время профессиональная ориентация подрастающего поколения начинается «с пеленок». Профессиональное просвещение, консультирование и обучение юных членов социума дает возможность образовательным организациям и представителям реального сектора экономики привлечь в сферу будущих специалистов и сформировать новый кадровый резерв своей профессиональной области.

СЕКЦИЯ «БЕСПИЛОТНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ»

Альтернативные способы автономной навигации БАС в условиях отсутствия сигналов спутниковых навигационных систем

М.Е. Данилин, О.П. Меньшиков, К.Р. Ахтямов✉,
И.И. Инин, К.Н. Юсупова
ООО «Аванти-Софт», Иннополис, Республика Татарстан, Россия, ahtyamovgk@gmail.com

Alternative methods of autonomous navigation of UAS in the absence of signals from satellite navigation systems

Maksim E. Danilin, Oleg P. Menshikov, Kamil R. Akhtyamov✉,
Igor I. Inin, Christina N. Yusupova
«Avanti-Soft» LLC, Innopolis, Republic of Tatarstan, Russia, ahtyamovgk@gmail.com

Беспилотные авиационные системы (БАС) играют важную роль в современном мире и предоставляют возможности для выполнения множества задач, таких как мониторинг окружающей среды, доставка товаров, проведение разведывательных операций и многое другое. Однако для эффективного выполнения своих функций БАС необходимо обеспечить надежную и точную навигацию, особенно при выполнении автономных полетов. Однако эффективное использование БАС для выполнения автономных задач невозможно без точной и надежной навигации. В большинстве случаев, автономная навигация реализуется посредством использования спутниковых навигационных систем, таких как ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система) и GPS (Глобальная система позиционирования). Несмотря на практическую пользу и удобство использования спутниковых навигационных систем, в современных реалиях существует ряд факторов, существенно ограничивающих их использование в решении задач автономной навигации [1].

Одним из ключевых недостатков использования ГЛОНАСС и GPS является уязвимость к помехам и намеренное подавление спутниковых сигналов. Также важно учитывать, что в условиях плотной городской застройки, в густом лесу или в горах сигналы спутниковых навигационных систем будут отражаться или блокироваться,

что значительно ухудшит качество сигнала и точность позиционирования.

В связи с этими ограничениями возникает потребность в разработке альтернативных методов автономной навигации, которые могут обеспечить надежность и точность даже в условиях отсутствия или ухудшения качества спутниковых сигналов. В данной работе подробно рассматриваются три метода: автономная навигация по ARUCO-маркерам, визуальная одометрия и использование системы ультразвуковой навигации.

Автономная навигация с использованием ARUCO-маркеров позволяет выполнять автономные задачи в условиях отсутствия сигналов от спутников, обеспечивая при этом высокую точность определения положения беспилотного летательного аппарата (БПЛА) в пространстве. Благодаря контрастному дизайну и характерной геометрической форме ARUCO-маркеры легко распознаются камерой даже под довольно большим углом. Каждый ARUCO-маркер содержит в себе закодированный идентификатор, что дает возможность задать последовательность действий БАС для каждого идентификатора. Использование данной технологии позволяет проводить посадку БПЛА с высокой точностью и обеспечивает навигацию в сложных условиях, когда отсутствуют сигналы ГЛОНАСС и GPS [1, 2].

Визуальная одометрия (ВО) является методом определения положения и перемещения объекта в пространстве на основании анализа последовательности кадров, полученных из видеопотока. В каждом кадре выделяются ключевые точки и объекты и на основе их смещений определяется положение БАС, его траектория и скорость. В дополнение к этому, с помощью ВО производится создание карт местности, при этом БПЛА продолжает определять себя в пространстве. Однако не стоит забывать, что для корректной работы данного метода в кадре должно содержаться достаточно визуальной информации (особенности местности, постройки и т.п.). Даже с учетом того, что ВО может использоваться как самостоятельный метод для автономной навигации БАС, лучше всего использовать визуальную одометрию совместно с другими методами навигации или совместно с системами БПЛА, например, с инерциальным измерительным блоком (IMU) [2, 3].

Одним из новых и перспективных методов считается использование ультразвуковой системы навигации. Принцип работы ультразвуковой навигации основан на использовании ультразвуковых маяков, которые работают на прием или передачу звуковых волн высокой частоты (19кГц и выше). Несколько маяков настраиваются на прием

ультразвуковых сигналов, как стационарные. Они устанавливаются на необходимой высоте (БПЛА не должен взлетать выше стационарных маяков), при этом полетная зона, создаваемая стационарными маяками, должна быть пустой – без объектов, препятствующих движению ультразвука. Мобильный же маяк, устанавливаемый на БПЛА, настраивается на передачу ультразвуковых волн, принимать которые будут стационарные маяки. Таким образом, зная расположение стационарных маяков и изменение относительно них мобильного маяка на БПЛА, производится эмуляция спутникового навигационного поля. Данный метод не может сравниться с GPS и ГЛОНАСС по площади покрытия, однако без проблем работает как внутри помещения, так и снаружи.

Спутниковые навигационные системы, несмотря на их широкое распространение и важность, имеют существенные ограничения в современных условиях. Это подталкивает к поискам альтернативных методов автономной навигации для беспилотных авиационных систем. Автономная навигация по ARUCO-маркерам, визуальная одометрия и использование системы ультразвуковой навигации представляют собой перспективные подходы, которые могут значительно повысить шансы на успешное выполнение задач автономной навигации БАС.

Эти технологии не только дополняют спутниковую навигацию, но и позволяют беспилотным системам успешно функционировать в тех условиях, где спутниковые системы оказываются недостаточными или недоступными. Внедрение и развитие таких методов автономной навигации является ключевым шагом к созданию более совершенных и независимых беспилотных систем, способных эффективно выполнять задачи в самых сложных и неблагоприятных условиях.

Литература

1. Arafat M.Y., Alam M.M., Moh S. Vision-Based Navigation Techniques for Unmanned Aerial Vehicles: Review and Challenges // Drones, vol. 7, art. 89, 2023. https://doi.org/10.3390/drones7020089.

2. Lebedev I., Erashov A., Shabanova A. Accurate Autonomous UAV Landing Using Vision-Based Detection of ArUco-Marker // Interactive Collaborative Robotics. Fifth International Conference, ICR 2020, St Petersburg, Russia, October 7-9, 2020, Proc. Book «Lecture Notes in Computer Science», vol. 12336, 2020. Springer International Publishing Switzerland. 2020. pp. 179-188. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60337-3_18.

3. Aqel M.O.A., Marhaban M.H., Saripan M.I. Review of visual odometry: types, approaches, challenges, and applications // SpringerPlus, vol. 5, art. 1897, 2016. https://doi.org/10.1186/s40064-016-3573-7.

Обоснование структуры и средств комплекса метрологического обеспечения навигационных систем беспилотных летальных аппаратов

В.Б. Пудловский✉, А.М. Каверин, А.В. Гребенников, А.А. Фролов

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений» (ФГУП «ВНИИФТРИ»), р.п. Менделеево, г. Солнечногорск, Московская область, Россия, pudlovskiy@vniiftri.ru

Justification of the structure and means of the metrological support complex for navigation systems of unmanned aerial vehicles

Vladimir B. Pudlovskiy✉, Anton M. Kaverin, Andrey V. Grebennikov, Anatoly A. Frolov

Federal State Unitary Enterprise «Russian metrological institute of technical physics and radioengineering) (FSUE «VNIIFTRI»), Moscow region, Solnechnogorsk city, worker's settlement Mendeleevo, Russia, pudlovskiy@vniiftri.ru

Для беспилотных летальных аппаратов (БЛА) актуальным остается контроль характеристик точности их бортовых навигационных систем (БНС) в натурных условиях.

Одной из веских причин необходимости оценки точности определения навигационных параметров (координаты, составлявшие вектора скорости и т.п.) БНС в процессе полета БЛА является совместное использование измерений инерциальных чувствительных элементов (ИЧЭ) и результатов решения навигационной задачи по сигналам навигационных космических аппаратов (НКА) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в бортовом приемнике. В настоящее время для контроля метрологических характеристик навигационной аппаратуры потребителей ГНСС используются различные типы имитаторов навигационных сигналов [1]. Однако эти имитаторы не могут одновременно воспроизводить информацию от

нерадиотехнических датчиков в составе БНС БЛА, таких как ИЧЭ, баровысотомер, магнитный компас и т.д.

По этой причине, для метрологического обеспечения навигационных систем БЛА возникает необходимость разработки и создания комплекса средств определения пространственных координат БЛА с гарантированным метрологическим запасом (т.е. точнее, чем погрешности БНС) в процессе его полёта в локальном районе. В настоящее время во ФГУП «ВНИИФТРИ» спроектирован и разрабатывается такой комплекс средств определения местоположения в локальной системе координат (КСО МЛСК).

На основании результатов предварительного анализа и с учетом проработки конструкции в качестве основной технологии КСО МЛСК определена технология на основе режима фазовых относительных измерений по сигналам ГНСС (далее - RTK). Данный вариант является предпочтительным в сравнении с вариантом локальной навигационной системы (ЛНС), предусматривающим создание локального навигационного поля. Анализ известных ЛНС показал, что требуемую точность определения местоположения (единицы сантиметров) могут обеспечить только системы с использованием сверхширокополосных (СШП) сигналов. Однако дальность действия приемопередатчиков СШП сигналов обычно не превышает 100 м [2]. Расширение рабочей зоны таких ЛНС за счет реализации «сотовой» структуры кратно увеличивает аппаратурные затраты и трудоемкость развертывания такой системы. Однако ЛНС на базе СШП сигналов целесообразно рассматривать в качестве вспомогательных средств измерения при проведении испытаний в условиях снижения числа радиовидимых НКА менее 5, например, в условиях воздействиях радиопомех или при очень высоких уровнях переотражения сигналов ГНСС.

Обобщенная структурная схема КСО МЛСК представлена на рисунке 1.

RTK режим обеспечивает погрешность измерения относительных координат в первые единицы сантиметров [3] в локальной системе координат, началом которой служит точка установки антенной систем мобильной базовой станции (МБС) КСО МЛСК. Относительный фазовый режим предполагает совместную обработку радионавигационных параметров (РНП) – результатов одновременных измерений кодовой и фазовой псевдодальности, выполненных МБС КСО МЛСК и аппаратурой КСО МЛСК, установленной на контролируемом БЛА (аппаратура контролируемых объектов – АКО).

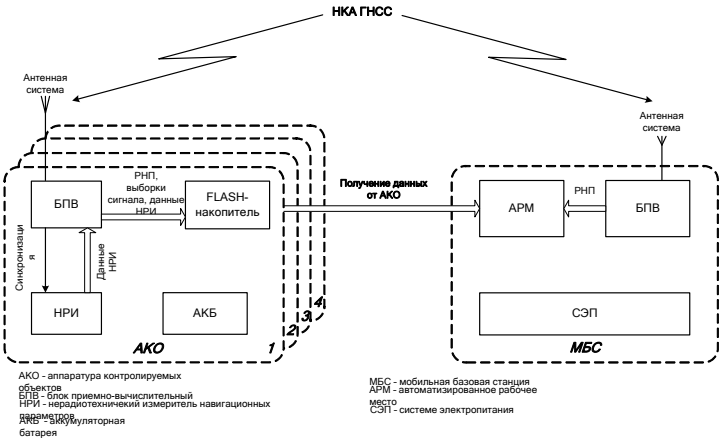


Рисунок 1 — Обобщенная структурная схема КСО МЛСК

Ключевой особенностью разрабатываемого КСО МЛСК является отсутствие необходимости определения навигационных параметров БНС в реальном времени. Формирование информации о параметрах траектории движения БЛА может обеспечиваться в постобработке с использованием информации, полученной и сохраненной (накопленной) в процессе проведения сеанса измерений. В масштабе времени, близком к реальному, в МБС также будет реализован мониторинг навигационного поля ГНСС, обеспечивающий контроль достоверности навигационных измерений (число наблюдаемых НКА ГНСС, отсутствие источников электромагнитного излучения, мешающих приему сигналов НКА).

Сравнительно небольшая длительность проведения измерительных сеансов – десятки минут, единицы часов – с учетом информационного потока, генерируемого в АКО, и информационной емкости доступных малогабаритных накопителей данных позволяет отказаться от реализации любых вариантов передачи РНП от АКО на МБС в реальном времени (с использованием радиосредств передачи цифровой информации или ретрансляции сигналов НКА с борта БЛА). В качестве объекта-носителя для проверки БНС контролируемых БЛА предполагается использовать отдельный БЛА с допустимой массой полезной нагрузки 2,7 кг.

КСО МЛСК должен обеспечивать следующие метрологические характеристики:

– границы случайной составляющей погрешности (при доверительной вероятности 0,95) измерения координат местоположения в локальной системе координат ±0,05 м;

– границы погрешности (при доверительной вероятности 0,95) определения скорости в диапазоне от 0 до 250 км/ч ±0,05 м/с;

– границы погрешности (при доверительной вероятности 0,95) оцифровки результатов измерений в национальной шкале координированного времени UTC(SU) ± 1 мс.

Литература

1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://srns.ru/wiki/Blog:Boldenkov/08.09.2011_Обзор_имитаторов_сигналов (дата обращения: 12.09.2024).

2. Chugunov, A.A., Petukhov, N.I., Malyshev, A.P., Pudlovskiy, V.B., Glukhov, O.V., and Frolov, A.A., Experimental Evaluation of UWB Local Navigation System Performance Used for Pedestrian and Vehicle Positioning in Outdoor Urban Environments, XV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems Of Electronic Instrument Engineering (APEIE), 2021, pp. 449–454, doi: 10.1109/APEIE52976.2021.9647604.

3. Перов А.И. ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития. Радиотехника. 2020.

Применение локальных навигационных систем, использующих сверхширополосные сигналы для координатного обеспечения БПЛА

С.В. Оробченко, А.П. Малышев, А.А. Чугунов, С.В. Черных, А.Д. Евсеев, И.Б. Галуев

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», Москва, Россия, orobchenkosv@mpei.ru

Use of local navigation systems using ultrawideband signals for UAV coordination

Stepan V. Orobchenko, Alexander P. Malyshev, Alexander A. Chugunov, Sergey V. Chernyh, Artem D. Evseev, Igor B. Galuev

National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia, orobchenkosv@mpei.ru

Навигационное обеспечение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) различного класса сегодня является необходимым для их эксплуатации. В большинстве случаев достаточную точность и надежность навигационных определений (НО) обеспечивают глобальные навигационные системы (ГНСС) [1]. Для задач оценки НО в условиях отсутствия покрытия навигационным полем ГНСС не существует стандартного решения, что ставит актуальной задачей исследования вопросов создания альтернативных ГНСС систем получения НО. Частным случаем таких условий является навигация в закрытых пространствах (в помещениях), где применяются локальные навигационные системы (ЛНС).

В настоящее время перспективными являются сверхширокополосные (СШП) ЛНС на базе стандарта IEEE802.15.4 [2]. Импульсные сигналы наносекундной длительности обеспечивают высокую разрешающую способность по времени, а также устойчивость к многолучевости. Такие ЛНС являются инфраструктурными и требуют наличия опорных радионавигационных точек (ОРНТ). СШП ЛНС обеспечивают погрешность определения координат объектов внутри рабочей зоны порядка нескольких сантиметров в зависимости от используемой навигационной архитектуры.

В работе представлена СШП ЛНС, представляющая собой программно-аппаратный комплекс, способный функционировать в двух режимах: в режиме мониторинга, в режиме навигации.

В режиме мониторинга бортовой навигационный модуль (БНМ) является активным, а ОРНТ – пассивными. Задача НО решается на стороне инфраструктуры, число одновременно отслеживаемых БНМ с темпом до 100 Гц составляет сотни при и интервальной погрешности координатных определений до 0,15 м по уровню 0,95.

В режиме навигации, БНМ является пассивным, а ОРНТ – активными. Задача НО решается на борту, что обеспечивает неограниченное число потребителей. Темп обновления НО составляет до 50 Гц при погрешности координатных определений до 0,1 м по уровню 0,95.

Для обоих режимов минимальное число ОРНТ равно четырем, что обеспечивает площадь покрытия до 1000 м2.

Литература

1. Перов А.И. ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития. Радиотехника. 2020.

2. ,IEEE Standard for Local and metropolitan area networks–Part 15.4: LowRate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) // IEEE Std 802154- 2011 Revis. IEEE Std 802154-2006. 2011. P. 1–314.

3. N. Petukhov, A. Chugunov, V. Zamolodchikov, D. Tsaregorodtsev and I. Korogodin, «Synthesis and Experimental Accuracy Assessment of Kalman Filter Algorithm for UWB ToA Local Positioning System», 2021 3rd International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russia, 2021, pp. 1-4.

Арена дронов - лабораторный высокопроизводительный измерительный комплекс

А.М. Бойко[1]✉, П.Ю. Шамрай[1], Т.Ю. Мельников[1], А.А. Будза[1], П.В. Костырин[1], К.А. Максимов[1], Д.В. Ткаченко[2]

[1]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» (Университет ИТМО), Санкт-Петербург, Россия, amboiko@itmo.ru

[2]Общество с ограниченной ответственностью «Мирт» (ООО «Мирт»), Санкт-Петербург, Россия

Благодарности

Работа выполнена в Университете ИТМО при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта № 423027 «Разработка базового комплекта модулей высокопроизводительной оптоэлектронной системы точного определения координат».

Drone Arena - laboratory high-performance measuring complex

Andrey M. Boyko[1]✉, Pavel Y. Shamray[1], Timofey Y. Melnikov[1], Alexei A. Budza[1], Pavel V. Kostyrin[1], Kirill A. Maximov[1], Dmitriy V. Tkachenko[2]

[1]ITMO University (ITMO), St. Petersburg, Russia, amboiko@itmo.ru

[2]«Myrtle» Limited Liability Company (LTD «Myrtle»), St. Petersburg, Russia

Acknowledgements
This work is partially supported by the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation, state assignment No. 423027.

Разработка малогабаритных и недорогих автопилотов на базе MEMS для малогабаритных и недорогих беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) началась примерно в 2005–2008 году. В академической среде наибольшую популярность приобрело развитие проекта швейцарского студента Лоренца Майера, который основал проект автопилота PX4 [1]. За редким исключением, в современных автопилотах не предусматривается возможность автоматического полёта, который бы использовал все динамические возможности конкретного летательного аппарата. И здесь видно сильное расхождение между исследованиями команд из ETH Zurich, GRASP Lab и аналогичных, демонстрирующих в лаборатории фантастическую маневренность [2], и возможностью автоматического полета по точкам полетного задания. Потребность в точном и быстром маневрировании для БПЛА возникает при посадке на неустойчивую платформу, при уклонении от проводов, деревьев, птиц и других беспилотников, при стыковке в воздухе.

Создание маневренного автопилота — это наработка библиотек динамичных трехмерных маневров. При отработке таких маневров мультикоптерами требуется не только контроль траектории движения, но и контроль скорости. Поскольку полеты на университетских стадионах запрещены и использование GPS RTK [3] невозможно, то научная работа идёт в помещениях - на специально подготовленных аренах дронов. Там используется оборудование VICON или OptiTrack, но, в отличии от GPS RTK [4] оно не имеет отдельного канала измерения скорости. Следовательно, скорость вычисляется из координат и данных инерциальной навигационной системы. Точность определения скорости, при использовании системы VICON, определяется точностью работы бортовой инерциальной системы, настройка которой и есть важная часть работы. Целью нашего проекта по разработке высокопроизводительной оптоэлектронной системы точного определения координат (ВОСТОК) является создание масштабируемой лабораторной системы, измеряющей координаты и скорости БПЛА с точностью, превосходящей GPS RTK. То есть благодаря ВОСТОКу возможна валидация модели поведения беспилотника и алгоритмов управления по полностью независимому от бортовой навигационной системы потоку данных в условиях лабораторных экспериментов.

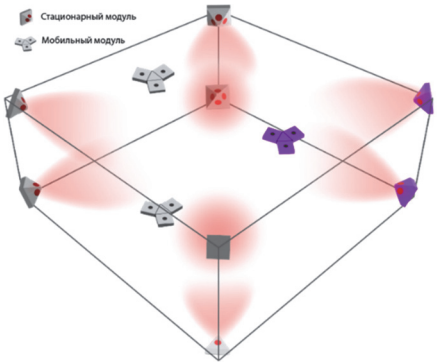


Рисунок 1 — Схематичное изображение ВОСТОКа. Фиолетовым выделен минимально рабочий комплект для трехмерного позиционирования

ВОСТОК состоит из стационарных модулей, устанавливаемых по периметру рабочей области, и мобильных модулей, устанавливаемых на объект измерения (Рисунок 1). Принцип работы системы основан на моноимпульсной радиолокации только в оптическом диапазоне [5]. Попарные излучатели каждого стационарного модуля излучают модулированный сигнал, а на мобильном модуле происходит прием и вычисление суммарно-разностного значения. Далее, эти значения подаются на вход полиному, выходом которого и является координата. Такой простой, с вычислительной точки зрения, подход позволяет вычислять координаты прямо на микроконтроллере мобильного модуля. Для улучшения точности на краях рабочей области использовалась неглубокая нейронная сеть.

По результатам испытаний и моделирования были получены следующие характеристики. Ошибка измерения координат (среднеквадратичное отклонение) составляет не более 5 мм в рабочей области. Высокая частота измерений исходного сигнала в 7000 Гц позволяет вычислять скорость объекта с точностью до 2 см/с, что сравнимо с прямым измерением скорости по ГНСС. При установке двух или трех приемников (в составе мобильного модуля) на объект измерения появляется возможность измерять и ориентацию с точностью не хуже 10 градусов.

Испытания проводились на базовом комплекте модулей, состоящем из двух стационарных и одного мобильного модуля в рабочей области 1.3x1.3x1.6 м. Однако, система масштабируется на произвольное количество как стационарных, так и мобильных модулей, которым не нужна связь с каким-либо сервером для вычислений.

Литература

1. Meier, L. Dynamic Robot Architecture for Robust Realtime Computer Vision : Doctoral Thesis / L. Meier. – ETH Zurich, 2017. – URL: https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/129849 (date accessed: 26.08.2024). – Text : electronic.

2. Müller, M. Quadrocopter ball juggling / M. Müller, S. Lupashin, R. D'Andrea. – Text : electronic // 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. – 2011. – С. 5113-5120. – doi:10.1109/IROS.2011.6094506.

3. Real-Time Onboard 3D State Estimation of an Unmanned Aerial Vehicle in Multi-Environments Using Multi-Sensor Data Fusion / H. Du, W. Wang, C. Xu [et al.] // Sensors. – 2020. – Vol. 20. – № 3. – P. 919, doi:10.3390/s20030919.

4. Chalko, T. High accuracy speed measurement using GPS (Global Positioning System) / T. Chalko. – Текст : электронный. – 2007. – URL: https://www.semanticscholar.org/paper/High-accuracy-speed-measurement-using-GPS-(Global-Chalko/dd5c2cf2960cb900a9cacbfdf084dd22a9517feb (дата обращения: 26.08.2024).

5. Бойко А.М., Высокопроизводительная оптоэлектронная система отслеживания положения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) / А.А. Будза, А.Г. Кваско, П.В. Костырин, К.А. Максимов, Д.В. Ткаченко, П.Ю. Шамрай // Экстремальная робототехника: материалы международной научно-технической конференции (Санкт-Петербург, 29-30 сентября 2022). – Санкт-Петербург : Изд-во ЦНИИ РТК, 2022. – С. 18-24.

Поиск нестационарного объекта роевой системой летательных аппаратов

А.В. Козырь✉, Э.А. Гейс

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет» (ТулГУ), Лаборатория цифровых систем управления сложными динамическими объектами (ЛЦСУСДО), г. Тула, Россия, Kozyr_A_V@mail.ru

Благодарности
Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках государственного задания по теме «FEWG-2022-0003».

Search of non-stationary object by swarm system

Andrey V. Kozyr✉, Ed A. Heiss
Russian Federal State Educational Institution of Higher Education «Tula State University» (TulSU), Laboratory of Digital Control Systems for Complex Dynamic Objects, Tula, Russia, Kozyr_A_V@mail.ru

Acknowledgements
This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education under the state assignment “FEWG-2022-0003”.

В настоящее время беспилотные авиационные системы (БАС) находят широкое применение в различных областях деятельности. Они применяются для мониторинга и наблюдения за территориями, аэрофотосъемки, доставки грузов и в ряде других областей. Глобальный рынок коммерческих БАС уже превышает 14 миллиардов долларов [1], что подчеркивает их растущую роль в современном обществе.

Одной из ключевых проблем массового использования БАС является регулирование воздушного пространства и предотвращение их несанкционированного применения в ограниченных зонах [2]. В этой связи важной задачей является исследование и разработка мультиагентных методов для поиска динамических объектов в неопределенной среде.

В настоящей работе предлагается применение метода квазитеплового движения (МКД) [3] для поиска и ограниченном пространстве динамического объекта роем летательных аппаратов квадрокоптерного типа (см. рис 1.)

В основе МКТД лежит метод потенциального поля [4]. Вектор результирующего поля представляет собой целевое ускорение агента, что позволяет характеризовать МКТД как систему с силовой картиной взаимодействия. Агенты «отталкиваются» друг от друга при достаточном сближении. Взаимодействие происходит в пределах замкнутой заранее определенной области, от границ которой агенты также «отталкиваются». Агенты и границы этой области

называются элементами роя. Основная идея метода заключается в том, чтобы наделить агентов поведенческой моделью, аналогичной взаимодействию молекул газа, и управлять роем с помощью интегральных параметров, таких как температура.

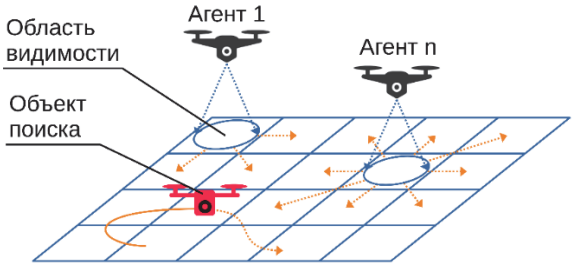


Рисунок 1 — Поиск динамического объекта группой ЛА

В работе на основе математического моделирования была показана эффективность предложенного метода по сравнению с известными более чем на 15% в случае вероятностного отказа агентов роя. Также были получены зависимости размерности роя от размера пространства и средней скорости решения задачи.

Литература

1. Mohsan, S.A.H.; Khan, M.A.; Noor, F.; Ullah, I.; Alsharif, M.H. Towards the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review. *Drones* 2022, *6*, 147. https://doi.org/10.3390/drones6060147

2. Zhang, B.; Wang, T.; Li, M.; Cui, Y.; Lin, X.; Zhu, Z. Multiple Unmanned Aerial Vehicle (multi-UAV) Reconnaissance and Search with Limited Communication Range Using Semantic Episodic Memory in Reinforcement Learning. *Drones* 2024, *8*, 393. https://doi.org/10.3390/drones8080393

3. Eduard Heiss, Andrey Kozyr, Oleg Morozov, «Interaction Between Area Boundary and Formation of Agents Interacting by the Thermal Motion Equivalent Method», 2024 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), pp.771-777, 2024.

4. Eduard A. Heiss, Andrey V. Kozyr, Oleg O. Morozov, «Synchronization of the Coupled Swarm Agents' Movement Interacting by the Thermal Motion Equivalent Method», 2024 IEEE 25th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM), pp.1600-1607, 2024.

Технический симулятор для подготовки операторов дронов «ИРИС-К»

Д.В. Егоров, А.А. Жиленков, М.Ю. Серебряков
Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический Университет (СПбГМТУ), Санкт-Петербург, Россия, egorov@smtu.ru

Благодарности
Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации программы «Приоритет 2030».

Technical simulator for training drone operators «IRIS-K»

Dmitry V. Egorov, Anton A. Zhilenkov, Mikhail Y. Serebryakov
St. Petersburg State Marine Technical University (SPbSMTU), St. Petersburg, Russia, egorov@smtu.ru

Acknowledgements
Ministry of Education and Science of Russia within the framework of the strategic academic leadership program «Priority-2030».

С ростом популярности квадрокоптеров в различных сферах, таких как индустрия развлечений, коммерческая доставка и поисково-спасательные операции, возникает необходимость в эффективных методах обучения операторов. Особенно важна разработка подобных технологий для военных нужд, где квадрокоптеры играют ключевую роль в разведке, наблюдении и выполнении боевых задач. Тренажеры позволяют снизить риски при обучении, минимизировать затраты на оборудование и предоставляют возможность моделирования сложных сценариев, что особенно актуально в условиях повышенных требований к безопасности и оперативности.

Главная цель тренажера — обучение пользователей основам управления квадрокоптерами в безопасной и контролируемой среде. Тренажер способствует формированию необходимых навыков, снижению вероятности аварийных ситуаций в реальной эксплуатации и повышению уровня подготовки операторов. Для военных нужд важным аспектом является возможность моделирования боевых сценариев и специфических условий выполнения задач. Важной задачей

также является создание программного обеспечения, способного моделировать различные погодные условия, препятствия и ситуации, с которыми может столкнуться оператор квадрокоптера.

Управление в тренажере осуществляется с помощью настоящего пульта управления для дронов, что обеспечивает полную аутентичность опыта и позволяет операторам быстрее адаптироваться к реальным условиям. Особое внимание уделяется моделированию физики полета, реакциям квадрокоптера на действия оператора и взаимодействию с окружающей средой. Важным элементом является создание удобного и интуитивно понятного интерфейса, обеспечивающего комфортное обучение как для новичков, так и для опытных пользователей. Сценарии, представленные в тренажере, повторяют реальные локации, что позволяет операторам отрабатывать задания в условиях, максимально приближенных к тем, с которыми они могут столкнуться на практике [1, 2].

Разработка тренажера позволяет значительно сократить расходы на обучение, избежать повреждений реального оборудования и повысить безопасность процесса обучения. Благодаря возможности моделирования различных сценариев, операторы могут подготовиться к выполнению сложных задач в реальных условиях. Это особенно важно для оборонно-промышленного комплекса, так как позволяет отрабатывать критически важные задачи без риска для жизни и техники. Также на базе тренажера уже проводились соревнования по гонкам на дронах, что подтверждает его высокую функциональность и востребованность среди профессионалов.

Тренажер по управлению квадрокоптерами имеет широкий спектр применения, от образовательных учреждений до корпоративного сектора, а также для индивидуальных пользователей, заинтересованных в повышении своих навыков управления. В условиях санкционного давления особенно важным является развитие и продвижение отечественных решений, обеспечивающих независимость от зарубежных поставщиков и устойчивость технологий. В дальнейшем планируется расширение функционала тренажера для работы с различными типами беспилотных летательных аппаратов, включая интеграцию с реальными системами управления и разработку дополнительных модулей для решения специфических задач, как в гражданских, так и в военных целях.

Литература

1. Обзор моделирования виртуального полигона на платформе Unity 3D / Д. В. Егоров, А. А. Жиленков // Оборонный комплекс -

научно-техническому прогрессу России. – 2024. – № 1(161). – С. 12-17. – DOI 10.52190/1729-6552_2024_1_12.

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024665818 Российская Федерация. ИРИС-К. / А. А. Жиленков, М. Ю. Серебряков; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет».

Применение роботизированного комплекса в управлении дорожным движением

Д.С. Букатов, А.Ю. Недякин
Военная академия материально-технического обеспечения, Санкт-Петербург, Россия, nedyakin82@mail.ru

Automation of traffic management

Dmitriy S. Bukatov, Alexey Yu. Nedyakin
Logistics Military Academy of Army, St. Petersburg, Russia, nedyakin82@mail.ru

Для управления дорожным движением, как правило, применяются различные светосигнальные устройства (светофоры), которые бывают стационарного и временного размещения. Светофоры временного размещения перемещаются к месту установки с помощью любых подручных средств, однако задачу перемещения к месту установки можно упростить, снабдив его свойством беспилотного летательного аппарата (БПЛА) – соединив светофор с БПЛА, который является частью его конструкции. БПЛА может перемещать светофор к месту установки как в ручном режиме управления полетом, так и в автоматическом режиме.

Из существующего уровня техники известен беспилотный летающий светофор (БЛС) (рисунок 1), с возможностью экстренного регулирования дорожного движения, основная задача которого помощь в управлении трафиком на

загруженных дорогах. Летающий регулировщик напечатан на 3D принтере. Он светит только красным и зеленым сигналами, чтобы экстренно регулировать движение. С его помощью можно моментально остановить или разрешить проезд, а заряда батареи хватает на 25 минут полета [1].

Рисунок 1 — Беспилотный летающий светофор

Недостатком известного устройства является ограниченное время работы в связи с расходом электроэнергии на постоянную работу двигателей БПЛА. Авторами разработан роботизированный комплекс управления дорожным движением (РТКУДД), конструкция которого позволяет увеличить автономность работы БЛС путем изменения его конструкции.

РТКУДД состоит из БПЛА, возможности которого позволяют управлять полетом, как в ручном, так и в автоматическом режиме. БПЛА соединен со светофором, светофор выполнен из легкого, прочного материала, имеет источник питания для работы в автономном режиме и блок удаленного управления светофорными секциями. Светофор закреплен на стойке, с возможностью регулирования ее по высоте как в автоматическом, так и ручном режиме. Для визуального наблюдения за дорожным движением на перекрестке конструкцией РТКУДД предусмотрена видеокамера кругового обзора. Энергопитание осуществляется от двух аккумуляторных батарей, аккумуляторной батареи БПЛА и аккумуляторной батареи светофора. На РТКУДД отправлена заявка на изобретение в Федеральный

институт промышленной собственности (№2024110696) которая в настоящее время проходит экспертизу, по существу.

РТКУДД предполагается применять на оживленных дорогах, где возникают пробки при поломке светофора на перекрестке либо на барьерных участках в районах чрезвычайных ситуаций в целях сохранения жизни и здоровья регулировщика. Получив команду РТКУДД, в ручном, либо в автоматическом режиме (по заданным координатам) перемещается на место установки. После установки на поверхность, БПЛА находится в спящем режиме и не расходует энергию аккумуляторной батареи. Управление светофором осуществляется с диспетчерского пункта в ручном или в автоматическом режиме. Так же РТКУДД можно применять для беспрепятственного движения колонн техники в интересах Министерства обороны, других силовых ведомств в районах чрезвычайных ситуаций [2].

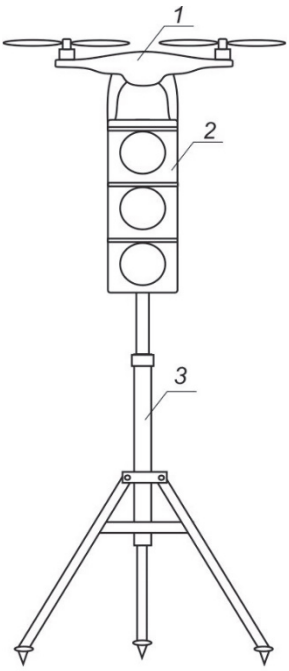


Рисунок 1 — Беспилотный летающий светофор (вариант)
(1-БПЛА, 2 -светофор, 3-стойка)

Таким образом, применение РТКУДД данной конструкции позволит дорожным службам Министерства обороны и других силовых ведомств:

– обеспечить безопасность дорожного движения и предотвратить дорожно-транспортные происшествия или аварийно опасные ситуации на дороге;

– повысить качество дорожного движения тем самым снизить вероятность заторов;

– в кротчайшие сроки доставлять сигнальные средства регулирования дорожным движением на участки дорог.

Групповое применение РТКУДД позволит создать автономную систему управления дорожным движением. на нерегулируемом перекрестке либо на барьерных участках в районах чрезвычайных ситуаций в целях сохранения жизни и здоровья регулировщика.

Литература

1. https://blog.eldorado.ru/publications/v-dubae-predstavili-bespilotnyy-letayushchiy-svetofor-na-vooruzhenie-mestnoy-politsii-40568 [Электронный ресурс].

2. Букатов Д.С., Недякин А.Ю. Использование БПЛА в управлении воинским движением на участках дорог с ограниченной пропускной способностью // Материалы V межведомственной научно-практической конференции «Актуальные вопросы материально-технического и финансово-экономического обеспечения ВС РФ» (Санкт-Петербург, 14-15 декабря 2023 г.). Спб. ВА МТО, 2023. Т.3. стр. 150-156.

Траектории поиска косяков промысловых рыб при помощи БПЛА

Ф.М. Бельченко, И.Л. Ермолов, Г.Н. Нагайцев✉, П.П. Остриков

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (ИПМех РАН), Москва, Россия, georgijnagajcev@gmail.com

Благодарности

Работа выполнена по гранту РНФ № 24-61-00025 «Разработка методов поиска скоплений промысловых рыб с помощью беспилотных летательных аппаратов»

UAVs Trajectories for Searching Fishes Schools

Philip M. Belchenko, Ivan L. Ermolov, Georgij N. Nagajcev✉, Pavel P. Ostrikov
Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS (IPMech RAS), Moscow, Russia, georgijnagajcev@gmail.com

Acknowledgements
The present work supported by RSF project № 24-61-00025 «UAV Methods for Advanced Fishering».

Развитие беспилотной авиации способствует перспективам её внедрения во всё большее количество сфер человеческой деятельности. Одной из таких сфер является рыбный промысел. В данной работе рассматриваются траектории движения БПЛА над водой при поиске косяков промысловых рыб.

Прежде всего, стоит обратить внимание на поведение рыбных косяков. Их форма и перемещение связаны, в том числе, с законами гидродинамики.

Для определения размеров рыбных скоплений и расчета потенциального улова, который отражает степень их использования в определенный период, проводится количественная оценка. Методы оценки могут отличаться в зависимости от того, находятся ли скопления на дне, у дна или в толще воды (пелагические рыбы). Однако общий подход заключается в том, чтобы очертить границы скопления. Это делается путем пересечения двумя поисковыми маршрутами в форме креста или сетью таких маршрутов.

Существует два основных типа траекторий при проведении поисковых робот с воздуха: галс и архимедова спираль, они представлены на рисунках 1 и 2.

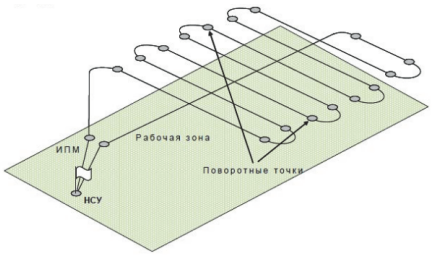


Рисунок 1 — Галс

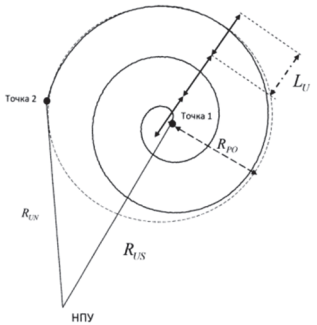


Рисунок 2 — Архимедова спираль

В результате проведения сравнительного анализа длин траекторий, были определены высоты и площади проведения поиска рыбных косяков, при которых оптимально использовать либо галс, либо архимедову спираль. В таблице 1 представлены сравнения длин траекторий на различных высотах при поиске на одной и той же площади.

Таблица 1 — Длины траекторий при различных высотах поиска

Высоты (м)	**10**	**50**	**100**	**150**	**200**	**250**
Галс	8,816*10^4	1,88*10^4	1,005*10^4	7.072*10^3	5.54*10^3	4.58*10^3
Спираль	1,273*10^5	1,907*10^4	6,21*10^3	2,41*10^3	875	235

В результате можно сделать вывод, что спиральную траекторию выгодно использовать на больших высотах поиска.

Литература

1. G. Eason, B. Noble, and I. N. Sneddon, “On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions,” Phil. Trans. Roy. Soc. London, vol. A247, pp. 529–551, April 1955.

2. J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.

3. I. S. Jacobs and C. P. Bean, «Fine particles, thin films and exchange anisotropy», in Magnetism, vol. III, G. T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271–350.

Методы визуального поиска рыбных косяков с БПЛА

Ф.М. Бельченко✉, И.Л. Ермолов, Г.Н. Нагайцев,
А.Н. Суханов, П.П. Остриков
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (ИПМех РАН), Москва, Россия, philepp@mail.ru

Благодарности
Представленная работа поддержана грантом РНФ № 24-61-00025 «Разработка методов поиска скоплений промысловых рыб с помощью беспилотных летательных аппаратов».

Visual Surveying of Fish Schools from board of UAVs

Filipp M. Belchenko✉, Ivan L. Ermolov, Georgij N. Nagajcev,
Artem N. Sukhanov, Pavel P. Ostrikov
Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS (IPMech RAS), Moscow, Russia, philepp@mail.ru

Acknowledgements
The present work supported by RSF project № 24-61-00025 «UAV Methods for Advanced Fishering».

В работе предложен подход использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для проведения рыбной разведки. Рассмотрены проблемы использования пилотируемой авиации для подобных задач. Указаны характеристики рыб, необходимые для учета в поисковых работах. Предложены алгоритмы обработки и коррекции изображений.

Одной из основных задач при проведении промышленного вылова рыб является задача поиска промысловых скоплений так же ее называют промысловой разведкой. Во время проведения подобных поисковых мероприятий часто прибегают к помощи авиации [1] и поиска промысловых скоплений рыб при помощи человека, который регистрирует наличие крупных рыбных скоплений с борта летательного аппарата. Применение беспилотной авиации позволяет быстро, в сравнении с применением морского судна, обнаружить промысловые рыбные зоны, расположенные на малой глубине, но эффективность подобного метода падает с глубиной на которой находятся рыбные скопления.

Основными паразитными эффектами, возникающими при съемке промысловых объектов (не учитывая негативные эффекты, вызванные погодными условиями) являются поглощение и рассевание водой отраженного с поверхности отдельных рыб света. При относительно большой глубине скопления рыб данные паразитные эффекты вызывают размытие границ скопления с окружающей толщей воды, а затем практически полное слияние с ней. В некоторых случаях данный эффект можно исправить методом нормализации гистограммы яркости изображения, данный метод применяется для задач подводной съемки и позволяет увеличить резкость изображения (см. рис. 1)

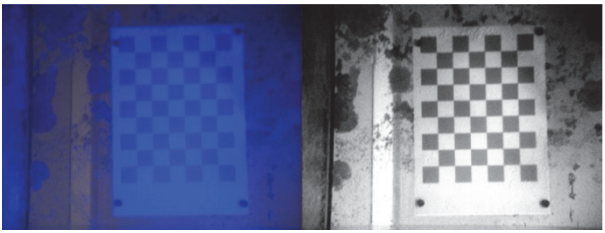


Рисунок 1 — Пример работы методы нормализации гистограммы яркости для подводного изображения

Рисунок 2 — Пример работы нейросети с архитектурой YULO

Для визуального поиска промысловых объектов в речных акваториях с помощью БПЛА используют методику поиска отдельных рыб [2, 3]. Работы в данной области используют для выделения и классификации объектов нейросетевые сверточные модели,

наибольшее распространение получила модель YULO (You Only Look Once). Преимуществом ее работы является ее применение ко всему изображению и в качестве результатов своей работы она возвращает не только класс объекта, но и общее количество объектов на изображение и их расположение с границами каждого объекта (см. рис. 2).

Следует отметить что реализование работы нейросети на борту БПЛА является затруднительным в виду существенных требований к вычислительным ресурсам. Реализация вычислений обычно проводится на базовой станции «на земле».

Поиск отдельных рыб так и их скоплений является выполнимой задачей для визуальных систем установленных на борту БПЛА, но следует сделать несколько замечаний. Бортовые вычислительные возможности для обработки визуальной информации ограничены поэтому для выполнения данной задачи нужен устойчивый канал связи не менее 5 мб/с при условии что возможно сжимать визуальную информацию бортовыми средствами БПЛА, либо при отсутствии такой возможности пропускная способность такого канала не менее 50 мб/с, только для видео сигнала при глубине цвета 256. Для случая поиска скоплений рыб по цвету и форме пятен на поверхности воды[1] необходима выработка принципов автоматизированной классификации промысловых скоплений в аналитическом виде или при применении нейросетевых (интеллектуальных систем) требуется оценка насколько хорошо подобные системы могут работать с близкими по визуальным признакам объектами.

Литература

1. Юдович Ю. Б., Промысловая разведка, издательство «Пищевая промышленность» 1974г.

2. Алексеев П. П., Квятковская И. Ю. Применение нейронных сетей в системе распознава ния промысловых гидробионтов в условиях повышенной флуктуации // Вестник Астраханского государствен ного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2022. № 2. С. 76–86. https://doi.org/10.24143/2072-9502-2022-2-76-86.

3. О.М. Запорожец, Г.В. Запорожец, Использование фото- и видеофиксации для оценки количества производителей тихоокеанских лососей на нерестилищах и путях их миграций: некоторые методические подходы, исследования водных биологических ресурсов камчатки и северо-западной части тихого океана, 2017, вып. 47, стр 77-90.

Многоцелевой малый квадрокоптер «Снежинка Б»

Ю.М. Виноградов✉, А.М. Алсуфьев
Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический Университет (СПбГМТУ), Санкт-Петербург, Россия, yuravinogradof@yandex.ru

Благодарности
Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации программы «Приоритет 2030».

Multipurpose small quadrocopter «Snezhinka B»

Yuri M. Vinogradov✉, Alexander M. Alsufev
St. Petersburg State Marine Technical University (SPbSMTU), St. Petersburg, Russia, yuravinogradof@yandex.ru

Acknowledgements
Ministry of Education and Science of Russia within the framework of the strategic academic leadership program «Priority-2030».

В современных условиях стремительного развития технологий и роста значимости беспилотных авиационных систем на передний план выходит необходимость разработки универсальных платформ, способных эффективно выполнять широкий спектр задач как в гражданской, так и в военной сфере. Одним из таких решений является комплекс «Снежинка-Б» (рис. 1), разработанный Институтом робототехники и интеллектуальных систем с учётом требований к многофункциональности и модульности.

Комплекс «Снежинка-Б» представляет собой многоцелевую беспилотную авиационную систему, разработанную для выполнения боевых операций. Основные преимущества данной платформы заключаются в её модульной архитектуре, позволяющей легко адаптировать аппарат под различные условия эксплуатации и задачи.

Квадрокоптер может быть оснащён мощными двигателями, что существенно увеличивает его тяговооружённость и манёвренность. На платформе предусмотрены посадочные места для установки оборудования, включая камеры, полетные контроллеры, платы распределения питания и управления моторами. В базовой комплектации предполагаемый взлётный вес составляет около 7 кг, что обеспечивает возможность установки аккумуляторных батарей повышенной

ёмкости или их спаренных вариантов для увеличения продолжительности полёта.

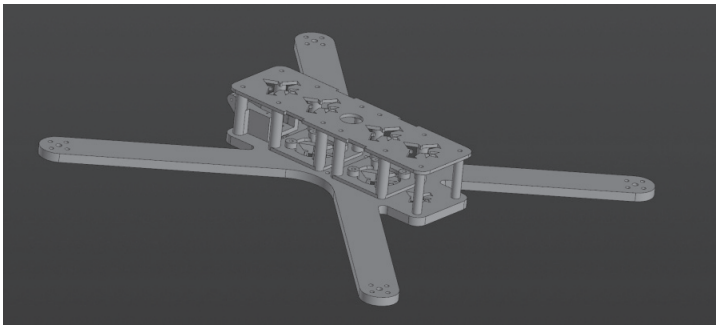


Рисунок 1 — Чертеж многоцелевого малого квадрокоптера «Снежинка-Б»

Конструктивные особенности «Снежинки-Б» включают возможность интеграции дополнительных устройств, таких как схваты для транспортировки и сброса грузов с высоты, усилители видеосигнала, поворотные камеры для обеспечения широкого угла обзора и регулировки горизонтального положения в полёте. Также возможна установка индивидуальных регуляторов для каждого двигателя, что повышает точность управления и устойчивость в полёте.

Программа бортового полётного контроллера дрона построена на базе алгоритмов адаптивного управления [1], а также использует собственную систему идентификации [2] объекта управления, передачи данных [3] на внешний компьютер для визуализации.

Данный аппарат подходит как для выполнения гражданских задач, так и для выполнения боевых операций, требующих высокой точности и оперативности. Комплекс рекомендован к использованию операторами с опытом управления БПЛА, особенно с системами FPV, что позволяет максимально эффективно использовать все функциональные возможности аппарата. «Снежинка-Б» будет идеальным выбором для организаций и подразделений, заинтересованных в оснащении своих специалистов передовыми беспилотными системами, которые смогут стать частью миссий в условиях боевых действий.

Литература

1. Nonsingular Integral-Type Dynamic Finite-Time Synchronization for Hyper-Chaotic Systems / K. A. Alattas, J. Mostafaee, S. Mobayen [et

al.] // Mathematics. – 2022. – Vol. 10, No. 1. – DOI 10.3390/math10010115. – EDN ZDBGGV.

2. Karpov, A. D. Designing the platform for monitoring and visualization orientation in Euler angles / A. D. Karpov, A. A. Zhilenkov // Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, ElConRus 2017, St. Petersburg, 01–03 февраля 2017 года. – St. Petersburg, 2017. – P. 301-305. – DOI 10.1109/EIConRus.2017.7910551. – EDN XMZGNY.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024662038 Российская Федерация. Графическое приложение для коммуникации с дроном/программой-симулятором на базе клиент-серверного взаимодействия: № 2024661095: заявл. 17.05.2024: опубл. 23.05.2024 / А. А. Жиленков, М. С. Минин; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет». – EDN ULRJFY.

Сенсоры технического зрения для малоразмерных БПЛА

С.Р. Кнышев
Общество с ограниченной ответственностью «Лазерные компоненты» (ООО «Лазерные компоненты»), Москва, Россия, s.knyshev@lasercomponents.ru

Technical vision sensors for small-sized UAVs

Sergey R. Knyshev
Limited Liability Company «Laser components» (LLC «Laser components»), Moscow, Russia, s.knyshev@lasercomponents.ru

Современный уровень развития беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) подразумевает практически повсеместное использование на них средств технического зрения, т.е. камер, предназначенных для визуализации окружающей обстановки и работающих в различных спектральных диапазонах в зависимости от выполняемого БПЛА круга задач. Цели применения этих камер могут быть следующие [1]:

1. Наблюдение и запись, а также дистанционная передача визуальной информации с функцией распознавания и сопровождения определённых объектов, включая целеуказание.

2. Оптическая навигация, т.е. определение местоположения носителя в данный момент времени относительно визуально фиксируемых объектов, координаты которых заранее известны. Методология оптической навигации может включать в себя как астронавигацию (ориентирование по звёздам), так и визуальную одометрию по опорным точкам подстилающей поверхности.

3. Картографическая съёмка, когда камера используется совместно с прибором дистанционного лазерного сканирования (LiDAR – Light Detection and Ranging) для создания рельефной карты определённой местности (см. рис. 1).

Рисунок 1 — Электронно-оптическая система для БПЛА, включающая в себя систему лазерного сканирования (LiDAR) и камеру видимого диапазона

Сенсоры, на основе которых создаются средства технического зрения для БПЛА, можно классифицировать исходя из их спектральных характеристик, которые в свою очередь определяют основные особенности их применения (см. табл.1).

Таблица 1 — Основные современные типы сенсоров, используемые в системах технического зрения БПЛА

Тип сенсора	Спектральный диапазон, мкм	Возможности визуализации
BSI CMOS (КМОП матрица с обратной подсветкой пикселей)	0,4 – 1,1	Работа в условиях низкой освещённости (до 0,0001лк)

Тип сенсора	**Спектральный диапазон, мкм**	**Возможности визуализации**
sCMOS (КМОП матрица научного класса)	0,2 – 1,1	Фиксация коронных разрядов, УФ пеленгация
Сенсоры коротковолнового ИК диапазона (SWIR)	0,9 – 1,7	Способность видения сквозь дым, туман, пелену осадков, через затемнённое стекло, а также в ночное время
Двухдиапазонные сенсоры (VIS-SWIR)	0,4 – 1,7	Комплексирование изображений видимого и ближнего ИК диапазонов
Длинноволновые ИК сенсоры (LWIR)	8 – 14	Работа в условиях полной темноты на различных дистанциях
Средневолновые ИК сенсоры (MWIR)	3 – 5	Способность обнаружения низкоконтрастных тепловых объектов на дальних дистанциях при полном отсутствии освещения

В контексте всего вышеизложенного следует также определиться с рассматриваемым типом носителя средств технического зрения на базе данных сенсоров. Под малоразмерными БПЛА в данном случае понимаются лёгкие БПЛА со взлётной массой в пределах 30кг и дальностью действия не более 10км [2]. Такие БПЛА как правило обладают высокой динамикой полёта и манёвренностью, но имеют серьёзные ограничения по полезной нагрузке. Всё это оказывает влияние и на выбор сенсоров технического зрения, которые в идеале должны соответствовать следующим минимальным требованиям [3]:

– расширенный спектральный диапазон (чаще всего это видимый спектр + ближний ИК или ближний УФ);
– высокое разрешение (не менее чем 1920 × 1080 пикселей);

– глобальный затвор;
– высокий динамический диапазон (не менее чем 65дБ);
– поддержка высокоскоростной съёмки в режиме окна с частотой более 25Гц.

Благодаря наличию КМОП матриц, обладающих такими параметрами, удалось создать специализированные видеомодули, предназначенные для установки на лёгкие БПЛА в качестве средств технического зрения (см. рис.2), которые имеют малую массу и компактный размер, но в тоже время способны работать в условиях низкой освещённости с многократным оптическим увеличением без использования сложной и тяжеловесной оптической системы.

Рисунок 2 — Специализированный видеомодуль для БПЛА

В настоящее время как у нас, так и за рубежом продолжаются работы по усовершенствованию сенсоров систем технического зрения, включая применение новых фоточувствительных материалов, например, таких как «чёрный кремний» (SiOnyx), и новых технологий изготовления фото-приёмных устройств, например, таких как синтез полупроводниковых соединений на основе коллоидных квантовых точек [4].

Литература

1. Бельский А.Б. Системы технического зрения военных и специальных вертолётов. Задачи и направления развития. – М.: Авиакосмическая техника и технология, 2017.-№1,2.-с.17-22.

2. Иванов М. С., Аганесов А. В., Крылов А. А. Беспилотные летательные аппараты. Справочное пособие. 2015. – 615 с.

3. VISIONITE Inc. Full-HD 33x Zoom Camera Series VTC-Z7833H. Approval sheet. 2018. – 49 p.

4. Пономаренко В.П., Попов В.С., Бурлаков И.Д., Старцев В.В., Попов С.В. Квантовая фотосенсорика и материалы ограниченной

размерности / Материалы XXVII Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения. -М.: АО «НПО «Орион», 2024г. – 486 с. DOI: 10.51368/978-5-94836-696-8-2024-27.

Коррекция показаний магнитометра беспилотного летательного аппарата методом динамического расширения регрессора и смешивания

Н.В. Михальков✉, А.А. Пыркин
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» (Университет ИТМО), Санкт-Петербург, Россия, nvmikhalkov@itmo.ru

Fixing current-induced magnetometer errors on an unmanned aerial vehicle using dynamic regressor extension and mixing

Nikita V. Mikhalkov✉, Anton A. Pyrkin
ITMO University (ITMO, St. Petersburg, Russia, nvmikhalkov@itmo.ru

Измерение угла курса является необходимой составляющей для реализации алгоритмов автономной навигации и управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА). Магнитометр является удобным средством для такого измерения, однако его показания могут искажаться нежелательными источниками магнетизма, как статическими, так и динамическими, например, силовыми электропроводами БПЛА. Искажения, связанные с близко расположёнными протекающими токами, представляют собой наибольшую сложность для восстановления истинного сигнала по причине их нестационарности. Ввиду необходимости обеспечения плотности компоновки и минимизации массы БПЛА обеспечить удаленность расположения проводов от магнитометра не всегда возможно. Поэтому в рамках данной работы предлагается использовать алгоритм адаптивного оценивания на базе метода динамического расширения регрессора и смешивания [1] для оценки влияния индуцированных полей электромоторов.

Для построения регрессионной задачи описывается модель измерения магнитометра, в предположении, что его показания предварительно очищены от линейных и стационарных ошибок. Используя закон Био-Савара-Лапласа, упрощенную модель электродвигателя, совмещенного с контроллером скорости, и упрощенную модель тяги винта, для условия динамического равновесия, когда момент электродвигателя равен моменту винта, можно установить, что паразитная магнитная индукция $\vec{B}_i$, создаваемая полем силовых проводов отдельного электромотора, представима в виде:

$$\vec{B}_i = {\delta_i}^2 \vec{\theta}_i, \quad (1)$$

где $\vec{\theta}_i \in R^3$ – вектор неизвестных параметров, δ_i, $0 < \delta_i < 1$ – относительная скорость вращения, в рамках модели соответствующая относительной управляющей команде на контроллер скорости [1].

Считая, что вектор индукции магнитного поля Земли $\vec{u}_\text{e}$ постоянен в достаточно широкой области в несколько десятков кв. километров, модель измерения магнитометра для -роторной БПЛА может быть представлена как:

$$\vec{u}_\text{e} = R\left(\vec{v} - \textstyle\sum_i {\delta_i}^2 \vec{\theta}_i\right), \quad (2)$$

где $\vec{v}$ – это показания магнитометра, R – матрица поворота от глобальной системы координат к системе координат, связанной с телом.

Продифференцировав (2), получим выражение:

$$0 = \dot{R}\left(\vec{v} - \textstyle\sum_i {\delta_i}^2 \vec{\theta}_i\right) + R\left(\dot{v} - \textstyle\sum_i \delta_i \dot{\delta}_i \vec{\theta}_i\right). \quad (3)$$

Используя уравнение, связывающее угловые скорости вращения $\omega_\times$ и производную матрицы поворота, упростим уравнение (3):

$$0 = \omega_\times \left(\vec{v} - \sum_i {\delta_i}^2 \vec{\theta}_i\right) + \left(\dot{v} - \sum_i \delta_i \dot{\delta}_i \vec{\theta}_i\right)$$

и применим к нему лемму о замене, используя линейный ограниченный оператор $H[.] = \frac{\lambda}{s+\lambda}$, где $\lambda \in R^+$, для того, чтобы избавиться от неизмеримой величины $\dot{v}$:

$$\frac{\lambda}{s+\lambda}(\omega_\times \vec{v}) + \frac{\lambda s}{s+\lambda}\vec{v} = \sum_i \frac{\lambda}{s+\lambda}\left(\delta_i{}^2 + \delta_i\dot{\delta}_i\right)\vec{\theta}_i. \quad (4)$$

Получившееся уравнение (4) можно преобразовать в линейное регрессионное уравнение вида:

$$y = \Theta\varphi, \quad (5)$$

где $y \in R^{1\times 3}$ – регрессанд, $\Theta \equiv \left[\vec{\theta}_1, \dots, \vec{\theta}_n\right]^T \in R^{n\times 3}$ – матрица неизвестных параметров, $\varphi \in R^{n\times 1}$ – регрессор. Одним из современных подходов к решению задач оценивания такого типа является метод динамического расширения регрессора и смешивания, позволяющий декомпозировать уравнения линейной регрессии к скалярным регрессионным уравнениям, при этом ослабляет требование постоянного возбуждения регрессора до требования конечного возбуждения регрессора.

Метод состоит из следующих последовательных шагов:

1. Построение расширенного регрессора $\Phi(t) \equiv \Phi \in R^{n\times n}$ с помощью поочередного применения к регрессионному уравнению (5) линейных устойчивых операторов либо используя альтернативные схемы расширения;

2. Приведение получившегося уравнения к набору скалярных регрессионных уравнений путем умножения обеих частей уравнения на союзную матрицу расширенного регрессора $adj(\Phi)$ и используя ее свойство:

3.

$$adj(\Phi)\Phi = |\Phi| I_n.$$

Использование предложенного подхода позволяет обеспечить вычисление истинного значения курса, минимизируя усилия по настройке алгоритма оценивания.

Литература

1. Aranovskiy S., Bobtsov A., Ortega R., Pyrkin A. Parameters estimation via dynamic regressor extension and mixing // In: Proceedings of the 2016 American Control Conference (ACC). — IEEE, 2016. — P. 6971-6976. — DOI: 10.1109/ACC.2016.7526771.

2. Silic M., Mohseni K. Correcting Current-Induced Magnetometer Errors on UAVs: An Online Model-Based Approach // IEEE Sensors Journal. — 2020. — V. 20, № 2. — P. 1067-1076. — DOI: 10.1109/JSEN.2019.2945201.

Разработка микроэлектронного сенсора давления на основе терморезистивных структур для систем измерения высоты

Н.А. Дюжев, Г.И. Орешкин, М.Ю. Чиненков✉,
В.В. Парамонов
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московские институт электронной техники» (МИЭТ), Москва, г. Зеленоград, Россия, chinenkov@inbox.ru

Благодарности
Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (ГК № 075-15-2021-1350 от 05.10.2021, вн. номер 15.SIN.21.0004) с использованием оборудования ЦКП «МСТ и ЭКБ» МИЭТ.

Development of a microelectronic pressure sensor based on thermoresistive structures for altimeter systems

Nikolay A. Djuzhev, Gennadiy I. Oreshkin,
Maksim Yu. Chinenkov✉, Vladislav V. Paramonov
National Research University of Electronic Technology (MIET), Moscow, Zelenograd, Russia, chinenkov@inbox.ru

Acknowledgements
The work was supported by the Minobrnauki RF (GK № 075-15-2021-1350 from 05.10.2021, unique identifier 15.SIN.21.0004) and conducted using the equipment of Multi-access center «Microsystem technics and electronic component base» MIET.

Беспилотные летательные системы широко используются как в промышленных, так и в гражданских целях. Их использование становится возможным благодаря высококачественным датчикам, которые предоставляют системе точные данные для успешных полётов на большие расстояния. Инерциальные датчики, датчики изображения, датчики скорости и расстояния, датчики положения, датчики давления и другие поддерживаемые датчики для точных оценок являются основными датчиками системы. В частности, одним из ключевых датчиков являются датчики давления. Основные типы применяемых сенсоров давления: сенсор абсолютного давления, сенсор

дифференциальный, сенсор барометрический [1]. Применение технологии МЭМС позволяет создавать миниатюрные сенсоры для анализа давления газа [2]. Основными производителями на мировом рынке МЭМС датчиков давления являются: Bosch, Denso, Sensata, GE Sensing, Freescale, Measurement Specialties, Infineon [3].

МЭМС-сенсоры давления относятся к приборам на мембранно-тепловом принципе действия. В МЭМС-сенсоре давления детектирование перераспределения теплового потока производится термопарами. Полость сенсора заполняется инертным газом с минимальной теплопроводностью (азот, аргон, ксенон и др.). Гибкая мембрана сенсора, чувствительная к изменению внешнего давления, изготавливается из диэлектрических или проводящих материалов в зависимости от необходимой механической прочности и диапазона измерений. Для обеспечения высокой чувствительности датчика к изменению внешнего давления в качестве материала нагревателя и термопар в полости датчика применяется сильнолегированный поликремний.

В данной работе предложена оригинальная конструкция МЭМС термодатчика для высокоточного измерения давления. Принцип его действия заключается в регистрации изменения температуры термопар вблизи нагревателя в полости с газом, которое возникает при микромеханической деформации, расположенной над полостью диэлектрической мембраны. Такой подход позволяет улавливать малые перепады давления, что позволяет реализовать функцию высокоточного высотомера в сенсорных системах летательных аппаратов, а за счет подбора толщины мембраны можно настроить прибор на необходимый диапазон регистрируемых давлений. В качестве способа герметизации МЭМС-сенсоров используется технология 3D-интеграции (бондинга), при котором кристалл чувствительного элемента соединяется с кристаллом схемы управления через специальный промежуточный кристалл-интерпозер. Проведен анализ чувствительности сенсора для различных газов в диапазоне давлений от 0.01 до 120 кПа. Показано, что максимальная чувствительность достигается для газа ксенон. Результаты исследований показали возможность создания датчиков на их основе.

Литература

1. J. Fraden. Handbook of modern sensors // Springer. – 2016. – P. 765.
2. Song P. et al. Recent Progress of Miniature MEMS Pressure Sensors // Micromachines. – 2020. – № 11. – Vol. 56. – P. 1-38.
3. Status of the MEMS Industry 2016 // Yole Development. – 2016.

Разработка сенсоров на основе магниторезистивных тонкопленочных структур для систем ориентирования в пространстве

Н.А. Дюжев, Г.И. Орешкин, М.Ю. Чиненков✉,
В.В. Парамонов
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московские институт электронной техники» (МИЭТ), Москва, г. Зеленоград, Россия, chinenkov@inbox.ru

Благодарности
Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (ГК № 075-15-2021-1350 от 05.10.2021, вн. номер 15.SIN.21.0004) с использованием оборудования ЦКП «МСТ и ЭКБ» МИЭТ.

Development of microelectronic sensors based on magnetoresistive thin-film structures for spatial orientation systems

Nikolay A. Djuzhev, Gennadiy I. Oreshkin,
Maksim Yu. Chinenkov✉, Vladislav V. Paramonov
National Research University of Electronic Technology (MIET), Moscow, Zelenograd, Russia, chinenkov@inbox.ru

Acknowledgements
The work was supported by the Minobrnauki RF (GK № 075-15-2021-1350 from 05.10.2021, unique identifier 15.SIN.21.0004) and conducted using the equipment of Multi-access center «Microsystem technics and electronic component base» MIET.

Магниторезистивные сенсоры, принцип действия которых основан на изменении сопротивления в тонких ферромагнитных пленках под действием магнитного поля, обладают рядом достоинств среди большого числа сенсоров-магнитометров, а именно: высокая чувствительность к магнитному полю; малые габариты; малое энергопотребление; нечувствительность к механическим воздействиям; возможность работы в широком диапазоне температур [1]. На мировом рынке сенсорики задачи создания магниторезистивных сенсоров решаются такими фирмами, как Philips, Honeywell, Bosh и др [2].

Отечественные производители на рынке отсутствуют, что ставит нашу промышленность в зависимость от зарубежных поставок. Основным компонентом магнитных сенсоров является ферромагнитная тонкая пленка (FeNi, FeNiCo, CoFeB) толщиной 40-50 нм, которая формируется методом магнетронного осаждения на кремниевых подложках. Магниторезистивные сенсоры, как и другие изделия микроэлектроники, состоят не только из ферромагнитных слоев. Для успешного функционирования необходимо использовать контактные, пассивирующие, адгезионные слои. Резистивные тонкопленочные элементы имеют вид тонких полос ферромагнитного материала с нанесенными на них наклонными шунтирующими полосками из немагнитного низкоомного проводника (алюминий). Наклонные полоски служат для линеаризации выходной характеристики сенсора [3]. Для эффективной работы сенсора на основе анизотропного магнитосопротивления необходимо создать поле подмагничивания для однонаправленной ориентации вектора намагниченности во всех магниторезистивных полосках. При работе в недостаточном или отсутствующем поле подмагничивания характеристики сенсора не могут быть гарантированы, так как происходит уменьшение чувствительности и резкое возрастание гистерезиса.

Управляя топологией, можно получить сенсор с четной или нечетной характеристикой: сенсор магнитного поля или сенсор угла поворота. Для обеспечения высокого уровня выходных характеристик сенсоров магнитного поля необходимо улучшить магнитные свойства магниторезистивного материала, в частности, максимально увеличить магниторезистивный эффект, определяющий амплитуду выходного сигнала и, при этом, не допустить сильного роста коэрцитивной силы и поля анизотропии для достижения минимального гистерезиса [4].

В рамках работы на основании полученных магнитных пленок был разработан сенсор магнитного поля, чувствительность которого составила более 9 (мВ/В)/(кА/м). Исследованы макеты микроэлектронных сенсоров с четной и нечетной характеристикой: сенсор магнитного поля и сенсор угла поворота.

Литература

1. Tumanski S. Thin Film Magnetoresistive Sensors // IOP Publishing Ltd. 2001. P. 451.

2. Status of the MEMS Industry 2016 // Yole Development. – 2016.

3. Dibbern U. Magnetoresistive sensors, in Sensors. // VCH: New York. 1989. P. 341.

4. Дюжев Н.А., Юров А.С., Преображенский Р.Ю., Мазуркин Н.С., Чиненков М.Ю. Самосовмещенные магниторезистивные структуры: новый подход к увеличению чувствительности // Письма в ЖТФ. Т. 42. Вып. 10. С. 99-105. 2016.

Разработка архитектуры и определение оптимальных сценариев работы гибридных накопителей энергии для электрических беспилотных авиационных систем с применением цифровых моделей

М.К. Кубасов✉, Д.К. Гребцов
Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) (МФТИ), Москва, Россия, kubasov.mk@mipt.ru

Architecture and optimal mission scenarios for hybrid energy storage for electric unmanned aircraft systems using digital models

Mikhail K. Kubasov✉, Dmitriy K. Grebtsov
Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT), Moscow, Russia, kubasov.mk@mipt.ru

На текущий момент одной из наиболее актуальных задач является увеличение длительности полёта электрических БАС, однако простое увеличение ёмкости аккумуляторной батареи не обеспечивает необходимого эффекта, так как увеличенная батарея добавляет и стартовый вес. Разработчики и ученые постоянно работают над увеличением удельных характеристик современных аккумуляторов, но, к сожалению, в силу фундаментальных причин повышение удельной энергии, как правило, всегда приводит к снижению удельной мощности. При этом для взлёта и поддержания полёта требуется большая мощность, поэтому крайне актуален поиск решений, позволяющих наращивать энерговооруженность, не жертвуя малой массой и достаточной емкостью.

Одним из способов увеличения длительности полёта может являться гибридное исполнение энергетической установки БАС. Су-

ществует несколько вариантов таких установок, но наиболее перспективными и развивающимися на данный момент являются следующие [1-2]:

- ДВС и аккумуляторная батарея,
- водородный топливный элемент и аккумуляторная батарея,
- фотовольтаические элементы и аккумуляторная батарея,
- суперконденсаторы и аккумуляторная батарея.

В гибридной установке один из элементов условно обеспечивает выдачу высокой мощности в нужные моменты, а другой – играет роль «ёмкого» компонента, который питает двигатели в крейсерском режиме на протяжении основной части полёта. Такая схема может позволить не только повышать дальность полета, но и положительно влиять на другие характеристики, например, время отклика системы на сигналы управления [3].

В гибридных энергетических установках два или более источника энергии объединяются в различные конфигурации для повышения производительности всей системы. Наиболее часто используются последовательные, параллельные и последовательно-параллельные (рис. 1) архитектуры гибридных энергетических систем [2].

Рисунок 1 — Схема последовательно-параллельной архитектуры гибридного накопителя энергии БАС

Исследование оптимальных сценариев работы гибридных накопителей энергии основывается на цифровом моделировании подсистем БАС и решении многопараметрической задачи.

В работе рассмотрены различные стратегии эффективного расходования энергии и оптимизации энергопотребления включая стратегии управления с помощью нечеткой логики, нейронных сетей и предиктивных моделей.

Разработанная цифровая модель БАС с гибридной энергетической установкой позволяет определить энергетические и тактико-

технические характеристики целевого БАС при различных конфигурациях и архитектурах гибридного накопителя энергии.

Литература

1. Xiao C. et al. Comprehensive investigation on Lithium batteries for electric and hybrid-electric unmanned aerial vehicle applications //Thermal Science and Engineering Progress. – 2023. – Т. 38. – С. 101677. https://www.researchgate.net/publication/367285295_Comprehensive_Investigation_on_Lithium_Batteries_for_Electric_and_Hybrid-Electric_Unmanned_Aerial_Vehicle_Applications

2. Ye X. I. E. et al. Review of hybrid electric powered aircraft, its conceptual design and energy management methodologies //Chinese Journal of Aeronautics. – 2021. – Т. 34. – №. 4. – С. 432-450. https://www.researchgate.net/publication/343647891_Review_of_hybrid_electric_powered_aircraft_its_conceptual_design_and_energy_management_methodologies

3. Li S. et al. A novel hybrid propulsion system configuration and power distribution strategy for light electric aircraft //Energy Conversion and Management. – 2021. – Т. 238. – С. 114171. https://www.researchgate.net/publication/355410399_A_novel_hybrid_propulsion_system_configuration_and_power_distribution_strategy_for_light_electric_aircraft

Математическая модель взмахового движителя

Н.А. Исмаилов✉, В. Халид

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ), г. Долгопрудный, Московская область, Россия, math.ismailov@gmail.com

Mathematical model of a flapping propulsion

Nazar A. Ismailov✉, Waleed Khalid

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University)» (MIPT), Dolgoprudny , Moscow Region, Russia, math.ismailov@gmail.com

В данной работе рассматривается математическая модель взмахового движителя, которая представляет из себя систему дифференциальных уравнений, учитывающую основные параметры движителя, такие как массу, размер крыльев, частоту и амплитуду взмахов, а также угол атаки. Ввиду проблем с применением теоремы Жуковского к описанию машущего полета, модель основана на Ньютоновской механике. В основу взят второй закон Ньютона, примененный, непосредственно к движителю (1). Здесь за $\overrightarrow{F_c}$ обозначена сила сопротивления воздуха. Она квадратично зависит от скорости налетающего потока υ_a, проекции площади крыла S и плотности воздуха ρ (2). Выразив скорость налетающего потока через скорость птицы и скорость взмаха крыла и проинтегрировав полученное выражение, мы получим (3). Добавив зависимость от таких параметров, как угол атаки крыла и расписав проекции на оси, получим итоговую систему дифференциальных уравнений (4). Здесь f_{flap} – частота взмахов крыльями, ω_{flap} – круговая частота, R – длина крыла, S_{wing} – площадь крыла, δ – угловая амплитуда взмаха. Для решения данной системы использовались численные методы, такие как метод BDF (Backward Differentiation Formula).

В качестве проверки данной системы были вычислены параметры скорости для белого аиста (Ciconia ciconia) (см. рис. 1, 2). Получено количественное соответствие результатов моделирования с литературными данными [1].

Разработанная модель динамики полета позволяет анализировать динамику полета и оптимизировать параметры движителя для достижения наилучших характеристик.

$$m\vec{g} + \overrightarrow{F_c} = m\dot{\vec{\upsilon}} \tag{1}$$

$$F_c(t) \sim \rho S v_{air}^2(t) \tag{2}$$

$$F_c = C\rho S(t) v^2(t) + C\rho \frac{S(t)R^2}{3} \omega_{flap}^2(t) + \\ +2C\rho \frac{S(t)R}{2} \upsilon_y(t)\omega_{flap}(t) \tag{3}$$

$$\begin{cases} \begin{cases} -mg + F_c \cdot \sin\gamma = m\dot{v}_y \\ F_c \cdot \text{??}\gamma = m\dot{v}_z \end{cases} \\ F_c = C\rho S v^2 + C\rho \frac{SR^2}{3}\omega_{flap}^2 + 2C\rho \frac{SR}{2} v_y \omega_{flap} \\ \gamma = 2\alpha - \frac{1}{2} arctg \frac{v_y + \omega_{flap} \cdot R}{v_z} \\ S = S_{wing} \cdot \alpha \\ \alpha = -\frac{\delta}{2} + (f_{flap} \cdot t - [f_{flap} \cdot t]) \cdot \delta \end{cases} \quad (4)$$

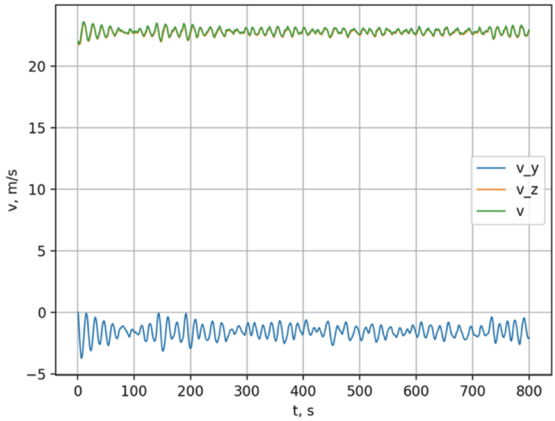


Рисунок 1 — Вычисленные проекции скорости белого аиста

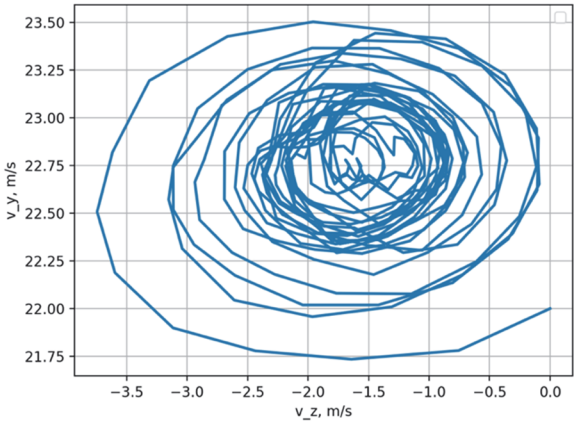


Рисунок 2 — Фазовый портрет проекций скоростей в процессе полета

Литература

1. Berthold, P. (1993). "Bird Migration: A General Survey." Oxford University Press.

Кинематика полёта птиц, разработка и оптимизация робототехнических систем

Е.А. Гладышева[1]✉, И.А. Кастальский[1,2], В.Б. Казанцев[1,2,3]

[1]Московский физико-технический институт (МФТИ, Физтех), Долгопрудный, Московская область, Россия, gladysheva.ea@phystech.edu

[2]Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского (ННГУ), Нижний Новгород, Россия

[3]Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия

Благодарности

Исследование выполнено в МФТИ в рамках программы «Приоритет 2030».

Kinematics of bird flight, designing and optimization of robotic systems

Ekaterina A. Gladysheva[1,✉], Innokentiy A. Kastalskiy[1,2], Viktor B. Kazantsev[1,2,3]

[1]Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT), Dolgoprudny, Moscow Region, Russia; gladysheva.ea@phystech.edu

[2]Lobachevsky University (UNN), Nizhny Novgorod, Russia

[3]Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), St. Petersburg, Russia

Acknowledgements

This research was funded by MIPT «Priority 2030» Program.

В последнее десятилетие в робототехнике набирает популярность задача создания, так называемых, биоморфных автономных роботов, имитирующих движение биологических существ. Отдель-

ный интерес представляет реализация принципов полета, репрезентативным примером которого являются движения птиц. В отличие, например, от насекомых они являются достаточно крупными для их пристального изучения и последующего макетирования.

Более того, биоморфный полет птицы предлагает более тихую, скрытную альтернативу традиционным летательным аппаратам – самолетам и винтокрылым аппаратам с шумными двигателями. Использование махающего крыла обещает более высокую энергоэффективность, включая планирование с использованием конвективных потоков. При этом разработка эффективных биоморфных робототехнических систем остается сложной задачей, которую планируется решить путем изучения многообразия кинематических схем в различных условиях внешней среды, а также возможностей нейромышечного управления для реализации полностью автономного биоморфного аппарата – робота-птицы.

В приведенном исследовании рассматривается кинематика полёта птиц и её применение в дизайне и разработке робототехнических систем, имитирующих полёт с помощью взмахов крыльев. Были изучены ключевые принципы машущего полёта, такие как: пропеллерообразный профиль крыла, хордообразный изгиб крыла в поперечном сечении, увеличение площади крыльев при полёте и уплотнение воздушной опоры под крылом птицы при махе вверх [1-3]. Также было отмечено использование птицами различных стилей полёта на разных скоростях.

Были рассмотрены существующие орнитоптеры, где в более простых моделях отсутствует морфинг (изменение формы) крыльев – они имеют плоскую форму, а в более сложных моделях полёт выглядит неестественно из-за упущения нескольких принципов. Так, например, на сегодняшний день не существует роботов с хордообразным изгибом крыла и крыльями, состоящими из отдельных перьев, что ограничивает их способность эффективно изменять площадь крыла во время взмахов.

Основной из ключевых задач при проектировании биоморфного летательного аппарата, имитирующего полёт птицы, является выбор максимально лёгких материалов, достаточных для подъема робота в воздух, но в то же время прочных для обеспечения необходимой жесткости конструкции. Фасонные стержни из углеродного волокна представляют собой перспективный материал для этих целей.

При рассмотрении движений птиц можно заметить, что большинство движущихся частей являются гибкими, а не жёсткими, что делает невозможным повторение этих движений с использованием

традиционных механизмов. Для имитации движения птиц подходят гибкие механизмы [4], обладающие преимуществом простоты масштабирования, что важно при проектировании роботов-птиц, так как форма крыльев и стиль полёта меняются в зависимости от размера птицы, и изменение масштаба требует существенных модификаций конструкции.

Литература

1. Rader J.A., Hedrick T.L. Morphological evolution of bird wings follows a mechanical sensitivity gradient determined by the aerodynamics of flapping flight // Nature Communications. – 2023. – V. 14. – №. 1. – P. 7494. – DOI: 10.1038/s41467-023-43108-2

2. Li Q., Shen H., Han Q., Ji A., Dai Z., Gorb S.N. Effects of morphological integrity of secondary feather on their drag reduction in pigeons // Journal of Bionic Engineering. – 2022. – V. 19. – №. 5. – P. 1422-1438. – DOI: 10.1007/s42235-022-00203-2

3. Tobalske B.W., Dial K.P. Flight kinematics of black-billed magpies and pigeons over a wide range of speeds // Journal of Experimental Biology. – 1996. – V. 199. – №. 2. – P. 263-280. – DOI: 10.1242/jeb.199.2.263

4. Howell L.L., Magleby S.P., Olsen B.M., Wiley J. (Eds.). Handbook of compliant mechanisms. – New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2013. – DOI: 10.1002/9781118516485. – ISBN 9781119953456.

Метод динамических сеток и параметрическое исследование кинематики крыльев комара

Валил Халид[1]✉, Е.А. Гладышева[1], В.Б. Казанцев[1,2,3]

[1]Московский физико-технический институт (МФТИ, Физтех), Долгопрудный, Московская область, Россия, khalid@phystech.edu

[2]Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского (ННГУ), Нижний Новгород, Россия

[3]Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия

Благодарности

Исследование выполнено в МФТИ в рамках программы «Приоритет 2030».

The Method of Dynamic Grids and Parametric research for Mosquito's Wing Kinematic

Waleed Khalid[1]✉, Ekaterina A. Gladysheva[1],
Viktor B. Kazantsev[1,2,3]
[1]*Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT), Dolgoprudny, Moscow Region, Russia, khalid@phystech.edu*
[2]*Lobachevsky University (UNN), Nizhny Novgorod, Russia*
[3]*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), St. Petersburg, Russia*

Acknowledgements
This research was funded by MIPT «Priority 2030» Program.

Основная цель данного исследования заключается в проведении динамического численного моделирования крыла комара (москита) для определения оптимальной модели сил лобового сопротивления и подъёмной силы, основанной исключительно на маховых движениях и скручивании крыла.

В исследовании рассматривается трёхмерное, несжимаемое, ламинарное, нестационарное уравнение Навье-Стокса. Для взмаха крыла комара используется функция UDF, написанная на языке C. В выбранной модели линейное движение крыла принимается равным нулю, в то время как угловое движение определяется следующим образом:

$$\theta = \theta_{flapping} \text{s}(\omega t)$$
$$\theta = \theta_{twisting} \sin(\omega t)$$
$$\omega = 2\pi f,$$

где ω — угловая скорость, f — частота, , θ_0 — максимальное значение угла взмаха крыла и t — общее время моделирования. Функция CG_MOTION, реализованная в программном обеспечении Ansys, используется для определения взмахивающего движения модели комара. Здесь U — максимальная скорость в расчетной сетке, Δt — шаг по времени, Δh — размер ячейки расчетной сетки.

В этом исследовании Ansys Design Modeler и Ansys Meshing используются для численного моделирования и создания сетки, в то время как Ansys Fluent используется для создания симуляции. Модель крыла москита взята из работы [1] и имеет длину 4 мм, среднюю ши-

рину 0,8 мм и толщину 0,001 мм (см. рис. 1). Для изучения динамического движения крыла используется прямоугольная вычислительная область (см. рис. 2).

Рисунок 1 — Увеличенный вид модели крыла комара

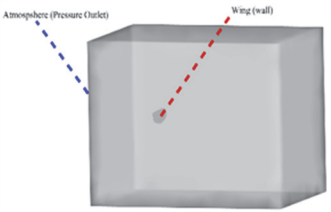


Рисунок 2 — Полная расчётная модель

В этом модели все стороны прямоугольной области считаются выходами давления, а крыло рассматривается как стена. Чтобы облегчить движение крыла, в Ansys Fluent включена динамическая сетка. Для обеспечения численной стабильности расчетной сетки асимметрия определяется не более 0,95. После этого крыло подвергается перемещению, и расчетная сетка перерисовывается на высококачественную сетку в настройке Ansys Fluent.

Следовательно, временной шаг сетки устанавливается равным 0,01, тем самым уменьшая вероятность отрицательного объема и обеспечивая оптимальные результаты. Задавая небольшой размер ячейки (Δh=0,001 мм) расчетной сетки, число Куранта также должно оставаться небольшим, что повышает числовую точность расчетной сетки. Число Куранта определяется следующим образом:

$$C = \frac{U\Delta t}{\Delta h}$$

Моделирование проводилось в течение одного дня при угле разворота 20 градусов и угле скручивания 45 градусов. Расчёты проводились на ноутбуке, оснащённом процессором Core i7 восьмого поколения. Коэффициенты подъёмной силы и лобового сопротивления

зависят от двух факторов: угла атаки по отношению к потоку и формы модели (см. рис. 3,4).

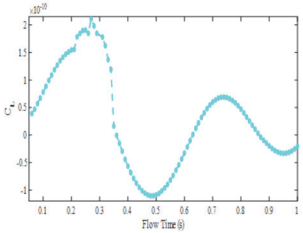


Рисунок 3 — Коэффициент подъёмной силы

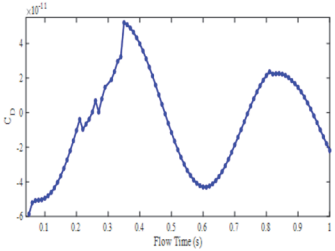


Рисунок 4 — Коэффициент лобового сопротивления

Кроме того, образование вихрей при максимальной скорости хорошо видно на контуре величины скорости (см. рис. 5). При движении крыла вихри образуются как на задней, так и на передней кромке. В рамках исследования произведён сравнительный анализ с аналогичной работой [2].

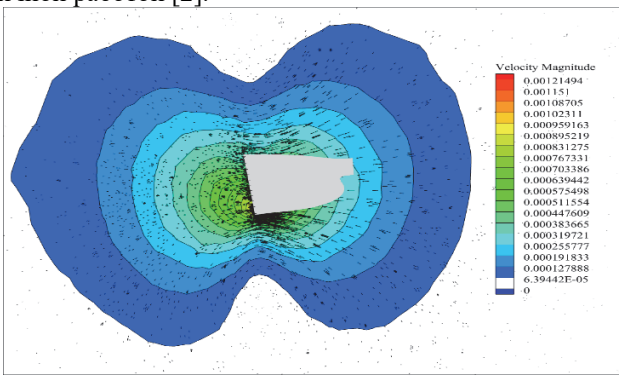


Рисунок 5 — Контуры скорости

В будущем планируется провести численное моделирование при различных углах взмаха и скручивания. Кроме того, в последующую работу будет включена информация о динамическом давлении и образовании вихрей при различных условиях движения крыла.

Литература

1. Bomphrey, R. J., Nakata, T., Phillips, N., & Walker, S. M. (2017). Smart wing rotation and trailing-edge vortices enable high frequency mosquito flight. Nature, 544(7648), 92-95.

2. K.K. Zabello, N.A. Shchur, E.A. Gladysheva, E.Yu. Smirnova, A.V. Popov, V.B. Kazantsev (2024). Self-consistent numerical model of mosquito dynamics with specified kinematic parameters of wing movement, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 108032, ISSN 1007-5704, doi: 10.1016/j.cnsns.2024.108032.

Разработка беспилотного биоморфного робота с машущим крылом

И.А. Кастальский[1,2,✉], Ф.Р. Хабибуллин[1], Н.А. Ковалев[1], А.В. Губа[1], Е.А. Гладышева[1], Н.А. Щур[1,3], В.С. Щапин[1], В.Б. Казанцев[1,2,3]

[1]ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ, Физтех), г. Долгопрудный, Московская обл., Россия, kastalskiy@neuro.nnov.ru

[2]ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (ННГУ им. Н.И. Лобачевского), Нижний Новгород, Россия

[3]Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00420, https://rscf.ru/project/24-19-00420/.

Designing of biomimetic unmanned aerial vehicle with flapping wing

Innokentiy A. Kastalskiy[1,2,✉], Farit R. Khabibullin[1], Nickolay A. Kovalev[1], Artem V. Guba[1], Ekaterina A. Gladysheva[1], Nikolai A. Tschur[1,3], Vladimir S. Shchapin[1], Viktor B. Kazantsev[1,2,3]

[1]Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT), Dolgoprudny, Moscow Region, Russia, kastalskiy@neuro.nnov.ru

[2]National Research Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod (UNN), Nizhny Novgorod, Russia

[3]Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), St. Petersburg, Russia

Acknowledgements

The study was funded by Russian Science Foundation under the grant No. 24-19-00420, https://rscf.ru/en/project/24-19-00420/.

Разработка фундаментальных основ инжиниринга биоморфных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), реализующих биомеханику, моторику и навигацию своих естественных прототипов, является многообещающей альтернативой традиционным дронам. Ярким примером такой конструкции БПЛА может служить робот-птица с машущим крылом в качестве движителя для создания вертикальной и горизонтальной тяги. В перспективе такой подход позволит обеспечить аппарату превосходную маневренность, энергоэффективность, визуальную и акустическую скрытность. Однако на современном этапе развития технологий все еще остается ряд проблем в разработке сверхлегких прочных материалов, эффективных двигательных систем и интеграции передовых систем управления и навигации в подобного рода устройства.

Проект по созданию биоморфного БПЛА с машущим крылом (робота-птицы) включает в себя проведение целого комплекса работ:

– исследование нейрофизиологических основ моторного контроля у птиц;

– исследование анатомии птиц;

– аналитические исследования биомеханики и кинематики полета птиц;

– теоретические и симуляционные исследования на механических моделях БПЛА, схожих по форме и конструкции с их естественными аналогами;

– подбор материалов для изготовления комплектующих робота-птицы (корпус, крылья, хвост, элементы оперения);

– разработка конструкции биоморфного БПЛА с машущим крылом (робота-птицы);

– разработка испытательного стенда;

– разработка и интеграция нейроморфной системы управления роботом-птицей.

В рамках экспериментальных работ была разработана 3D модель робота-птицы и кинематическая схема: механика махательного движения крыла, механизм складывания крыла, принцип крепления и механики движения хвоста. Разработано несколько версий макетов биоморфного БПЛА различных габаритов, массы и оснащения. В частности, осуществлена сборка полноразмерного макета с размахом крыльев 120 см (см. рис. 1) для предполетных испытаний, измерения углов, оценки значений векторов тяги и подъёмной силы. Изготовлена мини-версия вдвое меньше для отработки оптимальной конфигурации крыла.

Рисунок 1 — Полноразмерный макет робота-птицы, закрепленный на измерительном стенде

В рамках исследований на прототипе испытательного стенда был проведен ряд экспериментальных серий [1]. Так, например, было выявлено, что при некоторых условиях робот-птица был не способен компенсировать собственный вес на незначительных скоростях, особенно при малых углах атаки. В динамическом эксперименте было

показано наличие оптимума подъемной силы при средних углах атаки. Таким образом, была подтверждена ключевая роль набегающих потоков воздуха в создании подъемной силы для летательных аппаратов с машущим крылом.

Для успешного достижения всех запланированных динамических показателей робота-птицы необходима реализация системы управления, основанной на технологии нейроморфного искусственного интеллекта (ИИ). Имитируя работу нейронных сетей мозга, она является ключом к раскрытию полного потенциала биоморфных БПЛА. Применение этой технологии существенно продвинет алгоритмы управления, сделав возможными адаптивные, автономные и высокоэффективные летательные аппараты. Будущее отрасли малогабаритных биоморфных БПЛА зависит от преодоления разрыва между исследованиями нейроморфного ИИ и практическими приложениями.

Литература

1. Kovalev N., Khabibullin F., Guba A., Klyuev K., Shchapin V., Kastalskiy I., Kazantsev V. The development of lifting force in flapping wing robots with variable angle of attack // 2024 8th Scientific School Dynamics of Complex Networks and their Applications (DCNA), Kaliningrad, Russia. – IEEE, 2024.

Влияние угла атаки на подъемную силу роботов с машущими крыльями: экспериментальное исследование

А.В. Губа✉, Н.А. Ковалев, И.А. Кастальский, В.Б. Казанцев

Федеральное Государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ), г. Долгопрудный, Московская обл., Россия, guba.av@phystech.edu

Благодарности

Работа поддержана Российским научным фондом (проект No. 24-19-00420, https://rscf.ru/en/project/24-19-00420/).

The effect of the angle of attack on the lift of robots with flapping wings: an experimental study

Artem V. Guba✉, Nikolay A. Kovalev, Innokenty A. Kastalsky, Viktor B. Kazantsev

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University)» (MIPT), Dolgoprudny, Moscow Region, Russia, guba.av@phystech.edu

Acknowledgements

The reported study was funded by Russian Science Foundation (project No. 24-19-00420, https://rscf.ru/en/project/24-19-00420/).

Идея разработки аппарата с машущими крыльями была придумана более 1000 лет назад и были некоторые продвижения в данной области. В последние годы интерес к подобного рода аппарата значительно возрос, в первую очередь за счет своей энергетической экономичности и отсутствию шумового загрязнения [1-3]. Орнитоптеры генерируют подъемную силу и тягу за счет активного машущего движения крыльев [4].

Это исследование экспериментально изучало подъемную силу, генерируемую машущими крыльями двух роботизированных моделей птиц разного размера. Фокус был на определении зависимости между подъемной силой и углом атаки.

Стенд включает вертикальную неподвижную колонну с подвижной рукой для горизонтального вращательного движения. Тензодатчик HX117 измеряет подъемную силу. Для закрепления роботов использовались стеклопластиковые крепления. Микроконтроллер Arduino обрабатывает сигнал от датчика, данные передаются через Bluetooth. Для исследования использовались две модели Go Go Bird®, различающиеся по размеру, массе и размаху крыльев. Роботизированная птица была установлена на гибком подшипнике. Подшипник был прикреплен к пластиковому адаптеру, который обеспечивал горизонтальное положение орнитоптера. Измерительное устройство включало тензодатчики для измерения сил. Сигналы передавались на чип HX711 для преобразования в цифровую форму.

Была проведена серия экспериментов для количественного определения подъемной силы, генерируемой двумя орнитоптерами. Экспериментальные исследования демонстрируют прямую корреляцию между углом атаки и генерируемой подъемной силой. Установлено,

что существует диапазон углов, различный для различных типов орнитоптеров, в котором подъемная сила достоверно возрастает.

Литература

1. B. W. Tobalske, «Biomechanics of bird flight», Journal of Experimental Biology, vol. 210, pp. 3135-3146, Sep. 2007.

2. E. C. Yeo, Q. Huang, "Numerical study of passively pitching flapping wings in hovering flight", Preprint, 2021.

3. M. H. Dickinson, K. G. Götz, "Unsteady aerodynamic performance of model wings at low Reynolds numbers," The Journal of Experimental Biology, vol. 174, no. 1, pp. 45-64, Jan. 1993.

4. C. P. Ellington, "The aerodynamics of hovering insect flight. IV. Aerodynamic mechanisms," Philosophical Transactions of the Royal Society of London B, vol. 305, no. 1122, pp. 79-113, Feb. 1984.

Моделирование динамики беспилотного планера и аэродинамики потока при удержании в набегающем потоке над клином

Н.А. Щур

Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, n.tschur@rtc.ru

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 075-00697-24-01 «Исследование методов и разработка технологий создания отладочно-моделирующих комплексов для функционального и поведенческого моделирования РТК и групп РТК» (FNRG-2022-0008, 1021051101732-4-1.2.1;2.2.2).

Simulation of the dynamics of an unmanned glider and flow aerodynamics when held in an incoming flow over a wedge

Nikolai A. Tschur

Russian State Scientific Center for Robotics And Technical Cybernetics, St. Petersburg, Russia, n.tschur@rtc.ru

Acknowledgements
The work was carried out as the part of the state task of the Russian Ministry of Education and Science for № 075-00697-24-01 «Methods research and technologies development for creation of debugging and modeling complexes for robot and robotic groups functional and behavioral modeling» (FNRG-2022-0008, 1021051101732-4-1.2.1;2.2.2).

В докладе представлены результаты сопряженного моделирования динамики самолётного беспилотника и аэродинамики обтекающего потока. Беспилотник представляет из себя планер классической схемы (рис. 1) размером 10Х8 метров и массой 250 кг. Движение планера осуществляется над пологим клином с задачей удержания в заданной точке пространства над клином. На клин набегает поток воздуха со скоростью 15 м/с. Непосредственно над клином поток имеет заметную положительную вертикальную составляющую.

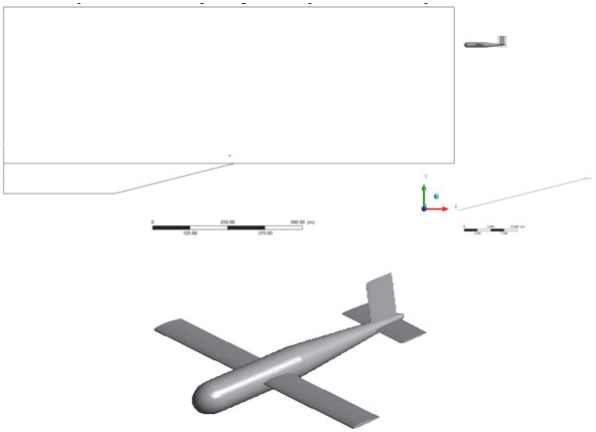


Рисунок 1 — Геометрия расчётной области и самолёта беспилотника

Для регулирования продольного смещения используется регулятор тяги винтового двигателя, расположенного на носу корпуса. Для регулирования высоты используется двухуровневый регулятор высоты дифферентом. Дифферент, в свою очередь, регулируется поворотом элеронов хвостового оперения, что в расчёте осуществлялось посредством работы алгоритма деформации (рис. 2). Для регулирования бокового смещения используется двухуровневый регулятор

бокового смещения креном. Крен, в свою очередь, регулируется поворотом элеронов крыльев, что также осуществлялось алгоритмом деформации.

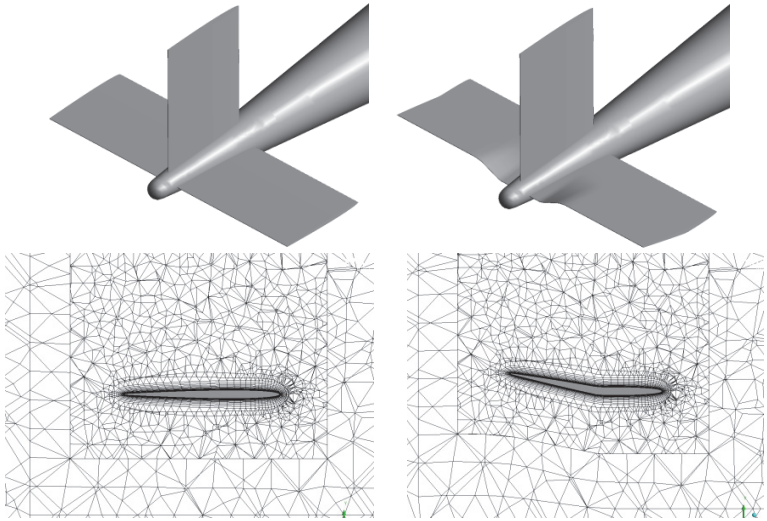


Рисунок 2 — Деформация рулевых поверхностей и расчётной сетки в гидродинамическом расчёте

Расчёты подтвердили возможность удержания в заданной точке за счёт использования указанного набора регуляторов. Также было показано, что нахождение на небольшой высоте над плоскостью клина требует работы двигателя в режиме тормоза. Данный факт позволяет использовать винтовой двигатель, как генератор для зарядки аккумуляторной батареи. Необходимо только, чтобы электрический двигатель, используемый в режиме двигателя, мог также работать в режиме генератора.

Проведённые исследования демонстрируют возможность зарядки самолётных беспилотников в полёте при наличии ветра достаточной силы. Более того, такого рода подзарядку можно проводить в автоматическом режиме. Требуемая скорость ветра зависит от отношения массы аппарата к его площади и от аэродинамического качества.

Вариант решения задачи визуальной навигации БЛА в условиях априорной неопределенности

С.В. Кулешов✉, А.А. Зайцева, А.Ю. Аксенов,
К.Д. Коновалов
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук», Санкт-Петербург, Россия, kuleshov@iias.spb.su

Благодарности
Исследование выполнено за счет Государственного задания на 2024 г. № FFZF-2022-0005.

A solution to the problem of visual navigation of UAVs under conditions of a priori uncertainty

Sergey V. Kuleshov✉, Alaxandra A. Zaytseva,
Alexey Yu. Aksenov, Konstantin D. Konovalov
St. Petersburg federal research center of the Russian academy of sciences, St. Petersburg, Russia, kuleshov@iias.spb.su

Acknowledgements
The research was carried out using State Assignment for 2024 No. FFZF-2022-0005.

В задачах автономной визуальной навигации беспилотных летательных аппаратов без использования средств глобального и радиопозиционирования, как правило, используются разновидности специально сформированных структур данных, основанных на визуальном представлении окружающей среды, инвариантном к условиям освещения, погодным условиям и времени года [1]. В случае, когда полеты БЛА в данной местности ранее не производились, отсутствуют актуальные рефересные изображения, полученные в тех же условиях полета, что вносит априорную неопределенность в задачу навигации и позиционирования.

В ряде работ для инвариантного представления используется кластеризация изображений по основным классам объектов, находящихся на земной поверхности и доступных к визуальному наблюдению в оптическом диапазоне (строения, дороги, водные поверхно-

сти, лесные массивы, песчаные поверхности, каменистые поверхности и др.) [2-4]. Пример возможного инвариантного представления приведен на рисунке 1.

Актуальной проблемой при этом является разработка алгоритмов формирования инвариантного представления окружающей среды, видимой с беспилотного летательного аппарата, и быстрого робастного сравнения с аналогичным инвариантным представлением карты местности в процессе движения с использованием только бортовой аппаратуры, ограниченной, по определению, быстродействием и объемом доступной памяти. Дополнительным требованием является планирование маршрутов с учетом наличия визуальных ориентиров вдоль всей траектории полета.

Рисунок 1 — Пример карты для 2 классов объектов (строения и дороги)

В работе предлагается подход к сравнению инвариантных представлений окружающей среды на основе поиска признаков в фазовом пространстве, построенном на основе локализации объектов, ориентированных по некоторому направлению d_i по отношению к центру изображения камеры наблюдения БЛА. Иллюстрация процесса преобразования изображения окружающей местности в фазовое пространство приведена на рисунке 2.

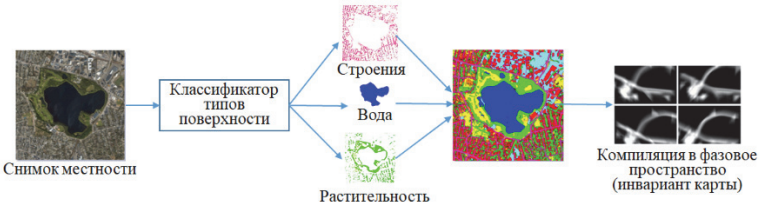


Рисунок 2 — Иллюстрация процесса преобразования изображения окружающей местности

Для подготовки структуры данных инвариантного представления навигационных данных в алгоритме используются бинаризированные изображения областей, содержащие объекты определенного класса (рисунок 3). Затем производится расчет количества объектов, попадающий в сектор, соответствующий направлению $d=\{d_1, d_2, \ldots, d_n\}$, где n – количество плоскостей фазового пространства, содержащих инвариантное представление карты.

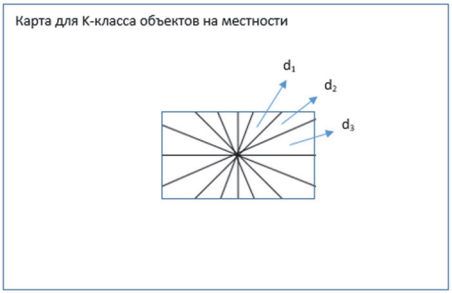


Рисунок 3 — Иллюстрация выбора направления для построения промежуточного представления карты классов

Результаты сохраняются в виде многомерного фазового пространства. Технически структура данных сохраняется в виде базы данных ключ-значение для быстрого поиска местоположения в процессе работы [5].

При движении БЛА производится сравнение параметров для изображения, полученного с бортовой камеры БЛА, вычисленных аналогично алгоритму, приведенному выше, но не для каждой точки карты, а для центральной точки изображения с камеры. Затем производится поиск бинарных признаков в фазовом пространстве в базе данных с получением на выходе множества координат, соответствующих возможным точкам нахождения БЛА. Комплексирование полученных множеств с ранжированием результатов позволяет получить матрицу оценки возможного положения БЛА на карте. Мощность множества возможных координат определяется точностью работы алгоритма и зависит от условий съемки, соответствия сравниваемых инвариантных представлений (например, времени, прошедшего между получением снимков), присутствия в поле зрения камеры идентифицируемых объектов (строений и дорог). Архитектура подсистемы позиционирования по визуальным ориентирам приведена на рисунке 4.

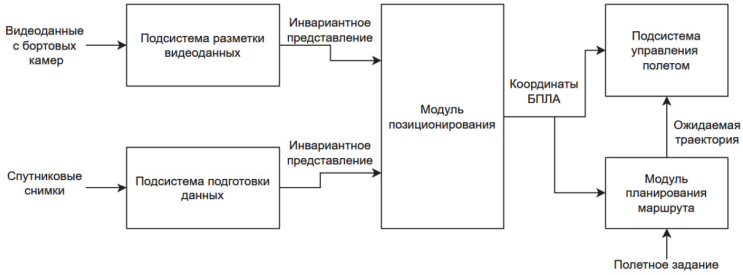


Рисунок 4 — Общая схема работы системы визуальной навигации

Для определения траектории движения БЛА (планирования маршрута) предлагается использовать алгоритм, основанный на поиске пути в инвариантном представлении местности в виде графа. При этом каждая вершина графа соответствует точке с определенными координатам на местности. Графовые алгоритмы обычно применяются в широком круге задач, для построения маршрута БЛА других типов [6]. Глобально такие алгоритмы делятся на два этапа – построение графа, исходя из имеющихся данных о местности, и поиск пути в построенном графе. Подобные алгоритмы обладают широкими возможностями модификации, поскольку для построения графа могут быть использованы различные данные – цифровые снимки местности, координаты характерных ориентиров [7], инфракрасные снимки местности [8] и т.д. Также для создания графа могут быть разработаны специальные математические преобразования, например, метрика разнообразия подстилающей поверхности, описанная в работе [9]. Для реализации поиска поиска пути в графе могут использоваться как известные универсальные алгоритмы, например, алгоритм Дейкстры [7], так и создаваться специальные алгоритмы. Так в работе [9] описан алгоритм поиска, который находит маршрут, максимизируя минимальное значение веса узлов, входящих в итоговый маршрут. Однако подобные методы также не лишены недостатков: основной их проблемой является низкая производительность, время их работы линейно зависит от количества узлов и вершин графа. При этом, если рассматривать традиционный вариант с прямоугольной координатной сеткой, то увеличение площади местности, в которой производится полет, влечет за собой квадратичное увеличение количества узлов в графе. Поэтому графовые алгоритмы могут показывать недостаточно высокую скорость работы при обработке карт больших размеров. Потенциально более сложной становится задача облета препятствий, поскольку добавление дополнительного измерения для учета высоты влечет за собой

увеличение количества узлов графа, что, в свою очередь, также снижает скорость работы алгоритма планирования.

Рисунок 5 — Варианты планирования маршрута БЛА с учетом визуальных ориентиров

Пример планирования маршрута с учетом визуальных ориентиров приведен на рисунке 5 (слева – траектория полета по прямой с потерей визуальной ориентировки, справа – траектория полета вдоль береговой черты с сохранением визуальной ориентировки на протяжении всего полета).

В докладе рассматривается вариант решения задачи визуальной навигации (локализации места положения беспилотного летательного аппарата (БЛА) с применением только средств технического зрения) в условиях априорной неопределенности, то есть отсутствия референсных изображений, полученных при предварительном пролете БЛА в заданном районе. Предлагаемый вариант основан на сопоставлении изображений, получаемых с бортовой видеокамеры и описания местности, сформированного на основе анализа данных дистанционного зондирования Земли. Рассматривается задача построения оптимального маршрута для сохранения визуальной ориентировки вдоль предполагаемой траектории движения БЛА.

Литература

1. С.В. Кулешов, А.А. Зайцева Варианты реализации системы технического зрения для автовзлета и автопосадки БАС // Известия ЮФУ. Технические науки # 01, 2018 // DOI 10.23683/2311-3103-2018-1-284-293

2. Monnier T., Groueix T., Aubry M. Deep transformation-invariant clustering // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2020. – V. 33. – P. 7945-7955.

3. Ji, X., Henriques, J. F., Vedaldi, A. Invariant information clustering for unsupervised image classification and segmentation //Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. – 2019. – P. 9865-9874.

4. Markiewicz J, Abratkiewicz K, Gromek A, Ostrowski W, Samczyński P, Gromek D. Geometrical Matching of SAR and Optical Images Utilizing ASIFT Features for SAR-based Navigation Aided Systems. Sensors. – 2019. – 19(24). – P. 5500.

5. Кулешов С.В., Зайцева А.А., Аксенов А.Ю., Шальнев О.И. Подход к сравнению инвариантных представлений окружающей среды для визуальной навигации робототехнических комплексов // XVI Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2023) Материалы мультиконференции. В 4-х томах, Волгоград, 11–15 сентября 2023 года / Редколлегия: И.А. Каляев, В.Г. Пешехонов, С.Ю. Желтов [и др.]. Том 1. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2023. – С. 177-180.

6. Яковлев К.С., Баскин Е.С. Графовые модели в задаче планирования траектории на плоскости // Искусственный интеллект и принятие решений. 2013. №1. С. 5–12.

7. Гришин В.А. Системы технического зрения в решении задач управления беспилотными летательными аппаратами // Датчики и системы. 2009. №2. С. 46–52.

8. Ищук И.Н., Лихачев М.А. Моделирование оптимального маршрута полета беспилотных летательных аппаратов по данным инфракрасной видеонавигации на основе модернизированного алгоритма Дейкстры // Журнал Сибирского Федерального Университета. Серия: техника и технологии. 2021. №7(14). С. 788–802.

9. Коновалов К.Д. Алгоритм планирования маршрута БПЛА в условиях недостатка визуальных ориентиров // Системы анализа и обработки данных. 2022. №2. С. 37–54.

Заряд беспилотных летательных аппаратов через двунаправленные беспроводные зарядные станции

Г.А. Райко, А.А. Силкин, В.С. Соболев✉, А.В. Дегтярев
ФГБОУ ВО Херсонской области «Херсонский технический университет» (ХТУ), г. Геническ, Херсонская область, Россия, sobolslava02@gmail.com

Charging drones via bidirectional wireless charging stations

Galina A. Rayko, Artem A. Silkin, Vyacheslav S. Sobolev✉,
Andrey V. Degtayrev
«Kherson Technical University» (KHTU), Genichesk, Kherson region, Russia,
sobolslava02@gmail.com

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) на новых территориях Российской Федерации является крайней необходимостью в связи со сложной обстановкой. Они имеют двойное назначение, но в основном предназначены для мониторинга и обследования территории. Одним из ограничений для при работе БПЛА является ограниченность в запасе хода и автономности, а также трата большого количества времени и заряда аккумулятора для того, чтобы добраться от базы до места работы и обратно.

Решение этой проблемы, а также увеличения оптимального использование времени работы операторов, может заключаться в двух различных схем применения:

- использование промежуточных беспилотных-станции,
- БПЛА-заправщики.

В первом случае станция располагается невдалеке от места работы. На неё вырабатывается электроэнергия или с помощью двигателя внутреннего сгорания или с помощью солнечных панелей. БПЛА подлетает к ней, садится, производится зарядка и он снова улетает выполнять свою задачу. Во втором случае беспилотный заправщик курсирует от базы до места работы основного беспилотника и производит зарядку, тем самым позволяя ему работать практически без перерывов на транспортировку от базы до места работы и обратно. Второй способ более мобилен и прост в применении, но требует дополнительных затрат операторов и его более выгоднее применять, если рабочий БПЛА является дорогостоящим или имеет значительно более скромные размеры. В обоих случаях целесообразно использовать беспроводную двунаправленную зарядка. Развитие данной технологии позволит повысить функциональность и гибкость использования БПЛА.

Структура двунаправленной системы беспроводной передачи энергии с использованием двусторонней резонансной сети LCC показана на рисунке 1. Левая сторона определяется как первичная сторона, а правая сторона - как вторичная сторона. Двусторонняя структура симметрична и повторяет структуру полного моста [1].

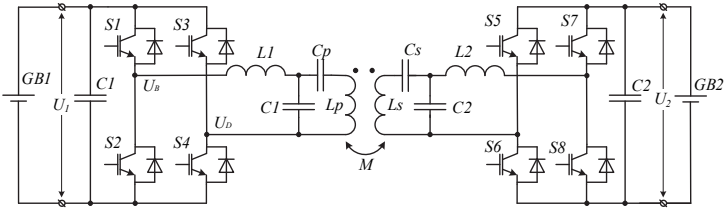


Рисунок 1 — Беспроводная зарядка на основе LLC-преобразователя

Чтобы система работала в резонансном состоянии, должно выполняться равенство индуктивных и ёмкостных сопротивлений, т.е.:

$$X_{L1} = X_{C1};\ X_{LP1} = X_{CP} + X_{C1};$$
$$X_{L2} = X_{C2};\ X_{LS1} = X_{CS} + X_{C2}.$$

На каждом мосту формируется модифицированный синус, представленный на рисунке 2. Отличие состоит в том, что синус вторичной стороны сдвинут на угол δ в сторону от первичной [2]. Если он сдвинут влево, то происходит передача слева направо, если в правую – то в противоположную сторону.

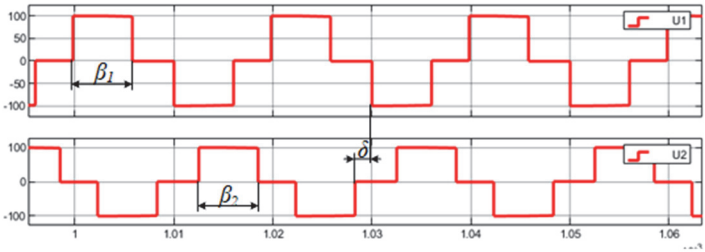


Рисунок 2 — Осциллограммы на беспроводном LLC-преобразователе

Также можно регулировать интенсивность тока в передающих катушках с помощью угла перекрытия плеч моста β. Ток в резонансном контуре с катушкой может превосходить входной ток в десятки раз даже для небольших зарядных станций, что делает беспроводную зарядку более эффективной.

Таким образом, разработка и наладка двунаправленных симметричных LLC-преобразователей постоянного тока для беспроводного обмена электроэнергией повысит функциональность и время ис-

пользования БПЛА и может быть использована в местах, где оператор по разным обстоятельствам не может обеспечить обслуживание. Аналогично, данные преобразователи можно использовать и для морских беспилотных аппаратов.

Литература

1. Li, Y. State-of-the-Art Review on Topology and Deductive Methods of LLC Resonant Converter / Y. Li, X.-F. Cheng, J. Zhao & etc. // Journal of Electrical Engineering & Technology, 2023. – Vol. 19.

2. Авдеев Б. А. Расчет мощности двунаправленного преобразователя постоянного напряжения автономных подводных аппаратов / Б. А. Авдеев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология, 2019. – № 2. – С. 101-109.

Орнитоптер с независимыми машущими крыльями и регулируемой площадью крыла

И.В. Митин[1,2,3]✉, И.А. Кастальский[1,2], В.Б. Казанцев[1,2,3]

[1]Лаборатория нейробиоморфных технологий ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт» (МФТИ), Долгопрудный, Московская область, Россия, illya.mitin@gmail.com

[2]Кафедра нейротехнологий ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (ННГУ), Нижний Новгород, Россия

[3]Центр нейротехнологий и машинного обучения ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта» (БФУ им. И. Канта), Калининград, Россия

Благодарности

Данная работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант №24-19-00420, https://rscf.ru/en/project/24-19-00420/).

Ornithopter with independent flapping wings and adjustable wingspan

Ilia V. Mitin[1,2,3]✉, Innokentiy A. Kastalskiy[1,2],
Viktor B. Kazantsev[1,2,3]

[1]*The Laboratory of neurobiomorphic technologies Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT), Dolgoprudny, Moscow Region, Russia, illya.mitin@gmail.com*

[2]*Neurotechnology Dept. Lobachevsky University (UNN), Nizhny Novgorod, Russia*

[3]*Center for Neurotechnology and Machine Learning Immanuel Kant Baltic Federal University (IKBFU), Kaliningrad, Russia*

Acknowledgements
The reported study was funded by Russian Science Foundation (project No. 24-19-00420, https://rscf.ru/en/project/24-19-00420/).

Одним из наиболее перспективных направлений развития робототехники на сегодняшний день является создание биоморфных роботов, которые воспроизводят принципы движения живых существ в природе. Эти принципы постоянно совершенствовались природой для обеспечения выживания существ. С технической точки зрения выживание обеспечивается двумя принципами: снижением потребления энергии во время движения и увеличением различных параметров движения: например, скорости и маневренности.

На данный момент по всему миру разрабатываются биоморфные орнитоптеры различных конструкций [1,2]. Однако, до глубокого понимая механизмов полета птицы и его полного воспроизведения в исполнения робота пока далеко. Изучение инновационных технических решений в области движения с машущим крылом для беспилотных транспортных средств будет способствовать прогрессу в области биоморфной робототехники.

Для изучения кинематики полета птиц был разработан макет орнитоптера оригинальной конструкции, особенность которого состоит в возможности изменения площади крыла, а также не независимого управления левым и правым крылом.

Большинство разработанных на данный момент орнитоптеров базируются на схеме, использующий один двигатель для привода обоих крыльев, что не дает возможности имитировать несимметричный полет птиц, играющий большую роль в их маневренности [3]. При выборе привода нашего испытательного макета, мы остановились на схеме, использующие два независимо управляемых сервопривода, подобно орнитоптеру [4]. Данная схема позволяет контро-

лировать расстояние, проходимое крылом за один взмах, а также менять начальные и конечное положение крыла относительно оси крена орнитоптера. Также разработанная нами конструкция позволяет изменять площадь и стреловидность крыла подобно орнитоптеру, [5]. Это позволит имитировать паттерны движений, характерные для различных скоростей полета [6].

Прототип орнитоптера (см. рис. 1) включает симметричные крылья, из жесткого каркаса, и закрепленной на нем тканевой мембраны. Передняя часть каждого крыла присоединяется непосредственно к валу одного из двух сервоприводов (1), которые заставляют крылья совершать взмахи. За складывание и раскладывания крыльев, отвечает сервопривод (2), подсоединенный к реечной передаче (3). Для управления направлением полета используется хвостовое оперение, управляемое двумя сервоприводами (4). В качестве источника питания используется Li-Po аккумулятор 7,6 В 900 мАч (5). Для связи с оператором используется приемник (6), а в качестве драйвера сервоприводов применен микроконтроллер ATmega328.

Рисунок 1 — Прототип орнитоптера

Конструкция орнитоптера позволяет уменьшать площадь крыльев в 1,7 раза, аналогично птицам, летящим с большой скоростью (см. рис. 2).

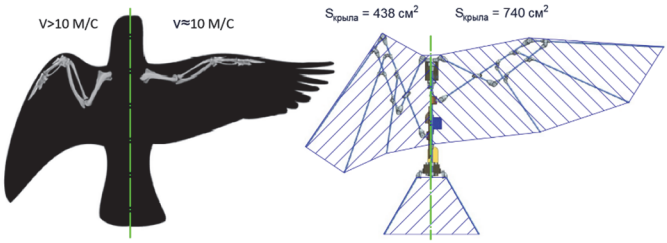


Рисунок 2 — Изменение площади крыльев

Литература

1. Send W. Artificial hinged-wing bird with active torsion and partially linear kinematics / W. Send, M. Fischer, K. Jebens, R. Mugrauer, A. Nagarathinam, F. Scharstein // In Proceeding of 28th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, vol. 10. pp. 1-10, Sep. 2012.
2. Liao W. Mechanical design and dynamics system identification of two-section Flapping Wing Aircraft / W. Liao, Z. Ye, G. Song, B. Yang // In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 563, no. 3, p. 032010, July 2019.
3. Warrick D. R. Bird Maneuvering Flight: Blurred Bodies, Clear Heads / D. R. Warrick, M. W. Bundle, & P.D. Kenneth // Integrative and comparative biology. (2002). 42. 141-8. DOI:10.1093/icb/42.1.141.
4. Yang L. Aerodynamic Evaluation of Flapping Wings with Leading-Edge Twisting / L. Yang, J. Jabaraj, V. Esakki, B. Kompala etc. // Biomimetics 8(134) (2023) DOI:10.3390/biomimetics8020134
5. Hoff J. Optimizing the structure and movement of a robotic bat with biological kinematic synergies / J. Hoff, A. Ramezani, S. Chung, S. Hutchinson // International Journal of Robotics Research (2018) 37(10) DOI:10.1177/0278364918804654
6. Tang D. Quantitative analysis of the morphing wing mechanism of raptors: Analysis methods, folding motions, and bionic design of Falco Peregrinus / D. Tang, X. Huang, J. Che, W. Jin, etc. // Fundamental Research (2022) DOI:10.1016/j.fmre.2022.03.023

Перспективные исследования в области применения БПЛА для промысловой рыборазведки

И.Л. Ермолов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПмех РАН), Москва, Россия, ermolov@ipmnet.ru

Благодарности

Работа поддержана грантом РНФ № 24-61-00025.

Challenging Surveying of Fish Schools from board of UAVs

Ivan L. Ermolov
Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, ermolov@ipmnet.ru

Acknowledgements
The study is supported by RSF (project No. № 24-61-00025).

Промысловое рыболовство является важной компонентой обеспечения продовольственной безопасности России. Россия обладает мощными рыбными ресурсами, однако промысловое рыболовство при этом должно оставаться экономически эффективным. Одной из основных статей расходов при промысловом рыболовстве являются расходы на топливо при поиске косяков промысловых рыб.

Ранее, в советский период существовала специальная авиация промысловой рыборазведки [1], в основном на базе самолётов Ил-12 и Ил-18. Однако авиация рыборазведки не выдержала новых экономических реалий и сейчас в нашей стране полностью отсутствует.

Последние годы был проведён ряд работ по применению БПЛА для оценки рыбных ресурсов в прибрежной зоне и на реках [2].

Однако, по оценке российских специалистов по рыболовству крайне перспективным является восстановление промысловой рыборазведки для промысла пелагических рыб, прежде всего сайры и иваси.

Очевидным решением является применении беспилотных летательных аппаратов для осуществления промысловой рыборазведки пелагических рыб. Однако, это требует решения ряда научных и технических задач. В их числе:

- разработка методов обнаружения косяков рыб с борта БПЛА (например, [3]);
- научное обоснование требований к БПЛА рыборазведки;
- разработка прикладных алгоритмов для осуществления рыборазведки с помощью БПЛА.

Как видно из перечня задач, они носят достаточно разносторонний характер и требуют привлечения в единый коллектив специалистов из различных научных областей.

Это успешно реализуется в рамках проекта «Разработка методов поиска скоплений промысловых рыб с помощью БПЛА», поддержанного грантом РНФ №24-61-00025.

Проект носит мультидисциплинарный характер и включает 3 института-участника из разных областей знания.

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (г. Москва) решает задачи, связанные с методами поиска, обнаружения и, возможно, идентификации косяков промысловых рыб. Также он выполняет координирующие функции научного коллектива.

Морской государственный университет им. Адм. Г.И.Невельского (г. Владивосток) является ключевым исследовательским центром в области применения БПЛА на гражданским флотом. Соответственно, рамках указанной НИР будет использоваться для решения научных и технических задач, связанных с интеграций БПЛА на судах рыболовецких флотилий.

Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (г. Южно-Сахалинск) является экспертным центром промыслового рыболовства. Его опыт и знания в области научного обеспечения рыборазведки промысловых рыб обеспечит практическую направленность выполняемых работ в интересах российского рыболовства.

Автор полагает, что описанная работа открывает новые широкие перспективы как для развития отечественной беспилотной авиации, так и для обеспечения продовольственной безопасности России.

Литература

1. Юдович Ю. Б., Промысловая разведка, издательство «Пищевая промышленность» 1974 г.

2. Свиридов В.В., Коцюк Д.В., Подорожнюк Е.В. Беспилотный фотограмметрический учет тихоокеанских лососей посредством БПЛА потребительского класса // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 2. — С. 429–449. DOI: 10.26428/1606- 9919-2022-202-429-449.

3. Шаманаев В. С. Обнаружение косяков морских рыб с помощью метода поляризационного лазерного зондирования. // Оптика атмосферы и океана. 2018. Т. 31. № 04. С. 268–274. DOI: 10.15372/AOO20180404.

СЕКЦИЯ «ПРОМЫШЛЕННАЯ
И ЛОГИСТИЧЕСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Реализация оптимального управления электроприводом захватного устройства

М.Ю. Ветлицын
Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ), Волгоград, Россия, mikhail.vetlitsyn@mail.ru

Благодарности
Исследование выполнено за счет средств программы развития ВолгГТУ «Приоритет 2030», в рамках научного проекта No 35/637-24.

Implementation of optimal control of the electric drive of the gripping device

Mikhail Yu. Vetlitsyn
Volgograd State Technical University (VolGTU), Volgograd, Russia, mikhail.vetlitsyn@mail.ru

Acknowledgements
The research was carried out at the expense of the funds of the development program of VSTU «Priority 2030», within the framework of scientific project No. 35/637-24.

Использование электропривода с цифровыми драйверами в захватных устройствах позволяет расширить возможности управления, но при этом возникают динамические особенности процесса движения, определяемые высоким быстродействием драйверов и использованием коротких интервалов импульсов управления [1]. Отличительной особенностью современных захватных устройств является наличие в конструкции упругих и эластичных элементов, например в составе зажимных губок и пальцев, создающих упругие связи в кинематической схеме устройства [2].

Рассматривается задача оптимального управления захватным устройством оснащенным электроприводом с двигателем постоянного тока (ДПТ). Выделяются критерии оптимальности по:

– обеспечению максимальной производительности электропривода в заданное время T;

– обеспечение максимальной аккуратности и точности захвата объекта.

Опробован метод реализации функции оптимального управления электроприводами для обеспечения минимального времени выполнения заданной программы реконфигурации, минимума потерь в якоре и минимума потребления энергии электроприводом, максимальной аккуратности и точности захвата объекта.

Рассматриваемая система реализована на микроконтроллере, управляющим двойным драйвером полного Н-моста с ДПТ, по программе реализующей систему управления с очувствлением процесса захвата. Периодичность следования импульсов управления $T_{\text{импульс}}$ задана конструкцией контроллера, а интервалы времени $t_{\text{откр}}$ и $t_{\text{пауз}}$ заданы возможностями таймера и программой управления. На каждом интервале $T_{\text{импульс}}$ ток якоря имеет экспоненциальный характер отклонения ΔI (рис. 1), что приводит к соответствующим изменениям момента ΔM [3].

$$I = \frac{\left(U - C_{\text{ЕФ}}\Phi_{\text{дв}}\omega\right)\left(1 - e^{-\frac{t}{T_{\text{я}}}}\right)}{r_{\text{я}}} + I_0 e^{-\frac{t}{T_{\text{я}}}}, 0 < t < t_{\text{откр}}$$

$$I = -\frac{C_{\text{ЕФ}}\Phi_{\text{дв}}\omega\left(1 - e^{-\frac{t-t_{\text{откр}}}{T_{\text{я}}}}\right)}{r_{\text{я}}} + I_{mi} e^{-\frac{t-t_{\text{откр}}}{T_{\text{я}}}}, t_{\text{откр}} < t < T_{\text{импульс}}$$

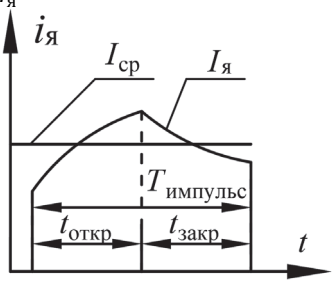


Рисунок 1 — Характер изменения действующей силы тока на интервале $T_{\text{импул}}$

Литература

1. Москвичев А.А. Захватные устройства промышленных роботов и манипуляторов : учебное пособие / А.А. Москвичев, А.Р. Кварталов, Б.В. Устинов. – М. : ФОРУМ : ИНФА-М, 2019. – 176 с.
2. Разработка комплекса испытательных средств для исследования адаптивных реконфигурируемых структур / М. Ю. Ветлицын, Н. Г. Шаронов, А. В. Малолетов, В. В. Николаева // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2023. – № 4. – С. 99-106.
3. Сен П. Тиристорные электроприводы постоянного тока: Пер. с англ.- М.: Энергоатомиздат, 1985.-232 с., ил.

Математическая модель динамики движений манипулятора гибридной структуры

А.В. Нелюбова✉, В.В. Жога

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (ВолгГТУ), Волгоград, Россия, mqdschen@yandex.ru

Благодарности

Исследование выполнено за счет средств программы развития ВолгГТУ «Приоритет 2030», в рамках научного проекта № 25/639-24.

A mathematical model of the dynamics of movements of a manipulator of a hybrid structure

Anna V. Nelyubova✉, Victor V. Zhoga

Volgograd State Technical University. Volgograd, Russia, mqdschen@yandex.ru

Acknowledgements

The research was carried out at the expense of the funds of the development program of VSTU «Priority 2030», within the framework of scientific project № 25/639-24.

Активное внедрение систем автоматизации в промышленное производство характеризуется применением манипуляторов с различными кинематическими схемами. Особое применение нашли ма-

нипуляторы гибридной структуры, которые могут быть использованы для механической обработки крупногабаритных объектов [1]. Особенность таких конструкций заключается в сочетании достоинств манипуляторов последовательной структуры (большая рабочая зона, маневренность) и манипуляторов параллельной структуры (высокие характеристики жесткости и точности позиционирования, возможность высокоскоростной обработки) [2].

Манипулятор гибридной структуры [1] содержит три линейных исполнительных звена (1, 2, 3), связанных с поворотным основанием в точках A, B, C с помощью двух подвижных шарниров, другие концы исполнительных звеньев закреплены с помощью сферических шарниров на выходном звене 6 (рис. 1). Дополнительная связь в виде полой трубы 5 закреплена с помощью шарнира 7 и обеспечивает жесткость конструкции. Четвертый линейный привод 4 реализует поворот треугольного основания ABC вокруг горизонтальной оси.

Число степеней свободы манипулятора равно 4. Обобщенными координатами являются: L – переменная длина трубы 5; δ, ψ – углы поворота подвижной системы координат относительно неподвижной; φ – угол наклона поворотного основания ABC.

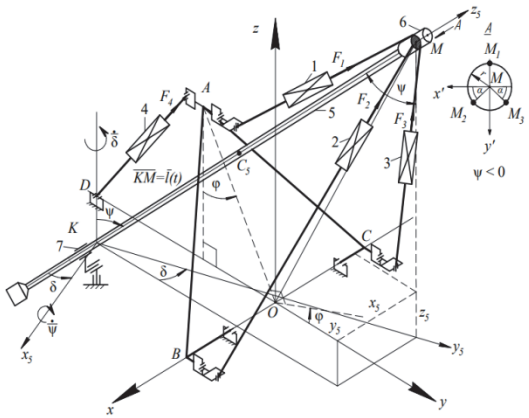


Рисунок 1 — Кинематическая схема гибридного манипулятора

Для описания динамической модели манипулятора рассмотрим четыре твердых тела: звено AD – электроцилиндр (состоит из цилиндра и штока). Цилиндр совершает вращательное движение вокруг

неподвижной оси Ox, шток совершает плоское движение. Поворотное основание ABC и звено L также являются твердыми телами. При разработке системы управления необходимо рассчитать требуемые законы изменения управляющих сигналов приводных двигателей F1, F2, F3, F4, поэтому сформируем динамическую модель манипулятора с помощью четырех уравнений Лагранжа 2-ого рода:

$$\left(0.172-\frac{0.14}{\pi}\varphi\right)\ddot{\varphi}-\frac{0.07}{\pi}\dot{\varphi}^2=$$
$$=-\frac{OA}{l_1}\left[DK\sin\varphi+OD\cos\varphi+L\cos\varphi\sin\psi\cos\delta+r\cos\varphi\cos\psi\cos\delta+r\sin\varphi\sin\psi\right]F_1-$$
$$-\frac{OD\cdot OA\cos\varphi}{l_4}F_4+m_{42}g\frac{OAOD\cos\varphi\sqrt{l_4^2-(OD-OA\sin\varphi)^2}}{l_4^2}-$$
$$-\left[m_{41}l_{c1}+m_{42}(l_4-l_{40})\right]\cdot\frac{(OD-OA\sin\varphi)OA\cos\varphi}{l_4\sqrt{l_4^2-(OD-OA\sin\varphi)^2}}g+\frac{1}{3}m_{BC}gOA\sin\varphi,$$
$$m_5\ddot{L}-m_5(L-L_0)\cdot(\dot{\delta}^2\sin^2\psi\ +\dot{\psi}^2)=$$
$$=\frac{L+OD\cdot\sin\psi\cos\delta-OA\cdot\sin\varphi\sin\psi\cos\delta-DK\cdot\cos\psi}{l_1}F_1+$$
$$+\frac{L-(OB\sin\delta-OD\cos\delta)\sin\psi-DK\cos\psi}{l_2}F_2+$$
$$+\frac{L+(OC\sin\delta+OD\cos\delta)\sin\psi-DK\cos\psi}{l_3}F_3-m_5g\cos\psi,$$
$$\left[I_5+m_5(L-L_0)^2\right]\ddot{\psi}\ +2m_5(L-L_0)\dot{\psi}\ \dot{L}-\left[I_5+m_5(L-L_0)^2\right]\dot{\delta}^2\sin\psi\ \cos\psi\ =$$
$$=\frac{-OA\cdot L\sin\varphi\cos\psi\cos\delta+OAr\sin\varphi\sin\psi\cos\delta+OD\cdot L\cos\psi\cos\delta}{l_1}F_1+$$
$$+\frac{-ODr\sin\psi\cos\delta+OAr\cos\varphi\cos\psi+DK\cdot L\sin\psi+DKr\cos\psi}{l_1}F_1+$$
$$+\frac{-(OB\sin\delta-OD\cos\delta)\cdot(r\sin\alpha\sin\psi+L\cos\psi)+DK(L\sin\psi-r\sin\alpha\cos\psi)}{l_2}F_2+$$
$$+\frac{(OC\sin\delta+OD\cos\delta)\cdot(L\cos\psi+r\sin\alpha\sin\psi)+DK(L\sin\psi-r\sin\alpha\cos\psi)}{l_3}F_3+m_5g(L-L_0)\sin\psi,$$
$$(\ddot{\delta}\sin^2\psi+2\dot{\delta}_5\dot{\psi}\sin\psi\cos\psi_5)\left[m_5(L-L_0)^2+I_5\right]+2\dot{\delta}\sin^2\psi m_5(L-L_0)\dot{L}=$$
$$=\frac{OA\cdot L\sin\varphi\sin\psi\sin\delta+OAr\sin\varphi\cos\psi\sin\delta-OD\cdot L\sin\psi\sin\delta}{l_1}F_1-\frac{ODr\cos\psi\sin\delta}{l_1}F_1+$$
$$+\frac{(OB\cos\delta+OD\sin\delta)\cdot(r\sin\alpha\cos\psi-L\sin\psi)+r\cos\alpha(OB\sin\delta-OD\cos\delta)}{l_2}F_2+$$
$$+\frac{(OC\cos\delta-OD\sin\delta)\cdot(L\sin\psi-r\sin\alpha\cos\psi)+r\cos\alpha(OD\cdot\cos\delta+OC\sin\delta)}{l_3}F_3.$$

Полученные уравнения позволяют проводить динамические исследования манипулятора с жесткими звеньями. При решении первой задачи динамики определяются движущие силы, необходимые

для обеспечения заданных законов перемещения рабочего органа. При решении второй задачи динамики определяются динамические ошибки, вызываемые влиянием инерционных сил на работу приводных двигателей.

Литература

1. Жога В.В., Нелюбова А.В. Обоснование расчетной схемы динамики манипулятора параллельно-последовательной структуры с дополнительной связью // Известия ВолгГТУ. Сер. Роботы, мехатроника и робототехнические системы. 2024. № 4. С. 60–65. DOI: 10.35211/1990-5297-2024-4-287-60-65.

2. Жога В.В., Дяшкин-Титов В.В., Воробьева Н.С., Дяшкин А.В. Динамика и синтез управляющих сигналов манипулятора параллельно-последовательной структуры // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2022. № 8. С. 3-12. DOI: 10.18698/0536-1044-2022-8-3-12.

Новые вызовы горной промышленности в связи с переходом подземных рудников к добыче полезных ископаемых в условиях экстремальных сред

В.С. Федотенко[1], Д.Н. Радченко[1]✉, Н.А. Федотенко[1], В.О. Васильев[2]

[1]Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН), Москва, Россия, mining_expert@mail.ru

[2]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ), Москва, Россия

Благодарности

Исследования выполняются в рамках базового бюджетного финансирования ИПКОН РАН учредителем – Минобрнауки России (тема FMMS-2024-0010).

New challenges for the mining industry in connection with the transition of underground mines to mining in extreme environments

Victor S. Fedotenko[1], Dmitry N. Radchenko[1]✉,
Natalia A. Fedotenko[1], Vadim O. Vasiliev[2]
[1]*Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences (IPKON RAS), Moscow, Russia, mining_expert@mail.ru*
[2]*Moscow Institute of Physics and Technology (MIPT), Moscow, Russia*

Acknowledgements
The research is carried out within the framework of the basic budget financing of the IPCON RAS by the founder – the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (topic FMMS-2024-0010).

Современная горная промышленность характеризуется высоким уровнем автоматизации производства и широким набором современных технических средств, работающих, в том числе, автономно. Среди таких – роботизированные автосамосвалы в карьерах и подземных рудниках, погрузочно-доставочные машины, буровые установки и т.п. Роботизация в горной промышленности, где труд человека сопряжен с постоянным риском для жизни, является приоритетом.

Вместе с тем, рост потребления минерального сырья и невозобновляемость геологических ресурсов в масштабах исторического времени приводят к неизбежному росту глубины горных работ. Некоторые карьеры превысили отметку по глубине в 1 км, а добыча полезных ископаемых в подземных условиях, например, в ЮАР, ведется на глубинах более 4 км. Параметры среды на глубоких подземных рудниках характеризуются, с точки зрения возможности нахождения человека, как экстремальные. Присутствие персонала в глубоких шахтах сопряжено с риском для жизни, ввиду высокой температуры окружающего массива (до 55-700С), высокого атмосферного давления, повышенного риска прорыва высоконапорных флюидов в горные выработки, динамических форм проявления горного давления – стреляния, обрушения горной массы, завалы оборудования, ввиду высоких напряжений в массиве. Несмотря на это, добыча твердых полезных ископаемых на сверхбольших глубинах (количество глубоких шахт) во всем мире будет расти, согласно росту объемов промышленного производства.

В России подземные рудники пока не относятся к сверхглубоким. Однако, компания Норильский Никель уже ведет добычу медно-никелевых руд на глубине, превышающей 2 км. Даже на такой глубине все вышеперечисленные экстремальные условия ведения горных работ проявляются в полной мере.

Для всех без исключения горнодобывающих компаний в мире, рост глубины горных работ влечет потребность в изыскании решений, позволяющих максимально снизить влияние человеческого фактора в технологических процессах, осуществляемых в горных выработках на большой глубине. Среди передовых решений – дистанционное управление горной техникой, направляемой в забой оператором, находящимся в безопасной от обрушений зоне, а также внедрение автономной горной техники (погрузочно-доставочные машины, подземные автосамосвалы), работа которой корректируется из пунктов управления, расположенных на поверхности и даже в других городах.

Анализ этапов и принципов роботизации горнодобывающего оборудования для подземных горных работ позволяет заключить, что в мировой практике суть создания подземной автономной машины всегда сводится к выводу оператора, вплоть до исключения кабины машиниста из конструкции и оснащению горной машины перечнем необходимых средств для автономной работы. При этом перечень технологических операций остается неизменным. Не меняются конструктивные параметры систем подземной разработки – порядок проходки горных выработок и отработки запасов выемочной единицы. Отсутствует рост производительности в связи с цикличностью процессов бурения, заряжания, отбойки, выпуска и доставки горной массы. Это связано с тем, что именно горные машины определяют всю технологию добычи руды, но современные автономные горные машины повторяют технический результат, достигнутый при эксплуатации техники в эпоху управления машинистом со всеми ограничениями по применению.

Новые роботизированные комплексы оборудования призваны обеспечить высокопроизводительную работу в условиях экстремальных сред – высоких температур, риска газовыделений, пониженного содержания кислорода, завалов и обрушений горной массы. Безопасная работа робототехнического средства, исключающая его утрату вследствие непрогнозируемых и неконтролируемых явлений, обеспечивается сопряжением с датчиками о состоянии массива горных пород, а также комплексом вспомогательного роботизирован-

ного оборудования, непрерывно обследующего очистное пространство и своевременно устраняющее угрозы аварийного развития ситуации. Создание облика подземного робота и вспомогательных роботизированных средств мониторинга и контроля базируется на положении, что экстремальная подземная среда не рассматривается как постоянная угроза, но рассматривается как естественная рабочая обстановка, в которой ведется непрерывное извлечение полезного ископаемого. На этом основано обоснование модулей базовых платформ, модулей целевой нагрузки и средств обеспечения и обслуживания в их взаимосвязи и привязке к конкретным условиям ведения очистных работ.

Шестистепенной робот параллельной структуры на параллельных рельсах

Г.Н. Нагайцев
Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (ИПМех РАН), Москва, Россия, georgijnagajcev@gmail.com

A six-DoF parallel structure robot on parallel rails

Georgij N. Nagajcev
Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS (IPMech RAS), Moscow, Russia,
georgijnagajcev@gmail.com

В современной промышленности требуется высокая точность и скорость выполнения операций. Под такие задачи отлично подходят роботы параллельной структуры. Жёсткость их конструкции позволяет минимизировать отклонения при высокой скорости перемещений.

В данной работе представлен шестиступенной робот параллельной структуры, перемещающийся на параллельных рельсах, он изображён на рисунке 1.

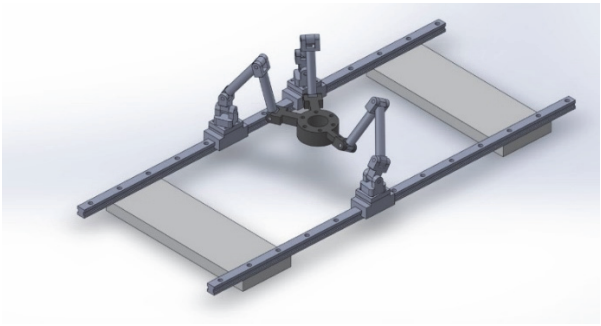


Рисунок 1 — робот параллельной структуры на параллельных рельсах

Данная кинематическая структура позволяет роботу свободно перемещаться вдоль конвейерной ленты, свершая необходимые операции. Возможность поворотов вокруг осей позволяет увеличить спектр возможных задач по сравнению с триптероном.

Простота решения прямой и обратной задачи кинематики позволяет легко реализовать систему управления для данного робота.

Литература

1. Глазунов В.А. Механизмы параллельной структуры и их применение: робототехнике, технологические, медицинские, обучающие системы ; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А. А. Благонравова Российской академии наук. - Москва : [б. и.] ; Ижевск : Ин-т компьютерных исслед., 2018. - 1035 с.

2. Глазунов В.А., Хейло С.В. Механизмы перспективных робототехнических систем. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2020. – 296 С.

Совместная работа: технологии обеспечения взаимодействия коллаборативного робота и оператора

Д.Е. Чикрин, К.Р. Смольникова✉

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (Казанский (Приволжский) федеральный университет), Республика Татарстан, г. Казань, Россия, krsmolnikova@mail.ru

Collaboration: technologies for collaborative robot-operator interaction

Dmitry E. Chickrin, Kamilla R. Smolnikova✉
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Kazan (Volga Region) Federal University» (Kazan (Volga Region) Federal University), Republic of Tatarstan, Kazan, Russia, krsmolnikova@mail

Современная робототехника переживает революцию, переходя от автоматизации отдельных задач к созданию коллаборативных роботов (коботов), работающих во взаимодействии с оператором. Обеспечение безопасности оператора является одним из ключевых вопросов при внедрении коботов на производство.

В работе анализируются ключевые технологии, обеспечивающие безопасное и эффективное взаимодействие в системе «кобот-человек». Рассматриваются системы отслеживания движения, ограничения движения и аварийной остановки, а также их роль в предотвращении аварийных ситуаций в сценариях взаимодействия «кобот-человек».

Техническим стандартом закреплено несколько сценариев взаимодействия: контролируемая остановка с расчетной безопасностью; ручное управление; ограничение скорости и соблюдение защитного расстояния разделения; ограничение мощности и силы [1]. Для обеспечения безопасности и эффективности взаимодействия «кобот-человек» необходимо применять системы, контролирующие движения кобота.

I. С помощью системы отслеживания движений кобот может «видеть» окружающую среду и реагировать на движения оператора, изменяя траекторию и/или останавливаясь своевременно. Датчики расстояния измеряют расстояние между коботом и окружающими объектами, включая оператора. В случае сближения система может замедлить и/или остановить движение кобота.

II. Системы ограничения движения ограничивают скорость, силу и траекторию движения кобота. Ограничение скорости реализуется посредством автоматического снижения вблизи оператора либо ограничения максимальной скорости движения кобота. Ограничение силы или крутящих моментов обеспечивается с помощью встроенных датчиков, которые измеряют силу взаимодействия и при достижении порогового значения сила усилия кобота снижается и/или движение останавливается. Система контроля мощности по силе,

моменту вращения сустава, по скорости может быть адаптивной, изменяя уровень ограничения в зависимости от конкретной ситуации. Виртуальные зоны безопасности могут настраиваться непосредственно самим оператором. С помощью виртуальных барьеров можно создать невидимые границы, а в случае пересечения заданных границ в рабочей зоне движение кобота останавливается.

III. Функция аварийной остановки позволяет оператору немедленно остановить кобота в любое время одним действием, предотвращает неконтролируемое движение кобота. Системы защитной (автоматической) остановки останавливают движения кобота при обнаружении опасности – любого сбоя.

Системы безопасности являются критически важными элементами в кобототехники. Рассмотренные системы обеспечивают безопасность и позволяет эффективно работать в системе «кобот-человек». Системы отслеживания и ограничения движения должны быстро и точно реагировать на изменения в окружающей среде. Системы контроля мощности и аварийной остановки являются неотъемлемой частью для обеспечения безопасности кобототехники. Система контроля мощности позволяет создать эффективную и безопасную систему взаимодействия «кобот-человек». Правильная проектировка систем аварийной остановки обеспечивают быструю остановку кобота.

Литература

1. ГОСТ Р 60.1.2.3-2021/ISO/TS 15066:2016. Роботы и робототехнические устройства. Требования безопасности для роботов, работающих совместно с человеком : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 24 ноября 2016 г. № 1756-ст : введен впервые : дата введения 2018-01-01 / подготовлен Федеральным бюджетным учреждением «Консультационно-внедренческая фирма в области международной стандартизации и сертификации «Фирма «ИНТЕРСТАНДАРТ» совместно с Федеральным государственным автономным научным учреждением «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ЦНИИ РТК) и ООО «Корпоративные электронные системы» (ООО «КЭЛС-центр»). – Москва: Стандартинформ, 2016. – 36 с.

Экзоскелет для производственных и складских работ

Г.В. Савинков✉, А.С. Попов
Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический Университет (СПбГМТУ), Санкт-Петербург, Россия, glebsavinkov@gmail.com

Благодарности
Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации программы «Приоритет 2030».

Exoskeleton for production and warehouse work

Gleb V. Savinkov✉, Anton S. Popov
Saint Petersburg State Marine Technical University (SPbSMTU), St. Petersburg, Russia, glebsavinkov@gmail.com

Acknowledgements
Ministry of Education and Science of Russia within the framework of the strategic academic leadership program «Priority-2030».

В условиях промышленного производства рабочие вынуждены демонстрировать высокую подвижность, требующую значительных физических усилий, гибкости и манёвренности, если такие характеристики не будут предоставлены, то произойдут потери в скорости производства и качестве продукции. Многие предприятия, внедряя экзоскелетные системы, ошибочно отдают предпочтение пассивным экзоскелетам, которые, несмотря на их экономическую эффективность и простоту в обслуживании, значительно уступают в функциональной гибкости и общей эффективности.

В связи с необходимостью выполнения рабочими монтажных работ с применением тяжёлых инструментов была разработана рука экзоскелета прилегающего типа с применением шаговых двигателей в качестве приводов (см. рис. 1). Так как в диапазон выполняемых движений входит множество задач по удержанию объектов и смене темпа работы, экзоскелет оснащён системой управления, обеспечивающей адаптивную регулировку скоростных параметров и режим удержания объектов, что позволяет оптимизировать производственные процессы. Были предусмотрены режимы активного и пассивного ношения, что поможет повысить удобство перемещения сотрудников в экзоскелете. В связи с характером выполняемых работ,

а также непосредственным контактом устройства с человеческой рукой, была продумана разрешённая область движений (см. рис. 2), при которых не будет нарушаться естественный характер движений человека. Реализована система аварийного переключения в пассивный режим, обеспечивающая безопасное высвобождение оператора и предотвращение потенциальных ошибок управления.

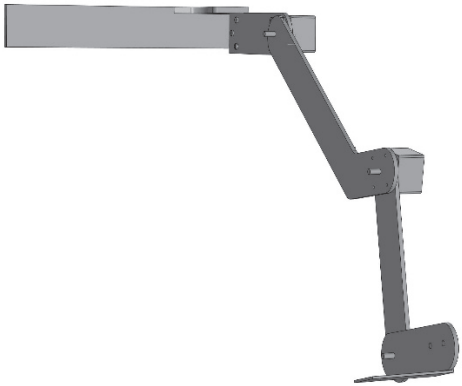


Рисунок 1 — Рука экзоскелета с креплением на спину

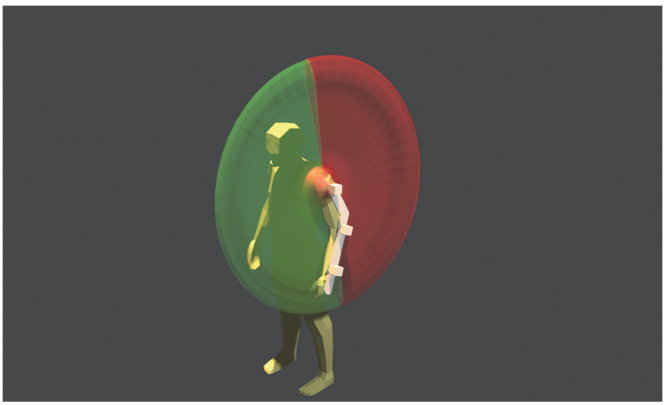


Рисунок 2 — Области разрешённых и неразрешённых позиций

Разработанная экзоскелетная система демонстрирует широкий спектр функций, связанных с производственными задачами, и имеет

ряд преимуществ в управляемости по сравнению с существующими аналогами и может стать бюджетным помощником для работников.

В перспективе планируется доработка конструкции для расширения диапазона сгибательных движений и повышения точности позиционирования манипулятора, а также внедрение сенсоров ЭМГ для более точного отслеживания двигательной активности оператора. А также дальнейшая проработка системы безопасности движений и аварийных случаев на производстве.

Алгоритм распределения задач в последовательной производственной цепочке на основе диффузионного алгоритма

Д.Н. Воронцов
Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический Университет (СПбГМТУ), Санкт-Петербург, Россия, dn.voronzov@mail.ru

Благодарности
Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации программы Научного центра мирового уровня по направлению «Передовые цифровые технологии»V СПбГМТУ (соглашение от 20.04.2022 № 075-15-2022-312).

An algorithm for distributing tasks in a sequential production chain based on a diffusion algorithm

Dmitry N. Voronzov
St. Petersburg State Marine Technical University (SPbSMTU), St. Petersburg, Russia, dn.voronzov@mail.ru

Acknowledgements
The research was carried out with the financial support of the Ministry of Education and Science of Russia within the framework of the implementation of the programme of the World-class Scientific Centre in the direction of «Advanced Digital Technologies» of SPbSMTU (agreement from 20.04.2022 № 075-15-2022-312).

При использовании роботизированных конвейерных линий возникает проблема оптимизации производственных мощностей, связанная с несоответствием номинальных характеристик роботов-манипуляторов их реальной работе, из-за чего теоретически оптимальное производство может не совпадать с реальной картиной событий [1].

Современные системы мониторинга позволяют определять загруженность оборудования и давать рекомендации человеку-оператору по оптимизации процесса [2], однако это сопряжено с повышенным риском и задержками при принятии решений из-за человеческого фактора.

Распределение задач осуществляется на основе диффузионного алгоритма [3,4] в параллельных вычислительных схемах, ключевым отличием производственного процесса которого является невозможность параллельной обработки объекта, а сами операции должны выполняться в однозначной последовательности.

Диффузионный метод распределения задач позволяет создать универсальный алгоритм неопределенного числа манипуляторов без написания исходного кода для каждой длины цепочки.

Исходя из того, что последовательность задач жестко фиксирована, то при передаче нагрузки с одного манипулятора на другой можно выделить две позиции:

1. Передача нагрузки осуществляется только между соседними манипуляторами;
2. При передаче нагрузки с текущего манипулятора на следующий передается последняя задача в очереди, а в новом манипуляторе она становится первой.

Проверка оптимальности распределения производится по критерию:

$$\max(T_1, T_2) < \max\left(T_{1\,past}, T_{2\,past}\right)$$

где T_1, T_2 – время выполнения задач соседними манипуляторами, $T_{1\,past}, T_{2\,past}$ – значения общего времени выполнения задач до последнего перераспределения.

Данный алгоритм можно масштабировать на цепочку из большого числа манипуляторов, если представить решение глобальной задачи оптимизации как набор локальных задач.

В этом случае распределение нагрузки между двумя манипуляторами не привязано к конкретным порядковым номерам, а представляет собой «плавающее окно», последовательно обходящее все пары манипуляторов (рисунок 1).

Работоспособность алгоритма проверена с использованием результатов моделирования в среде MatLab. В качестве элементарного объекта выбран обобщенный манипулятор со значимыми параметрами в виде списка задач и производительности, заданными для каждого отдельного манипулятора.

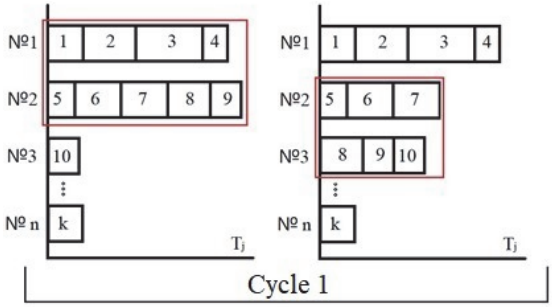


Рисунок 1 — Циклическая оптимизация нагрузки

В качестве контролируемого параметра можно наблюдать выходной процесс на последнем манипуляторе — подсчитывать количество суммарных условных изделий, либо подробно рассматривать графики изменения параметров каждого манипулятора в отдельности, включая: текущую степень завершения операции, номер выполняемой операции, сигнал готовности.

Таблица 1 — Результаты моделирования

Параметр	**Величина**	
Тип системы	**оптимизированная**	**Не оптимизированная**
продукция	14	8
Время простоя, сек.	[1,17,17,122]	[514,554,458,1]

В процессе моделирования (см. табл. 1) были получены результаты, подтверждающие теоретические предположения. Согласно данным Таблицы 4, на моделирование было затрачено 10 000 секунд. Оптимизированная система произвела 14 единиц, а неоптимизированная — 8 единиц.

Причиной такой разницы стало максимальное время простоя оборудования, которое для оптимизированной системы составляет 122 секунды. для локального производственного цикла, а для неоптимизированного - 554 секунды.

Литература

1. Tian M-W, Yan S-R, Mohammadzadeh A, Tavoosi J, Mobayen S, Safdar R, Assawinchaichote W, Vu MT, Zhilenkov A. Stability of Interval Type-3 Fuzzy Controllers for Autonomous Vehicles. Mathematics. 2021; 9(21):2742. https://doi.org/10.3390/math9212742.
2. Istiadi, E. B. Sulistiarini, R. Joegijantoro, A. N. Suksmawati, K. S. Nugroho and I. Akbar, «Expert System Integrated with Medical Record for Infectious Diseases using Certainty Factor», 2022 IEEE International Conference on Cybernetics and Computational Intelligence (CyberneticsCom), Malang, Indonesia, 2022, pp. 451-456, doi: 10.1109/CyberneticsCom55287.2022.9865639.
3. H. Kaiyuan, Y. Xueshun, L. Keyan, J. Dongli, Z. Huiyu and W. Chengzhong, «Non-Intrusive Load Monitoring Based on Data Correlation for Distribution Network», 2021 China International Conference on Electricity Distribution (CICED), Shanghai, China, 2021, pp. 488-483, doi: 10.1109/CICED50259.2021.9556692.
2. A. A. Zhilenkov, D. D. Gilyazov, I. I. Matveev and Y. V. Krishtal, «Power line communication technologies in automated control systems», 2017 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus), St. Petersburg and Moscow, Russia, 2017, pp. 246-249, doi: 10.1109/EIConRus.2017.7910539.

Траекторное планирование движения при резервировании контуров управления пятизвенным манипулятором параллельной структуры

К.В. Гриценко

Санкт-Петербургский Государственный Морской Технический Университет (СПБГМТУ), Санкт-Петербург, Россия, kristya1808@mail.ru

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации программы «Приоритет 2030».

Trajectory motion planning with redundant control loops for a five-link manipulator of parallel structure

Kristina V. Gritsenko
Saint-Petersburg State Marime Technical University (SMTU), St. Petersburg, Russia, kristya1808@mail.ru

Acknowledgements
Ministry of Education and Science of Russia within the framework of the strategic academic leadership program «Priority-2030».

Траекторное планирование движения пятизвенного манипулятора параллельной структуры в условиях сингулярностей является сложной задачей, требующей применения специальных методов и алгоритмов, так как в отличие от манипуляторов последовательной кинематики существуют сложности моделирования рабочего пространства при построении траектории движения в заданном конфигурационном пространстве. Области сингулярности возникают, когда определенные конфигурации манипулятора приводят к потере полной подвижности системы [1].

Для эффективного планирования траекторий в условиях сингулярностей применяются следующие подходы:

1. Избегание сингулярных конфигураций: при планировании траектории: следует избегать точек, в которых возможна сингулярность. Для этого можно использовать методы, анализирующие конфигурацию манипулятора и предсказывающие возможные сингулярности (аппроксимация рабочего пространства, нормализация детерминанта Якобиана).
2. Мягкое переключение между конфигурациями: при нахождении точки близкой к сингулярности. Планирование траектории происходит таким образом, что манипулятор проходит через эту точку с минимальными возмущениями и огибает ее.
3. Оптимизация траектории: применение алгоритмов оптимизации траектории в условиях сингулярностей может помочь уменьшить степень сингулярности и повысить эффективность движения манипулятора. Эти методы направлены на поиск оптимальной траектории движения манипулятора, учитывающей его кинематические и динамические характеристики. Примеры таких методов включают в себя генетические алгоритмы, алгоритмы имитации отжига, методы оптимизации на основе градиента и другие.

4. Использование нескольких решений: разработка нескольких альтернативных траекторий и переключение между ними в зависимости от сингулярности может обеспечить более стабильное и эффективное движение манипулятора.

5. Применение динамического моделирования: использование динамической модели манипулятора позволяет учесть влияние инерционных сил и моментов на движение системы, что может помочь предотвратить сингулярности (см. рис. 1) [2].

Применение указанных подходов в сочетании с современными методами планирования движения может значительно улучшить качество и эффективность работы пятизвенного манипулятора параллельной структуры в условиях сингулярностей.

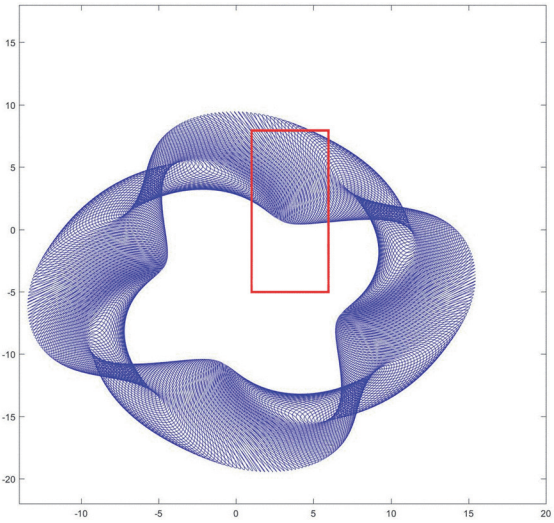


Рисунок 1 — Траекторное планирование движение пятизвенного манипулятора

При моделировании планирования траектории движения манипулятора задана математическая модель и параметры пятизвенного манипулятора. Производим генерацию лога сингулярностей в массиве. Далее рассчитываем абсолютное значение шага, измеренное от нуля. его необходимо преобразовать в относительный шаг от точки к точке. Проверяем, находятся ли сингулярности вблизи каких-либо точек на пути ху. Для каждой точки на пути необходимо проверить каждую сингулярность. Далее осуществляется контроль искажений

по абсолютным углам. Соответственно используются алгоритмы оптимизации и динамического моделирования, что дает результат по спину и другим параметрам моделирования (см. рис. 1) [3].

Траекторное планирование движения манипуляторов параллельной структуры является важной задачей в робототехнике, поскольку такие системы обладают высокой жесткостью, точностью и скоростью работы. Однако, одним из ключевых вызовов в проектировании и управлении этими манипуляторами являются сингулярности — состояния, при которых система теряет управляемость или устойчивость. Для эффективного траекторного планирования необходимо разрабатывать методы, которые позволяют либо избегать сингулярных конфигураций, либо минимизировать их влияние на работу системы. Одним из подходов является использование обратной кинематики для предсказания возникновения сингулярных состояний и корректировки траектории движения [4].

Также применяются методы оптимизации траекторий, направленные на минимизацию попадания в сингулярные зоны. Например, использование регуляризации задач оптимизации позволяет смягчить влияние сингулярностей, распределяя нагрузки более равномерно и предотвращая резкие скачки в траектории движения. В условиях сингулярностей возникают значительные проблемы с точностью выполнения задач и возможностью повреждения оборудования, что делает критически важным разработку эффективных методов траекторного планирования, учитывающих эти особенности [5].

Литература

1. Ivanov and K. V. Gritsenko, "Kinematic Analysis of a Five-link Parallel Manipulator," 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), Saint Petersburg, Russian Federation, pp. 666-669, 2022.

2. Gritsenko, «Problems of Trajectory Planning in Manipulators with Parallel Kinematics», 2023 Seminar on Information Computing and Processing (ICP), Saint Petersburg, Russian Federation, , pp. 76-79, 2023.

3. D. Zlatanov, R.G. Fenton, B.Benhabib., Singularity analysis of mechanisms and robots via a velocity-equation model of the instantaneous kinematics. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 986–991, 1994.

4. Nonsingular Integral-Type Dynamic Finite-Time Synchronization for Hyper-Chaotic Systems / K. A. Alattas, J. Mostafaee, S. Mobayen [et al.] // Mathematics. – 2022. – Vol. 10, No. 1. – DOI 10.3390/math10010115. – EDN ZDBGGV.

5. Karpov, A. D. Designing the platform for monitoring and visualization orientation in Euler angles / A. D. Karpov, A. A. Zhilenkov // Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, ElConRus 2017, St. Petersburg, 01–03 февраля 2017 года. – St. Petersburg, 2017. – P. 301-305. – DOI 10.1109/EIConRus.2017.7910551. – EDN XMZGNY.

Разработка оптической системы с вынесенным входным зрачком для высокотемпературной камеры технического зрения

Т.Н. Шемигон, А.И. Михайловский, Б.Н. Добряков
Акционерное общество «Научно-исследовательский институт телевидения» (АО «НИИ телевидения»), Санкт-Петербург, Россия, t.shemigon@niitv.ru, a.mihailovsky@niitv.ru

Development of an optical system with a remote entrance pupil for a high-temperature machine vision camera

Tatyana N. Shemigon, Arthur I. Mihailovsky, Boris N. Dobrykov
Joint-Stock Company «Research Institute of Television« (JSC «Research Institute of Television»), St. Petersburg, Russia, t.shemigon@niitv.ru, a.mihailovsky@niitv.ru

Оптические системы с вынесенным входным зрачком (далее – объектив) широко используются в составе теплостойких приборов [1]. Разработан объектив для жаростойких телевизионных систем (ЖТС), способных работать при экстремальных температурах до +1800°С. Оптическая схема объектива с ходом лучей представлена на рисунке 1 [2].

На базе ЖТС объектив может применяться для следующих задач:

– дистанционный, непрерывный, визуальный мониторинг с функциями измерения высокотемпературных поверхностей и диагностикой состояния механизмов и узлов технологического оборудования при условиях эксплуатации до +1800ºС. Например, происходит контроль за процессами плавления металлов и их сплавов, стекольной массы; пламени горелок, а также состояния внутренних поверхностей высокотемпературных печей;

– обеспечивает выявление раннего износа стен печей для нефтегазовой промышленности;

– бесконтактный контроль состояния оборудования позволяет не подвергать опасности технический персонал и не вредить окружающей среде (нагрев, охлаждение, контакт с продуктами горения, влагой);

– работа в автоматическом режиме позволяет снизить нагрузку на оператора;

– отсутствие аналогов на Российском рынке.

Основные характеристики разработанного объектива представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Основные характеристики объектива

Наименование характеристики	Обозначение	Значение
Фокусное расстояние, мм	f′	–13,00
Угловое поле зрения (по диагонали) в пространстве предметов, град.	2ω	55°
Диаметр входного зрачка, мм	D	2,00
Общая длина оптической системы, мм	$L_{общ}$	150,6

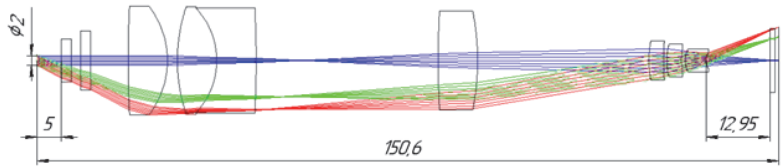


Рисунок 1 — Оптическая схема объектива

Разработанный объектив работает следующим образом: световой поток от бесконечно удаленного объекта последовательно проходит через входной зрачок объектива, которым является апертурная диафрагма, далее проходит оптические элементы, после чего формируется изображение в фокальной плоскости, которая совмещена с плоскостью светочувствительного слоя матричного фотоприемного устройства [3]. Уникальность разработанного объектива состоит в увеличенном выносе входного зрачка с сохранением высокого качества оптического изображения, отсутствии дисторсии и улучшенной технологичности за счет минимизации номенклатуры марок бесцветного оптического стекла.

Изготовлен опытный образец объектива с вынесенным входным зрачком, который используется в ЖТС, также разработанной в АО «НИИ телевидения». Проведены испытания в горно-металлургической компании. Оборудование полностью подтвердило заложенные в техническом задании и предъявляемые заказчиками требования к изделию. Помимо металлургии, данная оптическая система может использоваться на химических и стекольных производствах.

Объектив с вынесенным входным зрачком для высокотемпературной камеры технического зрения может также использоваться на промышленных и ядерных объектах с целью повышения безопасности и эффективности. Имеется подтвержденный документально результат интеллектуально деятельности патент N 2820282 Российская Федерация, МПК G02B 15/16 (2006.01). Объектив с вынесенным входным зрачком для ближней ИК области спектра (варианты) : N 2023133932 :заявл. 14.12.2023 : опубликовано 03.06.2024 / Шемигон Т. Н., Михайловский А. И., Добряков Б. Н., Зимин В.А. ; заявитель АО «НИИ телевидения». - 11 с.

Литература

1. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа — М. : Логос, 2004. — 443 с.

2. Слюсарев Г. Г. Расчет оптических систем — Л. : «Машиностроение», 1995. — 640 с.

3. Патент N 2820282 Российская Федерация, МПК G02B 15/16 (2006.01). Объектив с вынесенным входным зрачком для ближней ИК области спектра (варианты) : N 2023133932:заявл. 14.12.2023 : опубликовано 03.06.2024 / Шемигон Т. Н., Михайловский А. И., Добряков Б. Н., Зимин В.А. ; заявитель АО «НИИ телевидения». - 11 с. : ил. - Текст : непосредственный.

Использование оптической обратной связи для увеличения точности робота-манипулятора

Ю.С. Шарыченкова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва (Самарский университет), г. Самара, Россия,
sarycenkovaulia@gmail.com

The use of optical feedback to improve the accuracy of a robotic arm

Julia S. Sharychenkova
Samara National Research University named after Academician S.P. Korolev (Samara University), Samara, Russia, sarycenkovaulia@gmail.com

Одной из основных тенденций в области робототехники является активное использование алгоритмов компьютерного зрения для решения тех или иных задач [1, 2]. Одной из таких задач является повышение статической точности позиционирования рабочего инструмента роботов-манипуляторов [3, 4, 5]. Для решений этой задачи может использоваться оптическая обратная связь. Такой подход позволяет повысить точность позиционирования рабочего инструмента робота-манипулятора, не прибегая к изменению конфигурации самого робота-манипулятора (замена приводов и т.п.). Решить эту задачу позволяет использование стереокамеры и алгоритмов компьютерного зрения (рисунок 1): используя стереокамеру можно определить координаты специального маркера, размещенного на роботе-манипуляторе. Далее зная расстояние между маркером и рабочим инструментов робота-манипулятора вычисляются действительные координаты рабочего инструмента и сравниваются с заданными. Если заданное местоположение рабочего инструмента не равно действительному, то происходит корректировка метаположения.

Анализ существующих работ [4, 5] показал, что на систему могут значительно влиять температурные показатели, вибрационные помехи, расстояние между камерой и рабочим инструментом, разрешающая способность камеры.

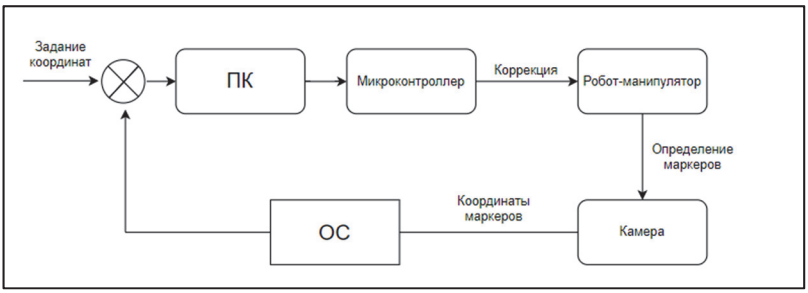


Рисунок 1 — Схема робота-манипулятора с оптической обратной связью

Экспериментальное исследование включает в себя следующие этапы:

1. Подбор компонентов и разработка электрической схемы управления электроприводами;
2. Создание 3D модели робота-манипулятора для дальнейшей симуляции;
3. Разработка кинематической схемы манипулятора и решение обратной задачи кинематики;
4. Разработка алгоритма распознавания маркера и вычисления текущего местоположения рабочего инструмента робота-манипулятора;
5. Проведение имитационного исследования в симуляторе Gazebo ROS;
6. Эксперимент на реальной модели робота-манипулятора.

В качестве электроприводов используются коллекторные двигатели с магнитным энкодером на основе датчика Холла. Для управления двигателем используется драйвер, построенный по схеме H-моста. Программа, исполняемая микроконтроллером, представляет из себя код реализующий ПИД-регулятор, а также решатель обратной задачи кинематики.

3D модель робота-манипулятора была спроектирована в пакете Autodesk Fusion [7]. Были разработаны модели отдельных сочленений, двигателей, редукторов.

Для описания кинематики робота используется метод Денавита-Хартенберга [8]. Согласно этому методу необходимо формировать однородные матрицы преобразования размерности 4×4, описывающие положение системы координат каждого звена относительно системы координат предыдущего звена (каждое звено имеет свою систему координат). Метод позволяет последовательно преобразовать координаты рабочего инструмента в базовую систему отсчета [8].

Используемый алгоритм распознавания маркера можно описать следующим образом. По умолчанию изображение сохраняется в формате RGB, но для удобства последующего использования и обработки необходимо перевести его в формат HSV. Формат HSV используется для цветового кодирования глубины. Более близкие объекты имеют высокую насыщенность, а дальние объекты низкую насыщенность. На маркер накладывается маска, чтобы выделить маркер на общем фоне изображения.

На первом этапе необходимо определить координаты маркера относительно оси x и оси y. После этого необходимо полученные координаты перевести из системы координат камеры в систему координат робота-манипулятора.

Далее необходимо найти координату по оси Z. Это можно сделать, используя вторую камеру, расположенную фронтально, либо с использованием стереокамеры, которая, используя свойства стереометрии и свойство диспаратности, определяет глубину (расстояние от камеры до точки) [9].

В дальнейшем исследовании будет проведено имитационное моделирование в симуляторе Gazebo, а также натурный эксперимент на модели, которые позволят установить точность позиционирования рабочего инструмента робота-манипулятора с системой оптической обратной связи.

Данная система может быть использоваться в технологии лазерной резки, инкрементальной штамповки. Система точного позиционирования также может активно использоваться в хирургии.

Литература

1. New trends on computer vision applied to mobile robot localization / Antonio Savio Silva Oliveira, Marcello Carvalho dos Reis, Francisco Alan Xavier da Mota, Maria Elisa Marciano Martinez, Auzuir Ripardo Alexandria. - DOI 10.1016/j.iotcps.2022.05.002 // New trends on computer vision applied to mobile robot localization. – 2021. – Vol. 2. – p. 63-69. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667345222000128 (дата обращения: 01.09.2024).

2. Machine learning meets advanced robotic manipulation / Saeid Nahavandi, Roohallah Alizadehsani, Darius Nahavandi, Chee Peng Lim, Kevin Kelly, Fernando Bello. - DOI 10.1016/ j.inffus.2023.102221// Information Fusion. – 2024. – Vol. 105. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1566253523005377 (дата обращения: 01.09.2024).

3. Определение положения рабочего инструмента робота-манипулятора с помощью камеры и машинного зрения / Е.А. Рублева, А.Б. Мудрич — DOI: 10.60797/IRJ.2024.143.156 // Международный научно-исследовательский журнал. — 2024. — №5 (143) S. — URL: https://research-journal.org/archive/5-143-2024-may/10.60797/IRJ.2024.143.156 (дата обращения: 01.09.2024).

2. Implementation of a Stereo vision based system for visual feedback control of Robotic Arm for space manipulations / Sangeetha G.R, Nishank Kumar, Hari P.R., Sasikumar S. - DOI

10.1016/j.iotcps.2022.05.002 // New trends on computer vision applied to mobile robot localization. – 2018. – Vol. 133. – p. 1066-1073. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050918309761 (дата обращения: 01.09.2024).

3. Robotic Arm Control Algorithm Based on Stereo Vision Using RoboRealm Vision / Roland Szabo, Aurel Gontean. - DOI 10.4316/AECE.2015.02009 // Procedia Computer Science. – 2018. – Vol. 133. – p. 1066-1073. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050918309761 (дата обращения: 01.09.2024).

4. Gazebo (Robot simulation): documentation for Gazebo. — USA. — URL: https://gazebosim.org/ (дата обращения: 01.09.2024).

5. Autodesk Fusion: documentation for Autodesk Fusion. — USA. — URL: https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription (дата обращения: 01.09.2024).

6. Борисов О.И. Методы управления робототехническими приложениями: учебное пособие / О.И. Борисов, В.С. Громов, А.А. Пыркин. — Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2016. — 110 с.

7. Stereo Camera Depth Estimation With OpenCV (Python/C++) // LearnOpenCV blog. — USA. — URL: https://learnopencv.com/depth-perception-using-stereo-camera-python-c/ (дата обращения: 01.09.2024).

Вопросы проектирования электроприводов робототехнических систем

В.Е. Вавилов, Р.Р. Уразбахтин✉

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий» (ФГБОУ ВО «УУНиТ»), г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия, urr98@mail.ru

Design issues of electric drives for robotic systems

Vyacheslav V. Vavilov, Ruslan R. Urazbakhtin✉

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa University of Science and Technology» (FSBEI HE «UUST»), Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia, urr98@mail.ru

В настоящее время активно ведется проектирование и разработка робототехнических систем, в роли исполнительных механизмов, в которых зачастую выступают высокомоментные приводы. Гидравлические высокомоментные электроприводы отличаются хорошим сопротивлением импульсным нагрузкам, позволяют обеспечить гибкость перемещений. При этом их эффективность невысока при работе при постоянном моменте, недостатками являются высокие масса и габариты, вероятность утечек рабочей жидкости [1].

Сопоставимые с гидравлическими приводами характеристики показывают высокомоментные электроприводы, которые в связи с малыми размерами и питанием электрическим током широко применяются в робототехнических системах.

Высокомоментные электроприводы обычно состоят из электрического двигателя (ЭД), системы управления (СУ) и редукторы. Такой состав позволяет проектировать электроприводы компактными и обладающими невысокой массой. Управление электропривода за счет изменения величины электрического тока позволяет гибко регулировать его момент.

При проектировании электропривода важной задачей является нахождение баланса между выходным моментом и частотой вращения электропривода, что определяется передаточным числом редуктора. Электропривода с редукторами с высоким передаточным числом оснащаются низкомоментными ЭД, имеют недостатки в виде сложности редуктора и высоких потерь в нем. В псевдо-прямых электроприводах ЭД выполняется на достаточно высокий момент, при этом редуктор выполняется с невысоким передаточным числом. Это повышает требования к ЭД. Перспективным направлением является разработка безредукторных электроприводов, применение которых сейчас ограничено удельной мощностью ЭД и СУ. Известны конструкции электроприводов, в которых для повышения момента используются два ЭД – один для вращения солнечной шестерни планетарного редуктора, другой – для кольцевой шестерни [2]. При таком подходе требуют решения вопросы синхронизации работы и позиционирования ЭД, усложняется СУ.

С точки зрения ЭД электропривода важны обеспечение высокой плотности крутящего момента и минимизации пульсаций крутящего момента. Удовлетворить обозначенным требованиям возможно в случае применения ЭД с постоянными магнитами (ПМ), причем, по опыту авторов, высокая плотность крутящего момента достигается у ЭД с ПМ с поверхностным расположением ПМ. Механическая ха-

рактеристика ЭМ с ПМ с частотой вращения до 1500 об/мин, выходным моментом до 20,5 Н·м и массой активной части не более 1,35 кг для электропривода, разработанного ПИШ «Моторы Будущего» ФГБОУ ВО «УУНиТ», приведены на рис. 1 и рис. 2 соответственно.

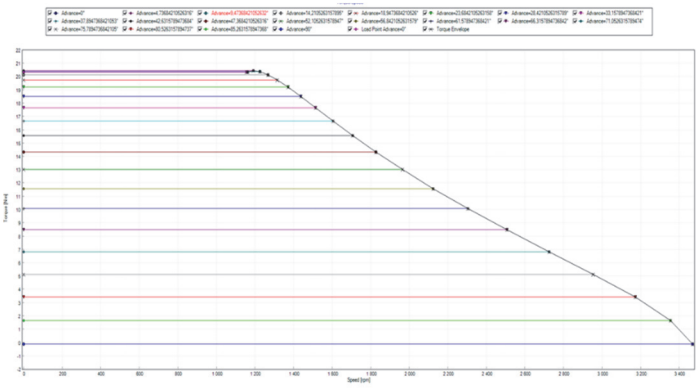


Рисунок 1 — Механическая характеристика ЭМ с ПМ для электропривода

Диаметр разработанного ЭД не превышает 140 мм, активная длина – 20 мм. Важно отметить, что длительный максимальный момент зависит от охлаждения электродвигателя и определяется преимущественно максимальными допустимыми длительными рабочими температурами обмоточного провода и ПМ. Для ЭД электроприводов актуальна задача оптимизации ЭД.

СУ преимущественно представляют собой инверторы, реализующие векторный алгоритм управления на основании информации от датчика положения ротора ЭД. От эффективности управления ЭД существенно зависит эффективность электропривода в целом.

С точки зрения редуктора важна задача обеспечения необходимого момента при соблюдении требований прочности. Для обеспечения плавности работы и минимизации шумов актуально выполнение косозубых редукторов. При проектировании редукторов важными задачами являются выбор модуля и коэффициентов смещений зубчатых колес. При выполнении научно-исследовательских работ сложность представляет изготовление опытных образцов редукторов, так как зачастую требуется настройка оборудования при их изготовлении и выполнение оснасток как под серийное производство. При создании редукторов важно принимать меры для максимизации их КПД.

Особенностью применения электроприводов в робототехнических системах является вероятность воздействия на них резко возникающих нагрузок, вызываемых ударами, высокой скоростью выполнения перемещений и т.д. Также важной задачей является управление распределением тепла электроприводов. Для повышения их выходного момента в некоторых случаях возможно применение жидкостного охлаждения. Однако, для автономных робототехнических систем и робототехнических систем, масса которых жестко ограничена, требуется решение задачи управления распределения тепла с ограничениями на теплообмен за счет конвекции и теплопередачи между контактирующими деталями и сборочными единицами.

Будущие работы ПИШ «Моторы Будущего» ФГБОУ ВО «УУНиТ» будут направлены на исследования и разработки в области ЭД и редукторов электроприводов вместе с СУ. По результатам работ планируется формирование методологий создания электроприводов робототехнических систем.

Литература

1. Meng F. et al. Explosive electric actuator and control for legged robots //Engineering. – 2022. – Vol. 12. – P. 39-47.

2. Verstraten T. et al. A hopping robot driven by a series elastic dual-motor actuator //IEEE Robotics and Automation Letters. – 2019. – Vol. 4. – №. 3. – P. 2310-2316.

Топологическая оптимизация экзоскелетного каркаса

И.С. Барынкин✉

Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, ivan.barynkin08@gmail.com

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России 2024 года № 075-00697-24-01 1021101316102-1-2.2.2 «Промышленный экзоскелетный комплекс с активными приводами и пассивными элементами разгрузки для повышения функциональных возможностей оператора при работе с тяжелым инструментом» (FNRG-2022-0020).

Topological optimization of the exoskeletal frame

Ivan S. Barynkin✉
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), St. Petersburg, Russia, ivan.barynkin08@gmail.com

Acknowledgements
The results were obtained within the framework of the state task of Russian Ministry of Education and Science in 2024 № 075-00697-24-01 1021101316102-1-2.2.2 «Industrial exoskeleton with active drives and passive unloading elements for increasing the functionality of the operator during working with heavy tools» (FNRG-2022-0020).

В настоящее время одним из важнейших направлений развития экзоскелетных конструкций является снижение массы устройств. Снижение массы способствует увеличению времени автономной работы активного экзоскелета, а также упрощает транспортировку изделия. В данной работе для снижения массы конкретного экзоскелетного каркаса (рисунок 1) предлагается использовать топологическую оптимизацию – метод, меняющий расположение материала в заданном проектном пространстве при заданных нагрузках, с целью снижения массы компонента без существенной потери прочностных свойств.

Рисунок 1 — Оптимизируемый каркас активного экзоскелета

В качестве внешних нагрузок выступают усилия и реакции, действующие в шарнирных соединениях между сегментами экзоскелетного каркаса. Заметно их явное циклическое изменение в процессе ходьбы. Материалом изготовления каркаса является сплав Д16Т, свойства которого использовались при проведении оптимизации в CAE комплексе Altair Optistruct.

В результате проведенной оптимизации (рисунок 2) удалось снизить массу как каждого узла конструкции, так и итоговую массу сборки.

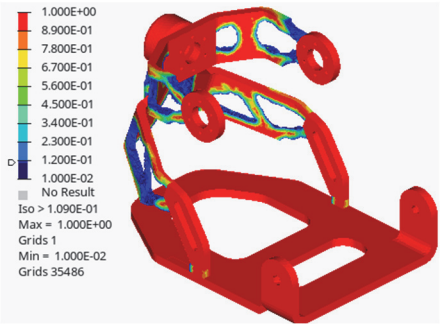


Рисунок 2 — Результаты оптимизации узла стопы

Изменение массы каркаса составило 892 грамма, около 8% от общего веса. По найденным полям напряжений в материале, а именно по минимумам и максимумам, был оценен примерный ресурс узлов экзоскелетного каркаса.

Полученные результаты позволяют судить о важности учета циклического характера нагружения при прочностном расчете экзоскелетных устройств.

Проектирование захватного устройства с силовым очувствлением

Д.О. Дохов✉, Н.В. Заруцкий, Е.В. Касимцева

Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, d.dohov@rtc.ru

Благодарности
Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России 2024 года № 075-00697-24-01 1021051302301-9-2.2.2 «Разработка коллаборативного робота с ассистирующей двурукой антропоморфной манипуляционной системой для работы в пространствах малого объема» (FNRG-2022-0012).

Design of a force-sensing gripping device

Daniil O. Dokhov✉, Nikolay V. Zarutskii,
Evgenia V. Kasimtseva
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), St. Petersburg, Russia, d.dohov@rtc.ru

Acknowledgements
The results were obtained within the framework of the state task of Russian Ministry of Education and Science in 2023 № 075-00697-24-01 1021051302301-9-2.2.2 «Development of a collaborative robot with an assisting two-armed anthropomorphic manipulation system for working in small spaces» (FNRG-2022-0012).

При разработке захватных устройств дистанционно управляемых манипуляционных систем для работы в ограниченных пространствах малого объёма с объектами манипулирования различных форм существует классическая проблема наличия взаимоисключающих требований: обеспечения компактности и увеличения развиваемых усилий.

Простым примером решаемой задачи является перекладывание соразмерных с захватным устройством предметов из одного тесного ящика в другой.

Специфика задачи предполагает сложную кинематику для адаптации к любой форме захватываемого объекта. В данной работе рассмотрена антропоморфная трёхпалая кинематика, так как она отлично себя зарекомендовала для решения подобных задач при минимальных габаритах [1]. Для повышения качества принимаемых оператором решений при дистанционном управлении в конструкцию захватного устройства включены датчики давления, располагаемые на подушечках пальцев.

Управлять антропоморфной кинематикой для оператора проще всего через копирующее управление со схожей кинематикой задающего устройства. Несмотря на то, что пальцев исполнительной кисти три, принято решение воспользоваться готовой сенсорной перчаткой с пятью пальцами. Перчатка оснащена инфракрасным устройством отслеживания положения ладони в пространстве, а также инерциальными датчиками, отслеживающими положение пальцев относительно центра ладони.

Ощущения с подушечек передаются оператору через вибромоторы на управляющей перчатке. Эта информация позволит оператору осуществлять манипуляции с хрупкими объектами, снизив риск их повреждения.

Целью работы является получение компромиссной конструкции захватного устройства, способного не только захватить объект манипулирования, но и передать оператору, управляющему системой, качественные данные об усилиях, оказываемых на объект.

Кроме расчёта сил, оказываемых на объект, были рассчитаны прочностные характеристики, результаты которых во многом и определили габарит конструкции. Были проведены прочностные расчеты элементов пальца захватного устройства: миниатюрного редуктора, пары винт-гайка и рычажной системы на основе антипараллелограмма.

На рисунке 1 представлены захваты объекта цилиндрической формы разработанным захватным устройством и человеческой кистью [2].

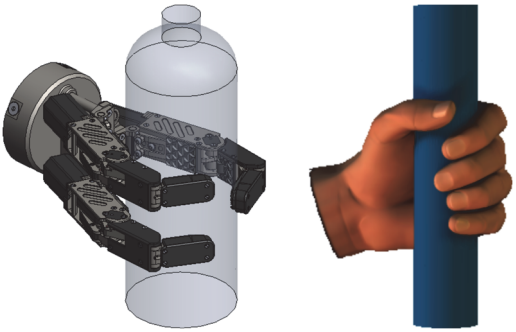


Рисунок 1 — Захватное устройство и кисть человека, удерживающие объект цилиндрической формы

Литература

1. Дохов, Д.О. Проблемы создания манипуляционных систем для пространства малого объема / Д.О. Дохов, А.Н. Тимофеев // Наука и бизнес: пути развития. – № 12(150). – 2023. – С. 97-103.
2. Feix, T. The GRASP Taxonomy of Human Grasp Types / T. Feix, J. Romero, H. -B. Schmiedmayer, A. M. Dollar, D. Kragic // IEEE Transactions on Human-Machine Systems. – Vol. 46. – No. 1. – 2016. – Pp. 66-77. – DOI 10.1109/THMS.2015.2470657.

Реверсионное конструирование оптимальных управлений движением объектов

А.И. Бохонский, Н.И. Варминская✉

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Черноморское высшее военно-морское орденов Нахимова и Красной Звезды училище имени П.С. Нахимова» Министерства обороны Российской Федерации (ЧВВМУ), г. Севастополь, Россия, nvarminska@gmail.com

Reversive designing of objects optimal motion controls

Alexander I. Bokhonsky, Natalja I. Varminskaya✉

Federal State Treasury Military Educational Institution of Higher Professional Education «Black Sea Higher Naval Orders of Nakhimov and the Red Star School named after P.S. Nakhimov» of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Sevastopol, nvarminska@gmail.com

Представляют интерес задачи конструирования оптимальных управлений движением объектов конечной жесткости с использованием алгоритма решения полной обратной задачи вариационного исчисления. Дано сравнение примеров реверсионно конструируемых оптимальных управлений типа «разгон-торможение» движением объекта с известным классическим управлением (полученным вариационным методом) с использованием различных критериев.

Представлен алгоритм эквивалентной замены конструируемого оптимального управления другим управлением при условии равенства энергий для достижения цели движения; полученные графики

подтверждают достижение цели движения – нового состояния покоя; при этом характер управления (ускорения) меняется таким образом, что может упростить его практическую реализацию.

Показано, что с ростом степени полинома, аппроксимирующего переносное ускорение, не только снижается энергия для практической реализации эквивалентного ему управления типа «разгон-торможение», но и (при заданной частоте свободных колебаний перемещаемого упругого объекта) не исключается уменьшение времени достижения абсолютного покоя.

В работах [1-3] на ряде примеров показано, что применение реверсионного принципа оптимальности), основанного на решении полной обратной задачи вариационного исчисления (без предварительного задания критерия оптимальности – от заданного полинома ускорения до уравнения Эйлера и восстановления функционала-критерия), приводит в ряде случаев при достижении поставленной цели движения к существенной экономии энергетических затрат.

С использованием полиномов для переносных ускорений (управлений), краевых условий и условий косой симметрии управлений типа «разгон-торможение» при заданном времени и расстоянии достигается состояние абсолютного либо относительного покоя. Если перемещается упругий объект, то время движения находится из моментных соотношений в относительном движении как общих корней системы трансцендентных уравнений.

За счет увеличения степени задаваемого полинома оптимального перемещения возможно дальнейшее уточнение характера поведения объекта при эквивалентном управлении; показано, что по сравнению с известным классическим управлением уточненное управление по внешнему виду отличается от классического, но цель движения достигается при экономии энергии (до 25 %).

Численные эксперименты подтверждают снижение минимального времени достижения состояния покоя упругой системы (например, как одного из общих корней моментных соотношений в относительном движении) с ростом степени полинома оптимального переносного ускорения и параллельным уменьшением действия (в форме Лагранжа).

Литература

1. Бохонский А.И. Энергоемкость управления перемещением объектов // Фундаментальные основы механики / Материалы международной научно-практической конференции. Новокузнецк: НИЦ МС, 2017. С. 38 – 41.

2. Бохонский А.И., Варминская Н.И., Рыжков А.И. Конструирование оптимального управления движения объектов как абсолютно твердых и деформируемых тел // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. Орел: НИЦ МС, 2016. С. 70 – 76.

3. Бохонский А.И., Варминская Н.И., Рыжков А.И. Снижение энергетического принуждения при эквивалентном оптимальном управлении движением объекта // Журнал передовых исследований в области естествознания. С-Пб.: НИЦ МС, 2022. С. 24 – 30.

Особенность взаимодействия информационных систем на предприятии по разработке и производству наземных роботехнических комплексов

И.Б. Прямицын[1], А.В. Ермолаев[2]

[1]Государственный научный центр Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК), Санкт-Петербург, Россия, pib@rtc.ru

[2]ООО СТ, Санкт-Петербург, Россия, ae@gc-st.ru

Features of the interaction of information systems at an enterprise for the development and production of ground-based robotic systems

Igor B. Pryamitsyn[1], Andrey V. Ermolaev[2]

[1]Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics, St. Petersburg, Russia, pib@rtc.ru

[2]LLC ST, St. Petersburg. Russia, ae@gc-st.ru

Особенностью современных робототехнических устройств является наличие широкой номенклатуры и сжатых сроков изготовления, которые требуют постоянную актуализацию при каждом запуске на производство.

Применение систем PLM при подготовке производства сложных изделий, позволяет в значительной мере упростить управление жизненным циклом (ЖЦ) за счет получения достоверной информации о его развитии.

Внедряемое ПО на производственных предприятиях можно рассматривать в иерархии информационной системы от создания до потребления данных (информации). На каждом этапе и в каждом подразделение специфичные данные аккумулируются и масштабируются в электронной структуре изделия, получая информационную модель достоверных данных об изделии («цифрового двойника изделия»).

При наличие своевременно обновляемой электронной структуры изделия, наполнению ее данными об изделии, можно организовать процессы предварительных закупок и запуск изделия на производство на более раннем этапе.

Это укладывается в вектор мирового развития «Индустрия 4.0» — концепция развития «умного производства», предусматривающая, что «умное оборудование» на «умных фабриках» будет самостоятельно передавать и получать необходимую для работы информацию, перенастраивать и оптимизировать производственные мощности.

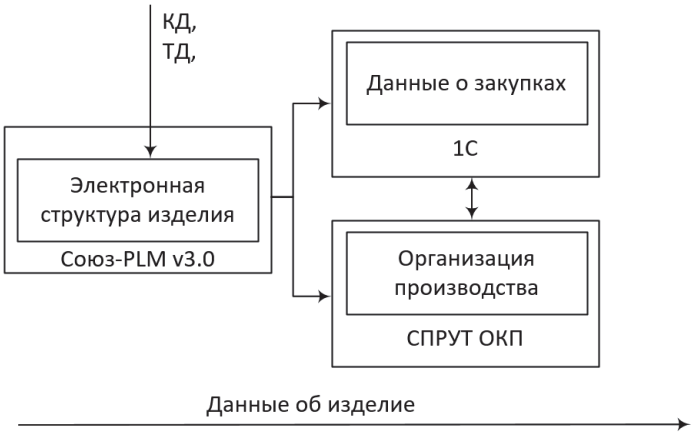


Рисунок 1 — Взаимодействие информационных систем в ЦНИИ РТК

Внедрение концепции «умного производства» на предприятии — сложный, долгий, дорогой, но необходимый процесс, который должен стать частью стратегии развития предприятия.

Внедрение цифровой системы управления производством является одним из ключевых шагов к реализации концепции «Индустрия 4.0».

Таблица 1 — Уровни технологической зрелости производственных предприятий

Уровень технологической зрелости	Уровень внедрения элементов цифровой системы управления предприятием (ЦСУП)
1	Полное отсутствие цифровой системы управления производством
2	Внедрение ЦСУП не носит комплексный характер и характеризуется автоматизацией ряда базовых составляющих, таких как кадры, бухгалтерия, разработка конструкторской документации и т. д.
3	Средняя степень внедрения ЦСУП. Бумажный и электронный документооборот осуществляются параллельно в связи с недостаточной достоверностью последнего
4	Высокая степень внедрения ЦСУП. Информационные потоки предприятия полностью переведены в единую цифровую систему. Решения руководителями принимаются на основании оперативной и достоверной информации, полученной из ЦСУП
5	Полное внедрение оперативного цифрового управления производством. Присутствует автоматизация принятия управленческих решений на основании получаемой в режиме реального времени информации о ходе производства

Повышение уровня производственно-технологической зрелости и реализацию концепции «Индустрии 4.0» в разрезе внедрения информационных систем можно разделить на пять основных этапов (таб. 2).

Таблица 2 — Этапы реализации концепции «Индустрия 4.0» на промышленном предприятии

№ этапа	Наименование этапа	Внедряемые системы	Примечание
1	Внедрение систем автоматизированной разработки КД и ТД	Системы автоматизированного проектирования (CAD/CAM/CAE)	Обеспечение сквозного проектирования

№ этапа	Наименование этапа	Внедряемые системы	Примечание
2	Внедрение систем электронного документооборота	Системы управления данными об изделии (PLM)	
3	Внедрение ЦСУП на уровне цеха	Система управления производственными процессами (MES)	Обеспечение прослеживаемости, диспетчирования и оперативного планирования в производстве
4	Внедрение ЦСУП на уровне предприятия	Система планирования ресурсов предприятия (ERP)	Решения принимаются руководителями на основании оперативной и достоверной информации, полученной из ЦСУП
5	Интеграция оборудования и ПО в единое информационное пространство по принципам «Индустрии 4.0»	Система «Индустриального Интернета вещей» (IIoT)	Автоматизация принятия управленческих решений на основании получаемой в режиме реального времени информации о ходе производства

Таким образом, построение единой гармоничной информационной системы, в первую очередь, зависит от наличия и достоверности машиночитаемых данных. Электронная структура изделия полноценно выступает в роли «фундамента» для построения полноценного «цифрового двойника» изделия, включая в себя описание изделия от различных специалистов (конструкторов, технологов, норми-

ровщиком, расчетчиков и др.). Базируясь на машиночитаемых данных переход на следующий уровень технологической зрелости предприятия имеет меньшую вероятность наступления рисков потери, искажения и разночтения в данных.

Интеллектуальные методы управления коллаборативным роботом манипулятором

А.П. Сотникова
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «Станкин» (ФГБОУ ВО МГТУ Станкин), Россия, Москва, alisa.s@rusrs.ru

Intelligent control methods for a collaborative robot manipulator

Alisa P. Sotnikova
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Moscow State Technological University «Stankin» (Stankin Moscow State Technical University), Moscow, Russia, alisa.s@rusrs.ru

Современные достижения в области робототехники и искусственного интеллекта позволяют достигать большей автономности роботов для повышения эффективности автоматизации процессов в различных отраслях, от промышленного производства до медицины и домашних служб. Роботы-манипуляторы, получили наиболее широкое распространение в указанных областях, поэтому обладая высокой степенью маневренности и функциональности, находят все более широкое применение в выполнении сложных задач, требующих точности, надежности и адаптивности. Несмотря на значительные успехи в области управления роботами, по-прежнему отмечаются ограничения традиционных подходов, базирующихся на строгих математических моделях и алгоритмах. Управляющие программы, построенные на алгоритмах, не корректируются в режиме реального времени и по ходу выполнения задачи, поэтому спектр решения задач роботом-манипулятором ограничен программой оператора [1].

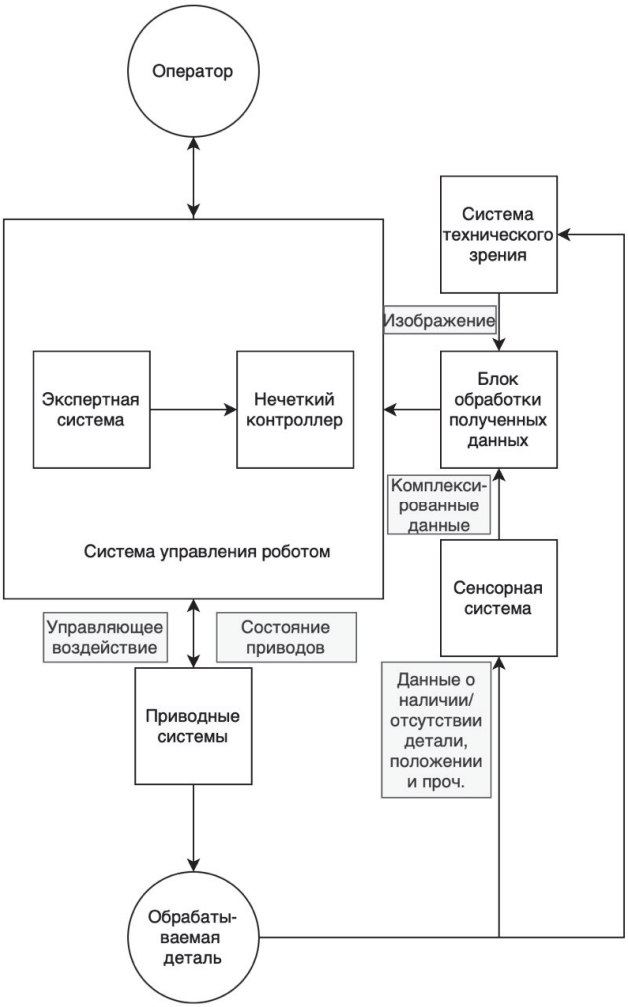


Рисунок 1 — Схема робототехнического комплекса

В этой работе рассматривается использование интеллектуальные методов, применяемых для управления роботом. Нечеткая логика – один из способов обработки массива входных данных для управления приводной системой робота, включающих в себя: данные о номенклатуре и положении детали относительно сервисного робота манипуля-

тора, данные с систем технического зрения о статусе внутренней системы безопасности робота и внешних систем безопасности. Подобного рода система позволит упростить написание и составление управляющих программ для сервисных роботов-манипуляторов, за счет повышенного уровня интеллектуальности в задаче принятия решений.

В рамках проведения работы был собран робототехнический комплекс, схема которого представлена на рисунке 1.

Для примера рассмотрим получение данных о нахождении некой электрической платы относительно заданного пространства для поиска. Ввиду использования недетерминированной средыманипулятор не может точно знать, где объект будет находится, поэтому, прежде чем начать движение идет опрос с внешних источников информации, а конкретно СТЗ (система технического зрения) о местонахождения искомого объекта [2]. Написанный алгоритм осуществляет поиск предмета исходя из заданных параметров, таких как:

1. цвет;
2. ширина;
3. длина;
4. нахождение в искомой области;

После соблюдения всех вышеописанных условий объект будет считаться пригодным для дальнейшего взаимодействия и будет произведен обмен данными между СТЗ и системой управления роботом.

Данное решение позволяет выполнять операции с помощью манипулятора в недетерминированной среде.

Управляющая программа принимает полученные значения координат о нахождении искомой платы и за счет этого вносит изменения в управляющую программу посредством корректировки данных ЛСК (локальной системы координат), ранее заданной оператором. В примере показано смещение сразу относительно нескольких координат [3]. Система проходит обучение по эталонному размещению ЛСК платы относительно искомой области. Пример окна с изменениями представлен на рисунке 2

Таблица 1 — Пример смещения ЛСК

Полученные данные	**Смещение по X-координате**	**Смещение по Y-координате**
Смещение	20.71мм	19.82мм

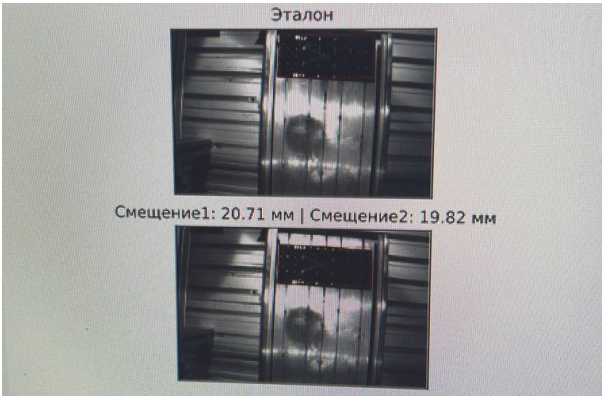


Рисунок 2 — Пример определения объекта по 2 координатам

Проведена апробация изложенного исследования на роботе-манипуляторе, подтверждающая изложенные выше тезисы.

Литература

1. Под ред. Кацухико Нода; Пер. с японского В.В. Потуловой; Под ред. Белянина П.Н, Розина Б.Ш., Даниелевского В.Н. Пособие по применению промышленных роботов [Текст] /Мир // 1975 – с.456.

2. Вазаев А.В., Носков В.П., Рубцов И.В., Цариченко С.Г. Распознавание объектов и типов опорной поверхности по данным компенсированной СТЗ [Текст] / Известия ЮФУ // Технические науки. - - № 2 (175) - С. 129.

3. Малявко А.А., Денисов А.А., Морозов А.Е. Алгоритмы симулятора растущей нейронной сети с элементами самообучения / //. – 2016.

Мехатронные привода в тормозной и рулевой системах электротранспорта

М.А. Малкин, А.С. Переладов, А.М. Щербин✉

Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт «НАМИ» (ФГУП «НАМИ»), Москва, Россия, aleksey.scherbin@nami.ru

Mechatronic drives in the braking and steering systems of electric vehicles

Maxim A. Malkin, Alexey S. Pereladov, Alexey M. Shcherbin✉
Federal State Unitary Enterprise «Central Order of the Red Banner of Labour Scientific Research Automobile and Automotive Engines Institute «NAMI» (FSUE «NAMI»), Moscow, Russia, aleksey.scherbin@nami.ru

Интенсивное развитие электрических транспортных средств в современном мире ставит задачи по созданию новых составных частей таких транспортных средств. Ужесточаются требования к энергоэффективности и безопасности всего электрического транспортного средства в целом, и, соответственно, аналогичные требования предъявляются и к его составным частям. В частности, требования по повышению безопасности и энергоэффективности предъявляются к приводам рулевой и тормозной систем управления.

Данная задача может быть решена использованием приводов на основе современных электромеханических преобразователей, которые используют запасенную на борту электрического транспортного средства электрическую энергию напрямую, без преобразования в другие виды энергии.

Современные электромеханические преобразователи на основе многополюсного синхронного электродвигателя с постоянными магнитами весьма эффективны. Приводы, построенные на их основе, имеют высокое быстродействие и компактные размеры. Частотные преобразователи для управления такими двигателями используют современные, производительные, специализированные микроконтроллеры, которые позволяют реализовывать быстродействующие приводы и адаптивные алгоритмы управления.

В некоторых современных электрических транспортных средствах уже применяются электроприводы поворота управляемых колес [1] и электроприводы стояночного тормоза [2]. По электромеханическому приводу рабочего тормоза имеется множество публикаций и патентов, однако информация об использовании электропривод рабочего тормоза в серийных образцах транспортных средств отсутствует.

В настоящее время является актуальной разработка электрического транспортного средства, в котором будет применен электромеханический преобразователь на основе многополюсного синхронного электродвигателя с постоянными магнитами как для поворота

управляемых колес (рис. 1), так и в качестве электрогидравлического привода рабочего тормоза (рис. 2).

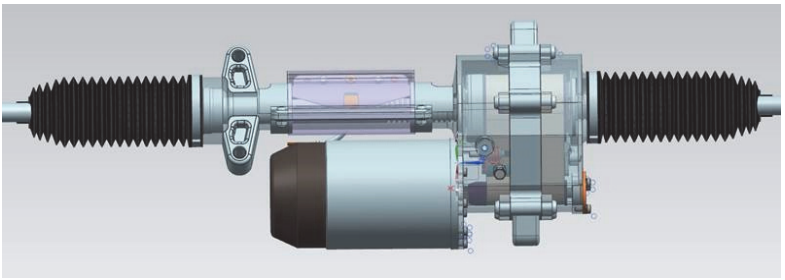


Рисунок 1 — Электромеханический привод поворота управляемых колес

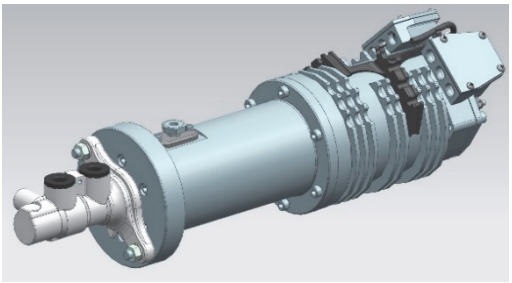


Рисунок 2 — Электрогидравлический привод рабочего тормоза

Литература

1. Tesla запатентовала систему рулевого управления без механической связи с колёсами // Хабр: [сайт]. - 2023. - URL: https://habr.com/ru/news/742570/ (дата обращения 18.01.2024).

2. Пластков, К. П. Электрический привод управления стояночной тормозной системой легкового автомобиля / К. П. Пластков, Р. Ю. Федоров // Актуальные вопросы совершенствования военной и специальной техники : Сборник научных материалов, посвященный 105 годовщине со дня образования автомобильных войск России / Под общ.ред. Е.В. Свиридова. – Пермь : ПВИ ВВ МВД России, 2015. – С. 57-62. – EDN UAIWEZ.

Проблемы разработки интеллектуальных систем управления двигателями переменного тока

А.К. Голубев, В.М. Фомин✉, А.К. Иванов
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» (Университет ИТМО), г. Санкт-Петербург, 337025@niuitmo.ru;

Problems of intelligent AC motor control systems engineering development

Anton K. Golubev, Valentin M. Fomin✉, Alexander K. Ivanov
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education National Research ITMO University (ITMO University), St. Petersburg, 337025@niuitmo.ru

На сегодняшний день самым распространенным способом управления двигателями переменного тока являются ПИД регуляторы, которые представлены как часть частотных преобразователей с различными характеристиками. Такие частотные преобразователи не всегда могут предоставить желаемое управление двигателем, так как, чаще всего, они обеспечивают только управление по скорости вращения двигателя. Однако, даже в таком случае они не всегда обеспечивают желаемое управление, так как учитывают только желаемое и текущее значения, оперируя только ошибкой управления.

Интеллектуальные же системы управления, в свою очередь, позволяют синтезировать регуляторы, которые будут учитывать внутреннее состояние системы. Например, изменение сопротивления обмоток двигателя в процессе его работы вследствие нагрева, нагрузку на вал двигателя, статические внутренние параметры статора и ротора двигателя, а также внешние параметры, такие как температура окружающей среды, влажность и т.д. Кроме того, интеллектуальные методы управления позволяют использовать для обеспечения нужной динамики системы другие парамеры: ток, момент, положение ротора и другие, что позволяет управлять двигателем более гибко и точно [1].

Для обеспечения такого управления необходимо считывать данные с датчиков тока и напряжения на обмотках и, опционально, датчика положения ротора, также необходимо выдавать управляющее воздействие на обмотки двигателя точно той формы, которая требуется. Промышленные серийные преобразователи частоты хоть и чаще всего имеют встроенный логический контроллер, для которого можно

было бы написать программу интеллектуального управления, однако, такие преобразователи не предоставляют прямого доступа для управления напряжениями на выходы и, соответственно, на обмотках двигателя. Информация с датчиков тока и напряжения может быть недоступна или доступна не полностью, даже если они установлены в преобразователе.

Для решения проблемы считывания напряжения и тока на обмотках и обеспечения возможности интеллектуального управления синхронными и асинхронными двигателями переменного тока было принято решение использовать внешние датчики тока и напряжения на обмотках, подключенных к выходам частотного преобразователя. Однако, выход частотного преобразователя представляет собой модулированный сигнал, измерение которого с помощью некоторых датчиков может быть затруднительным [2].

Проектирование систем управления двигателями переменного тока представляет собой сложную задачу, требующую учета множества факторов, таких как нелинейность характеристик двигателя, наличие помех и шумов, а также ограничения по стоимости и размерам установки. Необходимость достижения высокой точности управления в следствии постоянно изменяющихся нагрузок и некорректных условий эксплуатации делает выбор оптимальных алгоритмов управления ключевым фактором успешной реализации. Развитие интеллектуальных систем управления с использованием современных цифровых платформ открывает новые возможности для решения этих проблем, но требует углублённого изучения и доработок. Особое внимание следует уделить вопросам адаптивности и самообучения интеллектуальных систем управления, чтобы они могли эффективно реагировать на изменяющиеся условия работы и повышать свою точность с течением времени. Также необходима разработка стандартов и методик для тестирования и верификации интеллектуальных систем управления, чтобы обеспечить их надёжность и безопасность в реальных условиях эксплуатации.

Литература

1. Черепенников А.В. Актуальные проблемы систем управления электроприводом [Текст] / А.В. Черепенников // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – №45-9. – С. 29-33.

2. Макаров В.Г. Актуальные проблемы асинхронного электропривода и методы их решения [Текст] / В.Г. Макаров // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – С. 79-92.

СЕКЦИЯ «РОБОТОТЕХНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ»

Порядок испытания робототехнических комплексов, предназначенных для гуманитарной очистки местности от взрывоопасных предметов

А.Ю. Баранник[1]✉, А.В. Лагутина[1], Д.В. Спицин[2]

[1]Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий) (ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)), Москва, Россия, barannikau@vniigochs.ru

[2]Департамент спасательных формирований Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, (ДСФ МЧС России), Москва, Россия

Procedure for testing robotic systems intended for humanitarian clearance of areas from explosive objects

Alexander Yu. Barannik[1]✉, Anna V. Lagutina[1], Dmitry V. Spitsyn[2]

[1]Federal State Budgetary Establishment «All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies of the EMERCOM of Russia» (Federal Science and High Technologies Center) (VNII GOChS (FC)), Moscow, Russia, e-mail: barannikau@vniigochs.ru

[2]Department of Rescue Teams of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (DSF EMERCOM of Russia), Moscow, Russia

Специальная военная операции выявила острую необходимость в оснащении пиротехнических подразделений МЧС России, выполняющих мероприятия по гуманитарной очистке местности от взрывоопасных предметов, робототехническими комплексами (далее – РТК), оснащенных минными тралами различной конструкции [1].

При этом одной из наиболее сложных проблем, решение которой потребовалось в ходе выполнения данной задачи, стало отсутствие нормативно-технических документов и методик проведения отбора и оценки качества данных комплексов [2].

ГОСТ Р 54344-2011 «Техника пожарная. Мобильные робототехнические комплексы для проведения аварийно-спасательных работ и по-

жаротушения. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний» [3] не распространяется на данный вид РТК, так как гуманитарная очистка местности от взрывоопасных предметов не входит в перечень аварийно-спасательных работ, определенный статьей 5 Федерального закона от 22 августа 1995 г. N 151-ФЗ «Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей» (с изменениями и дополнениями)» [4].

В связи с этим специалистами ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) в 2023-2024 гг. был разработан подход, который был реализован в методиках и программах испытаний РТК, проведенных прошлом и текущем годах.

В основе данного подхода лежит анализ технической документации, а также три группы испытаний: оценка базовой машины; оценка тралящего оборудования; оценка взрывоустойчивости РТК.

Анализ технической документации включает изучение и оценку качества подготовки таких материалов, представляемых предприятием-разработчиком, как: технические условия; рабочая конструкторская документация; руководство по эксплуатации; сервисная книжка; другие сопроводительные документы.

Испытания базовой машины включают проведение следующих групп мероприятий: измерение массогабаритных показателей, оценка проходимости, маневренности, скоростных характеристик, управляемости, качества связи, технического зрения, систем навигации, транспортабельности, запаса хода.

В ходе испытаний тралящего оборудования оцениваются такие показатели РТК как глубина траления; качество траления; скорость траления; ударная стойкость; возможность, трудоемкость и продолжительность монтажа и демонтажа тралящего оборудования.

Оценка взрывоустойчивости включает проведение таких практических взрывотехнических мероприятий как оценка противоминной защиты днища; взрывоустойчивость рабочего органа; взрывоустойчивость трансмиссии и рамы трала; работоспособность бойкового трала после подрыва; возможность и быстрота замены рабочих органов трала в полевых условиях; оценка противоминной защиты бортов машины.

Также в ходе испытаний РТК [6] проверяются такие эксплуатационные показатели как периодичность технического обслуживания, удобство выполнения операций по техническому обслуживанию, объём работ по техническому обслуживанию и время их выполнения; достаточность комплекта индивидуального ЗИП и удобство его размещения, а также необходимость дополнительного оборудования и

инструмента для технического обслуживания и проведения текущего ремонта силами расчёта; расход запасных частей и материалов за период эксплуатации.

В ходе проведения испытаний и по их окончанию оформляются документы, регламентированные ГОСТами «Система разработки и постановки продукции на производство» [6].

Литература

1. Временная инструкция по порядку привлечения и выполнения в территориальных органах МЧС России аварийно-спасательных работ при ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с обнаружением взрывоопасных предметов (утверждена заместителем Министра Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 19.06.2020 г.).

2. Разработка технического задания (технических требований) на создание специального автомобиля для транспортировки авиационных бомб, фугасов и других крупнокалиберных неразорвавшихся боеприпасов» (НИР «Пиротехнический автомобиль»): отчет о НИР: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ); М., 2023 – 147 с. – Инв. № 0092.

3. ГОСТ Р 54344-2011 «Техника пожарная. Мобильные робототехнические комплексы для проведения аварийно-спасательных работ и пожаротушения. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний».

4. Федеральный закон от 22 августа 1995 г. N 151-ФЗ «Об аварийно-спасательных службах и статусе спасателей» (с изменениями и дополнениями).

5. Комплексные исследования в области создания и внедрения перспективных робототехнических средств, в том числе развитие учебной базы для подготовки операторов робототехнических комплексов, материально-технической базы для эксплуатации робототехнических комплексов и подходов к технико-экономическому обоснованию рациональности системы испытаний робототехнических комплексов в МЧС России: отчет о НИР (2 этап, заключительный): ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ); М., 2021 – 192 с. – Инв. № 2023.

6. ГОСТ Р 15.301-2016 «Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство».

Организация мониторинга технического состояния электроаппаратуры робототехнических комплексов военного назначения с использованием технологий искусственного интеллекта

М.Е. Данилин✉, О.П. Меньшиков
ООО «АВАНТИ-СОФТ», г. Иннополис, Республика Татарстан, Россия, danilin.m@avgr.tech

Organization of monitoring of the technical condition of electrical equipment of military robotic complexes using artificial intelligence technologies

Maksim E. Danilin✉, Oleg P. Menshikov
LLC «AVANTI-SOFT», Innopolis, Republic of Tatarstan, Russia, danilin.m@avgr.tech

Современные робототехнические комплексы (РТК) оснащаются сложной электроаппаратурой, которая подвержена неизбежным отказам. Восстановление работоспособности требует значительных затрат. Одним из направлений улучшения безотказности комплекса является организация в режиме реального времени мониторинга технического состояния с применением технологий искусственного интеллекта (ИИ) для решения задачи «очувствления» – восприятия и оценивания роботом своего технического состояния.

В настоящее время заявленное программное обеспечение, разработанное на основе разработанного математического аппарата реализовано на аппаратной платформе мобильного РТК технического и тылового обеспечения, который также рассматривается как шасси для ударных комплексов. Идея «Интеллектуального технического обслуживания» (Smart maintenance monitoring) как составная часть концепции проактивного восстановления (Predictive Maintenance) [1], взятая на вооружение НПО «Группа Аванти», базируется на интеграции технологий ИИ в систему управления РТК. Это способствует решению задач комплексирования информации и оценивания результатов влияния деградационных процессов в электроаппаратуре на эффективность ее функционирования.

Внедрение технологий ИИ способствует имитации роботом восприятия собственного состояния, что подобно примитивной попытке воссоздать осознание самочувствия человеком [2]. Это позволяет

структурировать процесс мониторинга, начиная от ухудшения технического состояния до его идентификации и оценки снижения производительности как признака приближающегося отказа.

Для оценивания энергоэффективности вводится искусственная, внесистемная величина «нагруженность», которая характеризует энергоэффективность в различных режимах функционирования. Эта характеристика оценивается с использованием нечеткого логического вывода Мамдани [3]. В качестве входных параметров используются скорость движения робота и величина потребляемого электроаппаратурой тока.

В процессе обработки временных рядов упомянутых физических величин используется усовершенствованный фильтр Калмана. Процедуре фильтрации аномалий подвергаются уже значения интерполированного кубического сплайна, что обеспечивает добавление в матрицу ковариаций второй производной изменения физической величины. По сравнению с человеком, у которого выбор образов для восприятия становится осознанным через полсекунды, для сглаживания временного ряда нагруженности предлагается использовать оператор простого скользящего среднего с окном продолжительностью 0,5 с [4].

Пороговые значения нагруженности по аналогии с ухудшением человеческого самочувствия ассоциируются с «приступами боли» и сопоставляются с ухудшением технического состояния робота. Для их идентификации используется метод нечеткой кластеризации *k*-медиан, который позволяет фиксировать координаты «приступов» в многомерном пространстве и анализировать их динамику [5].

Для идентификации степени ухудшения технического состояния применяется классификатор «Наивный Байес» [6], учитывающий апостериорную вероятность наступления предельного состояния при текущих значениях входных величин. Таким образом, создана модель, представляющая процесс изменения технического состояния как движение по плоскости состояний, что позволяет проводить вероятностную оценку временного периода, в течение которого электроаппаратура комплекса сохранит заданный уровень работоспособности.

Разработанная процедура очувствления технического состояния с использованием технологий ИИ, математического аппарата нечеткой логики и методов статистической классификации представляет собой аргументированный инструментарий мониторинга для решения проблемы прогнозирования технического состояния, обеспечивая своевременное обнаружение и предотвращение отказов.

Литература

1. SAE JA1011. Руководство по стандарту технического обслуживания для обеспечения надежности (Reliability-Centered Maintenance, RCM), 2002. – 56 с.
2. Стрижакова О.В., Орлов В.А., Фетисов О.Б. Про здоровье, самочувствие и работоспособность человека // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта № 11 (213). – СПб.: Национальный государственный Университет физической культуры, спорта и здоровья, 2022. – С. 535-539.
3. Заяра А.В., Данилин М.Е. Применение нечеткого логического вывода для моделирования процесса изменения технического состояния электроаппаратуры мобильных робототехнических комплексов // Надежность и качество сложных систем. 2024. № 2. С. 120–125. doi: 10.21685/2307-4205-2024-2-14.
4. Сознание как система памяти / [Электронный ресурс] // Хабр: [сайт]. – URL: https://habr.com/ru/companies/adminvps/articles/695368/ (дата обращения: 09.07.2024).
5. Часовских А. Обзор алгоритмов кластеризации данных / Часовских А. [Электронный ресурс] // Хабр: [сайт]. – URL: https://habr.com/ru/articles/101338/ (дата обращения: 28.08.2024).
6. Захаренко Е. Наивный байесовский классификатор. Основная идея, модификации и реализация с нуля на Python / Захаренко Е. [Электронный ресурс] // Хабр: [сайт]. – URL: https://habr.com/ru/articles/802435/ (дата обращения: 28.08.2024).

О возможности голосового управления мобильным робототехническим комплексом транспортного назначения

М.Е. Данилин, О.П. Меньшиков✉, К.Н. Юсупова, К.Р. Ахтямов, И.И. Инин

ООО «АВАНТИ-СОФТ», г. Иннополис, Республика Татарстан, Россия, metod@avgr.tech

About the possibility of voice control of a mobile robotic complex for transport purposes

Maksim E. Danilin, Oleg P. Menshikov✉, Kristina N. Yusupova, Kamil R. Akhtyamov, Igor I. Inin
LLC «AVANTI-SOFT», Innopolis, Republic of Tatarstan, Russia, metod@avgr.tech

Современные тенденции развития технологий в области роботизации открывают новые горизонты для транспортной отрасли. Мобильные робототехнические комплексы, призванные оптимизировать процессы транспортировки грузов в различных условиях окружающей среды, сталкиваются с растущими требованиями к эффективности, автономности и безопасности. В условиях ужесточения требований к эффективности РТК и необходимости сокращения временных затрат на логистические операции, интеграция технологий искусственного интеллекта (ИИ) в системы управления комплексов становится особенно актуальной.

Технологии ИИ предлагает мощный инструмент для обработки данных, поступающих из датчиков, анализа ситуаций в режиме реального времени и принятия оптимизированных решений. Эти возможности позволяют роботам автономно адаптироваться к динамическим изменениям в окружающей среде, а также дифференцированно взаимодействовать с другими участниками логистического процесса. Таким образом, использование ИИ в комплексах значительно расширяет их функциональные возможности, что открывает новые перспективы для их применения в специализированных системах. Это касается, прежде всего, мобильных РТК военного назначения, классификация которых согласно национальному стандарту [1] поясняется схемой на рисунке 1.

Среди военных роботов особое внимание следует обратить на комплексы технического и тылового обеспечения. На сегодняшний день исследования, направленные на совершенствование технических характеристик таких роботов – самое актуальное направление в военной робототехнике [2]. Хотя бы, потому что, разработав недорогой, простой и надежный комплекс, можно получить шасси для всех остальных типов военных роботов.

Все ведущие индустриальные страны активно осваивают это направление. В Российской Федерации в этом направлении лидирует научно-производственное объединение «Группа Аванти» (г. Казань). Сравнительные технические характеристики (таблица 1)

свидетельствуют, что робот «Мул» разработки «Группа Аванти» занимает достойное место. При этом необходимо учесть, что постоянно проводится его модернизация.

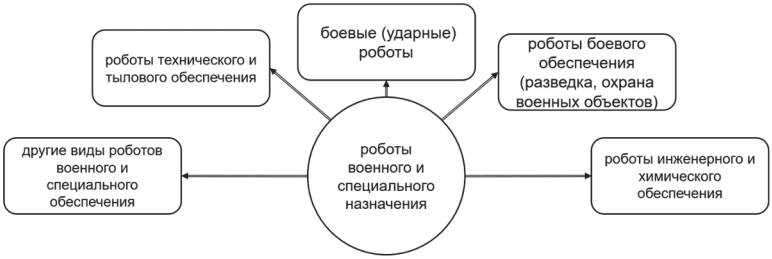


Рисунок 1 — Классификация мобильных РТК военного назначения

Необходимо отдельно остановить на бионическом подходе к разработке транспортных роботов. Безусловно, за этим направлением – будущее. Например, такой гигант робототехнической индустрии как Boston Dynamics еще 10 лет назад представила на апробацию подобный образец. Только обращаю внимание на стоимость проекта – в сумме 64 млн. долларов [3]. Также в сети появились сообщения о том, что китайские инженеры разработали для решения военно-транспортных задач шагающего робота – «ЯКА», способного передвигаться со скоростью 10 км/ч и грузоподъемностью до 160 кг [4].

Безусловно, это – перспективные разработки, рассчитанные на долгосрочную перспективу. Тем не менее подобные исследования требуют задействования огромных ресурсов. По этой причине в ближайшее время в воинских подразделениях логистика в условиях пересеченной местности будет осуществляться с использованием колесных или гусеничных транспортных средств.

Результаты анализ тенденций совершенствования транспортных РТК свидетельствуют, что сегодня акценты ставятся на усилении интенсивности исследований в области улучшения функциональных характеристик. Прежде всего, это – на создание архитектуры «Человек в цикле» (Human-in-the-Loop).

Очевидно, что исследование проблемы управления РТК посредством неинвазивного взаимодействия мозг-машина путем внедрения имплантов в человеческий мозг для создания интерфейса «человек – система управления роботом» в настоящее время граничит с научной фантастикой. Разумеется, идеальным видится вариант, в котором РТК управляется командами, преобразованными из электроэн-

цефалографических сигналов мозга, генерируемых с помощью задачи создания моторных образов. На сегодняшний день примитивной, но реальной альтернативой такому методу контроля видится голосовое управление, которое способно гарантированно обеспечить естественное и эффективное взаимодействие человека с мобильным РТК. Его реализация позволит оператору быстро и точно передать команды роботу без необходимости использования каких-либо управляющих устройств. Для решения этой задачи был использован автономный модуль VOSK с открытым исходным кодом [5]. Структурная схема контура голосового управления с использованием этого модуля представлена на рисунке 2.

Таблица 1 — Технические характеристики РТК технического и тылового обеспечения

Наименование (страна)	Изготовитель	Габариты, м	Масса (кг)	Масса нагрузки (кг)	Скорость (км/ч)	Запас хода (ч)	Тип привода
МАРС А800 (РФ)	Avrora Robotics,	3×2,15×1,27	950	500	35	8	Электро
МУЛ (РФ)	НПО «АВАНТИ»	1,2×1×0,9	151	200	40	8	Электро
REX (Израиль)	Israel Aerospace Industries	2×0,8×0,5	150	200	12	72	Электро
ROOK (Израиль)	Roboteam	2,7×1,6×1,2	1200	1200	30	8	Гибрид
PROBOT (Израиль)	Roboteam	1,95×1,26×1,06	500	750	12	8	Электро
THeMIS Cargo Эстония	Milrem Robotics,	2,4×2×1,15	1630	1200	20	15	Электро

Тем не менее, следует признать, что первая попытка оказалась неудачной. При переносе алгоритмов на действующий образец шум работающих гусениц даже на холостом ходу заглушал речевые команды.

Положительным результатом воздействия на аудиопоток является избавление от шумов на различных частотах, а отрицательным – не-

значительное искажение речи, вследствие которого результаты распознавания речи с использованием модуля VOSK отличаются от произнесенных фраз. В связи с этим в условиях реальных звуковых помех успешное применение подобного алгоритма распознавания речи признается нецелесообразным. Рассматривается создание вариант применения нейронной сети, распознающий ограниченный набор слов необходимых для управления РТК. Исследования в этой области продолжаются.

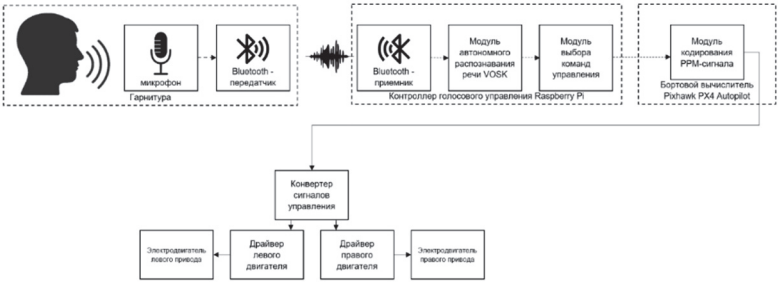


Рисунок 2 — Схема контура голосового управления мобильным РТК с использованием модуля VOSK

Внедрение голосового управления в рамках технологии «следуй за мной» в систему управления мобильных робототехнических комплексах однозначно поможет улучшить эффективность их применения.

Литература

1. ГОСТ Р 60.0.0.2-2016. Роботы и робототехнические устройства. Классификация. – М.: Изд-во стандартов, 2018. – 15 с.

2. The Themis UGV/ [Электронный ресурс] // MILREM robotic: [сайт]. — URL: https://milremrobotics.com/defence/ (дата обращения: 1.06.2024).

3. Larry Greenemeier. Robot Pack Mule to Carry Loads for G.I.s on the Move [Электронный ресурс] // SciAm: [сайт]. – URL: https://www.scientificamerican.com/ article/boston-dynamics-ls3/ (дата обращения: 23.06.2024).

4. Мощный и маневренный: китайцы показали военного робота-быка / [Электронный ресурс] // МИР 24: [сайт].– URL: https://mir24.tv/news/16492598/ moshchnyi-i-manevrennyi-kitaicy-pokazali-voennogo-robota-byka-video (дата обращения: 23.06.2024).

5. Vosk - автономный Python модуль для распознавания речи / [Электронный ресурс] // Машинное обучение: [сайт]. – URL: https://dzen.ru/a/Yk0ooEth3hM CBt7Y (дата обращения: 25.08.2024).

Образ современного многофункционального комплекса с малым БПЛА и решаемые им задачи с учётом опыта специальной военной операции

В.А. Скиба, К.В. Быков✉
Военная академия ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого (ВА РВСН), г. Балашиха, Московская обл., Россия, bykovkv@bk.ru

The image of a modern multifunctional complex with a small UAV and the tasks it solves, taking into account the experience of a special military operation

Valery A. Skiba, Konstantin V. Bykov✉
The Military Academy of Strategic Rocket Troops after Peter the Great (SRTMA), Balashikha, Moscow region, Russia, bykovkv@bk.ru

В ходе специальной военной операции (СВО) на Украине Россия столкнулась с тем, что 54 страны оказывают помощь противнику, 18 из которых поставляют беспилотные летательные аппараты (БПЛА). По данным открытых источников, за два года противнику поставлено около 5000 БПЛА [1], а по утверждениям СМИ Украины, еще 50 000 было произведено самостоятельно [2].

Вооруженные силы Российской Федерации (ВС РФ) в ходе ведения боевых действий также применяют большое количество БПЛА, как коммерческих, так и военных. Так в 2023 году в ВС РФ поставлено около 3500 отечественных БПЛА [3], а количество коммерческих БПЛА, поставленных общественными организациями и волонтерами не поддаётся счёту.

Применение малых БПЛА мультироторного типа в ходе СВО показало свою эффективность, но их нет в достаточном количестве у обеих противоборствующих сторон, поэтому возник спрос на коммерческие квадрокоптеры, как профессиональные, так и любительские.

Итеративное изменение характеристик коммерческих БПЛА в ходе СВО позволило сформировать облик современного многофункционального тактического комплекса с малым БПЛА ближнего действия и малой продолжительности полета, отвечающего вызовам современных вооруженных конфликтов и вобравшего в себя все накопленные программные и аппаратные улучшения (см. рис. 1).

Рисунок 1 — Образ современного многофункционального комплекса с малым БПЛА ближнего действия

Такой многофункциональный комплекс с малым БПЛА обеспечит решение широкого спектра задач: разведка и наблюдение, целеуказание, корректировка огня и объективный контроль, решение задач инженерного обеспечения, доставка информации и материальных средств, уничтожение живой силы и техники противника, противодействие БПЛА и другие задачи.

Таким образом, предложен образ современного многофункционального комплекса с малым БПЛА, который позволяет решать широкий спектр боевых (специальных) задач, тем самым повышая эффективность подразделений ВС РФ.

Литература

1. «List of military aid to Ukraine during the Russo-Ukrainian War». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_military_aid_to_Ukraine_during_the_Russo-Ukrainian_War#Other_parties/ (дата обращения: 31.08.2024).

2. «На Украине раскрыли планы по выпуску БПЛА в 2024 году». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://anna-news.info/na-

ukraine-raskryli-plany-po-vypusku-bpla-v-2024-godu/ (дата обращения: 31.08.2024).

3. «Армия в 2023 году получила 3,5 тысячи отечественных беспилотников». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ria.ru/20240126/bespilotniki-1923651702.html (дата обращения: 31.08.2024).

Особенности восстановления техники группой робототехнических комплексов

А.А. Воробьев, В.В. Сергеев
Военная академия материально-технического обеспечения, Санкт-Петербург, Россия, maestro265@yandex.ru

Features of the restoration of machines by a group of robotechnical complexes

Albert A. Vorobiev, Vladislav V. Sergeev
Logistics Military Academy of Army, St. Petersburg, Russia, maestro265@yandex.ru

Вооруженные конфликты начала XXI века существенно отличаются по составу участников, применяемому вооружению, формам и способам действий войск (сил). Одним из основных источников восполнения потерь, поврежденных (неисправных) образцов вооружения и военной техники (ВВТ), является система восстановления, создающуюся в системе технического обеспечения.

Исследования отечественных и зарубежных учёных показывают, что в ходе операций и боевых действиях будущего одними из наиболее востребованных ВВТ будут робототехнические комплексы (РТК) военного назначения применяемые, в том числе, для эффективного восстановления ВВТ [1]. Основным преимуществом группового применения (ГП) РТК ВН в интересах восстановления техники является эффективность функционирования системы [2].

Особую актуальность ГП РТК приобретает при решении ряда задач непосредственно в ходе ведения операций (боевых действий). Как правило, при решении таких задач ГП РТК должны функционировать в неорганизованной или плохо организованной, недетерминированной среде [3].

Вместе с тем, становится очевидным, что полномасштабное применение действующих совместно групп РТК ВН в ходе боевых действий в перспективе будет связано с последовательным выполнением ряда имеющих самостоятельное значение отдельных задач в рамках выполнения общей «метазадачи» под общим или автоматическом управлении (сервер ИУС). При этом приоритет при выполнении частных задач в интересах восстановления ВВТ будут иметь группы РТК с соответствующей целевой нагрузкой. Например, типовой становится «метазадача», состоящая из следующих частных задач: техническая разведка (беспилотники самолетного типа (БЛА(СТ) и беспилотники коптерного типа (БЛА(КТ)), наземные РТК), эвакуация вышедших из строя объектов (ЭНРТК) и поврежденных членов экипажа ВВТ (ЭНРТК (мед)), доставка военно-технического имущества (БЛА(ВТИ) и НРТК(ВТИ)) к местам выполнения ремонтных работ (рис. 1).

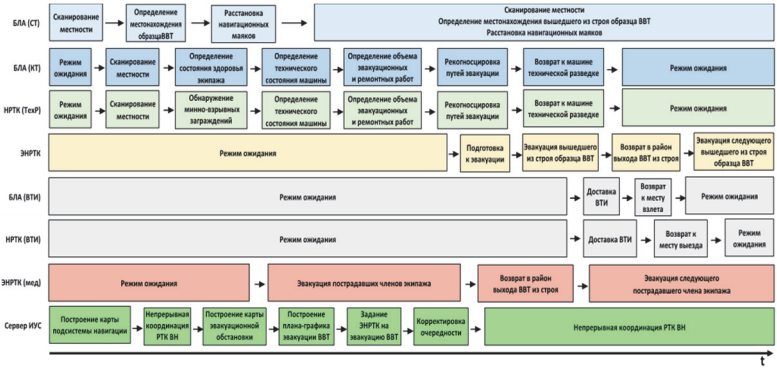


Рисунок 1 — Алгоритм группового применения робототехнических комплексов при восстановлении техники (вариант)

Таким образом, ГП РТК ВН открывает новые перспективы в роботизации ВВТ. Становится возможным применение кардинально отличных сценариев применения роботов и решения задач. Одновременно важно признать, что применение роботов в группе предъявляет новые требования к функциональным возможностям самих роботов, а также требует переосмысления подхода к созданию новых образцов РТК ВН.

Литература

1. Воробьев А.А. Взгляды руководства армии США на применение РТК в современных операциях (боевых действиях) / А.А. Воробьев, В.В. Сергеев // Вестник Академии военных наук. - №1(86) – 2024. – С. 131-141
2. Воробьев А.А. Перспективы группового применения РТК в операциях (боевых действиях) / А.А. Воробьев, В.В. Сергеев, О.Г. Булатов // Военная мысль. – 2024. – № 3. – С. 53-63.
3. Коновалов В.Б. Состояние и перспективы создания больших гетерогенных групп РТС, действующих совместно / В.Б. Коновалов, А.А. Воробьев, В.В. Сергеев // Робототехника и техническая кибернетика. – Т. 10. - № 3. – СПб: ЦНИИ РТК. – 2022. – С. 165-171.

Расширение функционала поисковых роботов для обнаружения необходимого пользователям контента на информационных ресурсах систем хранения и обработки данных специального назначения

Е.С. Крюкова, Л.А. Саяркин, И.Б. Паращук✉
Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного» Министерства обороны Российской Федерации (Военная академия связи), Санкт-Петербург, Россия, shchuk@ramdler.ru

Expanding the functionality of search robots to detect content needed by users on information resources of special-purpose data storage and processing systems

Elena S. Kryukova, Leonid A. Sayarkin, Igor B. Parashchuk✉
Federal State Treasury Military Educational Institution of Higher Education «Military Orders of Zhukov and Lenin Red Banner Academy of Communications named after Marshal of the Soviet Union C.M. Budyonny» of the Ministry of Defense of the Russian Federation (Military Academy of Communications), St. Petersburg, Russia, shchuk@ramdler.ru

Напряженная политическая ситуация, образовавшаяся в рамках текущего периода становления и развития международных военно-

государственных отношений, стимулирует все страны, включая нашу, совершенствовать и, зачастую, даже программно и технически перевооружать свои системы и комплексы, отвечающие за формирование и эффективную эксплуатацию IT-инфраструктуры специального (военного) назначения. Ключевыми элементами подобной инфраструктуры по праву считаются системы хранения и обработки данных (СХиОД) специального назначения (СН).

Такие программно-аппаратные СХиОД СН, а также облачные хранилища, используемые для обработки и хранения информации военного назначения, в условиях даже небольших современных вооруженных конфликтов, содержат контент, в разы превышающий объемы данных, необходимых для мирного времени и для «гражданских» целей, что объективно делает задачу поиска необходимого пользователям контента на информационных ресурсах СХиОД СН не просто нетривиальной, а проблематичной.

В этой связи задача построения эффективных «поисковых машин» и быстрых поисковых алгоритмов для обнаружения на информационных ресурсах СХиОД СН и предоставления пользователям необходимого им контента, становится, безусловно, актуальной. Одним из возможных подходов к построению современных подобных систем является создание, так называемых, поисковых роботов. Анализ современных поисковых роботов показывает, что их архитектура и функционал не в полной мере удовлетворяющие требованиям по своевременности и качеству (релевантности) поиска необходимой информации.

Один из возможных путей решения подобных проблем нам видится в модернизации поисковых роботов, в создании для них современных, методологически и математически корректных поисковых алгоритмов с повышенной оперативностью и релевантностью реализации поисковых запросов пользователей на огромных массивах данных, ориентированных на системы управления специального назначения. Методологической и математической основой для подобной модернизации, по нашему мнению, могут служить методы принятия решений, базирующиеся на нечетких отношениях предпочтения и алгоритмах анализа альтернатив [1].

Предлагается подход, позволяющий устранить неопределенность (нечеткость) разнообразных критериев поиска конкретного контента, нечеткость и смысловую неоднозначность целей конкретных запросов. Данный подход позволит поисковому роботу находить компромисс при различных нечетко заданных «весах», уровнях «важности», приоритетности критериев и целей поиска, например, с

учетом нечеткой иерархии пользователей, позволит адаптивно дифференцировать «значимость» альтернатив при реализации поисковых алгоритмов.

Литература

1. Саяркин Л.А., Паращук И.Б., Владимирова Е.С. Этапы и особенности разработки методики повышения качества информационного поиска на ресурсах современных центров обработки данных с использованием нечетких отношений предпочтения и сравнения альтернатив // Информация и космос. № 1, 2024. С. 38-45.

Технические решения по составу системы противодействия беспилотным летательным аппаратам

М.С. Андрющенко, А.М. Голик, С.А. Сахнов
Военная ордена Жукова академия войск национальной гвардии Российской Федерации (Академия Росгвардии), Санкт-Петербург, Россия, sakhnov_1992@mail.ru

Technical solutions for the composition of the system for countering unmanned aerial vehicles

Mikhail S. Andryushchenko, Alexander M. Golik, Sergey A. Sakhnov
Military Order of Zhukov Academy of the National Guard of the Russian Federation (Rosguard Academy), St. Petersburg, Russia, sakhnov_1992@mail.ru

В работе рассматриваются возможности технической реализации системы противодействия беспилотным летательным аппаратам. В ходе анализа существующих средств противодействия беспилотным летательным аппаратам и оценки их эффективности был разработан состав и структура системы, отличающиеся от существующих тем, что, в основу положены модели процесса выполнения боевой задачи беспилотного летательного аппарата и методика оценки эффективности системы противодействия беспилотным летательным аппаратам учитывающая возможности электромагнитного воздействия [1 – 3]. Представленный тип функционально-логических связей между подсистемами обнаружения и функционального подавления беспилотных летательных аппаратов учитывает возможности применения

алгоритмов машинного обучения. Рассматривая система противодействия беспилотным летательным аппаратам, дополнена новыми программными модулями и базами данных [4 – 8], реализующими повышение её эффективности.

При этом новый тип функционально-логических связей обеспечивает непрерывный мониторинг пространства охраняемого объекта, а также адаптивное распределение и наведение средств функционального подавления.

Новизна полученных научных результатов подтверждается: отсутствием работ с аналогичными решениями в известных научных источниках; положительными отзывами экспертов на опубликованные статьи, доклады, сделанные на конференциях и семинарах; авторскими свидетельствами и патентами РФ, в которых подтверждается приоритет в получении результатов.

Литература

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024611270 Российская Федерация. Математическая модель подсистемы обнаружения беспилотных летательных аппаратов : № 2024610258 : заявл. 09.01.2024 : опубл. 18.01.2024 / И. М. Шмелев, С. А. Сахнов ; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский военный ордена Жукова институт войск национальной гвардии Российской Федерации». – EDN RXCDEJ.

2. Методика оценки вероятности выполнения поставленной задачи беспилотным летательным аппаратом / М. С. Андрющенко, А. М. Голик, С. А. Сахнов, С. Н. Терешин // Робототехника и техническая кибернетика. – 2024. – Т. 12, № 2. – С. 94-98. – DOI 10.31776/RTCJ.12202. – EDN EVEWIA.

3. Андрющенко, М. С. Методика оценки эффективности системы противодействия беспилотным летательным аппаратам / М. С. Андрющенко, А. М. Голик, С. А. Сахнов // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2023. – № 3(128). – С. 104-107. – DOI 10.53816/20753608_2023_3_104. – EDN HLCGXG.

4. Андрющенко, М. С. Идентификационные признаки обнаружения беспилотных летательных аппаратов / М. С. Андрющенко, С. А. Сахнов // Применение беспилотных воздушных судов при выполнении служебно-боевых задач войсками национальной гвардии : Сборник научных статей, Санкт-Петербург, 15 марта 2023 года. – Санкт-Петербург: Типография СПВИ войск национальной гвардии, 2023. – С. 87-96.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023663308 Российская Федерация. Модель машинного обучения системы противодействия робототехническим комплексам : № 2023662458 : заявл. 07.06.2023 : опубл. 21.06.2023 / С. А. Сахнов, М. С. Андрющенко, А. М. Голик, П. С. Обрезков ; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский военный ордена Жукова институт войск национальной гвардии Российской Федерации». – EDN VQSLEG.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023619406 Российская Федерация. Программа имитационного моделирования поражения воздушной цели : № 2023618177 : заявл. 27.04.2023 : опубл. 11.05.2023 / С. А. Сахнов, М. С. Андрющенко, А. М. Голик ; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский военный ордена Жукова институт войск национальной гвардии Российской Федерации». – EDN MBVNMG.

7. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023621248 Российская Федерация. Беспилотные летательные аппараты отечественного и зарубежного производства, представляющие угрозу для объектов, охраняемых (сопровождаемых) войсками национальной гвардии Российской Федерации : № 2023620959 : заявл. 10.04.2023 : опубл. 18.04.2023 / С. А. Сахнов, М. С. Андрющенко, А. М. Голик [и др.] ; заявитель Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский военный ордена Жукова институт войск национальной гвардии Российской Федерации». – EDN IVLSMC.

8. Сахнов, С. А. Обоснование требований к подсистеме обнаружения БПЛА на основании оценки ее эффективности / С. А. Сахнов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 3. – С. 183-188. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-3-183-184. – EDN CYVTWQ.

Направления цифровизации полигонных испытаний робототехники специального назначения

С.Е. Симанов[1]✉, Р.В. Мещеряков[2]

[1]Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»(ФГБУ ВНИИПО МЧС России), Москва, Россия, rezerv_sse@mail.ru

[2]Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН), Москва, Россия

Благодарности

Авторы благодарят сотрудников Оренбургского филиала ФГБУ ВНИИПО МЧС России за ценные замечания и идеи, которые были получены в ходе обсуждения.

Directions for digitalization of field testing of special-purpose robotics

Stanislav E. Simanov[1]✉, Roman V. Meshcheryakov[2]

[1]Federal State Budgetary Institution «Russian Order Research Institute of Fire Defense of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters» (FSBI VNIIPO EMERCOM of Russia), Moscow, Russia, e-mail rezerv_sse@mail.ru

[2]V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences (ICS RAS), Moscow, Russia

Acknowledgements

The authors thank the staff of the Orenburg branch of the Federal State Budgetary Institution VNIIPO EMERCOM of Russia for valuable comments and ideas that were received during the discussion.

В настоящее время применение различных цифровых технологий стало неотъемлемой частью ведущих экономик мира в стремлении занять наиболее значимые и выгодные рынки (и не всегда мирным и легитимным путем). За счет цифровизации делаются попытки не только сокращения расходов и повышения эффективности процессов, но и проведение противоправных действий типа коммерческого

шпионажа и кражи технологий, например, при создании цифровых двойников.

Цифровизация – внедрение цифровых технологий в разные сферы жизни человечества: от повседневного быта до производства, бизнеса и государственного управления имеет устойчивую тенденцию к охвату практически всех значимых составляющих и при решении задач национальной безопасности государства. Наряду со стремительным ростом разработок и массовым производством воздушной, наземной и морской робототехники совместно с внедрением технологий искусственного интеллекта, цифровизация выходит на передовые позиции при испытаниях и применении современных образцов, а также в создании перспективных робототехнических комплексов (систем) специального назначения (СН) для решения оперативных задач в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, особенно в период проведения специальной военной операции [1, 2].

При этом, при внедрении цифровизации в процесс полигонных испытаний необходимо обладать следующими компетенциями (зачастую этот процесс может быть реализован только коллегиально):

– обладать развитой полигонной инфраструктурой с современной испытательно-стендовой приборной базой;

– быть укомплектованным обученным профессиональным персоналом с реальным опытом применения робототехники СН в различных условиях при проведении пожарно-спасательных работ и гуманитарном разминировании;

– иметь в наличии парк современных и опытных образцов робототехники СН для проведения натурных полигонных испытаний (в частности: с подтверждёнными заявляемыми ТТХ и функциональными возможностями);

– иметь необходимый научно-технический задел в области разработок и применения «безлюдных» технологий проведения пожаротушения и аварийно-спасательных работ на штатных образцах РТК СН;

– иметь опыт и принятые документы межгосударственной, федеральной и ведомственной «реально работающей» нормативно-правовой базы (ГОСТ, ТУ, СП и др.) с опорой на основные распорядительные документы Президента и Правительства Российской Федерации.

Представляется целесообразными в ближайшей перспективе основными направлениями в цифровизации полигонных испытаний станут:

– сбор, структурирование, обработка, хранение, обмен данными натурных полигонных испытаний робототехники СН (создание на их основе цифровой лаборатории/лабораторий по видам испытаний);

– разработка концепции и облика цифрового полигона испытаний робототехники специального назначения;

– разработка цифровых моделей мобильной робототехники СН с функциями киберфизических систем для создания и отработки технологий применения (цифровые двойники «безлюдных» пожарно-спасательных технологий);

– внедрение в процесс обучения руководителей старшего звена при планировании и проведении мероприятий режимов ЧС регионального и федерального уровней на объектах критической инфраструктуры.

Основное преимущество цифровых технологий в области полигонных испытаний робототехники специального назначения — это снижение объемов испытаний за счет проведения достаточного количества цифровых (виртуальных) испытаний, уменьшение времени, отводимого на принятие образцов РТК СН на снабжение, удешевление стоимости разработки конечной продукции и технологий применения.

Литература

1. Симанов С.Е., Вагенлейтнер Е.В., Мещеряков Р.В., Нагоев З.В., Исавнина И.Н. Перспективные автоматические системы предупреждения пожаров и чрезвычайных ситуаций с пожарами // В сборнике: Актуальные проблемы пожарной безопасности. материалы XXXV Международной научно-практической конференции. Москва, 2023. С. 267-274.

2. Симанов С.Е., Мещеряков Р.В. Исследовательская и испытательная полигонная база для РТК СН // «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА», международная научно-техническая конференция. Сборник тезисов 34-й Международной научно-технической конференции. – Санкт-Петербург: ООО «Типография Фурсова», 2023. С. 72-73.

Научно-практический опыт разработки и применения систем доверительного искусственного интеллекта в решении задач обеспечения пожарной безопасности кораблей ВМФ

И.В. Образцов
ФГКВОУВО ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Санкт-Петербург, Россия, vunc-vmf@mil.ru

Благодарности
Работа выполняется в рамках НИР «Поиск и исследование методов и технологий искусственного интеллекта для применения в системах обеспечения пожарной безопасности кораблей», включенная в научный план ВС РФ на 2023 год и плановый 2024 и 2025 года.

Scientific and practical experience in the development and application of trust-based artificial intelligence systems in solving problems of ensuring fire safety of Navy ships

Ivan V. Obraztsov
FSKVOUVO VUNC Navy «Naval Academy», St. Petersburg, Russia, vunc-vmf@mil.ru

Acknowledgements
The work is being carried out within the framework of the research project «Search and study of methods and technologies of artificial intelligence for use in fire safety systems of ships», included in the scientific plan of the RF Armed Forces for 2023 and the planned 2024 and 2025.

Процесс контроля пожарной опасности на корабле осуществляется под руководством командира корабля каждым членом экипажа по месту его нахождения, дежурно-вахтенной службой и системой пожарной сигнализации. Анализ пожаров, отмеченных на кораблях и подводных лодках ВМФ, показывает актуальную проблему: по-прежнему происходит несвоевременное обнаружение пожарной опасности, неточное определение места и характера пожара, ложные срабатывания систем пожарной сигнализации, осуществляются ошибочные действия личного состава при борьбе с корабельным пожаром.

Для повышения эффективности борьбы с корабельными пожарами на начальных этапах их развития необходимо снизить вероятность возникновения возгораний путём разработки и технической

реализации раннего обнаружения, контроля и прогнозирования пожарной опасности в корабельных помещениях.

Внедрение технологий искусственного интеллекта для обеспечения пожарной безопасности кораблей ВМФ позволит решить несколько важных задач:

1. Улучшение системы обнаружения и прогнозирования пожарных ситуаций на корабле. Искусственный интеллект может анализировать большие объемы информации в режиме реального времени, выявлять скрытые закономерности и предсказывать возможные пожары.

2. Ускорение реакции на пожар. Благодаря использованию искусственного интеллекта, система обнаружения пожаров на корабле будет работать быстрее и точнее, что позволит быстрее обнаружить пожар и принять меры по его тушению.

3. Снижение риска возникновения пожаров на корабле. Использование искусственного интеллекта позволит своевременно выявлять и устранять возможные причины пожаров на корабле.

4. Оптимизация использования ресурсов для пожарной безопасности. Использование искусственного интеллекта позволит эффективнее использовать доступные ресурсы для обеспечения пожарной безопасности на корабле.

Внедрение метода обеспечения пожарной безопасности кораблей ВМФ с применением искусственного интеллекта обосновывается несколькими факторами:

Во-первых, корабль ВМФ представляет сложную техническую систему, на которой имеется множество особенностей, влияющих на безопасность и способных привести к возникновению пожаров. При этом пожар на корабле может привести к катастрофическим последствиям, поэтому обеспечение пожарной безопасности является одним из приоритетов.

Во-вторых, искусственный интеллект обладает способностью анализировать большие объемы данных гораздо быстрее и точнее, чем человек. Это позволяет быстрее обнаруживать и прогнозировать пожароопасные ситуации на корабле и принимать меры по их предотвращению.

В-третьих, применение искусственного интеллекта позволяет создать интеллектуальную систему контроля и управления, включающую в себя средства диагностики и прогнозирования пожароопасных ситуаций, а также средства интеллектуального реагирования на корабельный пожар. Это снижает вероятность возникновения пожаров, а также повышает эффективность и оперативность реагирования на них.

Основным результатом доклада будет обоснование целесообразности внедрения комплекса технологических решений с применением искусственного интеллекта в системы активной противопожарной защиты кораблей и подводных лодок ВМФ.

Практическая значимость доклада заключается в повышении эффективности обеспечения взрывопожарозащищенности кораблей ВМФ за счет интеллектуального контроля пожарной опасности в корабельных помещениях, в существенном сокращении времени (не более минуты) обнаружения источников возгораний, сокращении времени проведения разведки аварийных помещений и в переходе от информационной к интеллектуальной поддержке принятия решений при борьбе с пожаром.

Литература

1. Образцов И.В., Круглеевский В.Н., Гусева А.И., Малыхина Г.Ф. Использование нейросетевой модели обработки данных в системах обнаружения пожаров для определения места возгорания. Журнал «Морские интеллектуальные технологии» № 2(44) Т.2 за 2019 г., стр. 93-101.

2. Образцов И.В., Круглеевский В.Н., Наумов С.К., Кузнецов А.В. Судовое устройство определения источника возгорания мультикритериальным пожарным извещателем с использованием нейронного классификатора. Патент на полезную модель № 198734 от 24 июля 2020 г., патентообладатель: ООО «НПО Пожарная автоматика сервис».

3. Образцов И.В. Перспектива внедрения технологий искусственного интеллекта для обеспечения пожарной безопасности кораблей ВМФ. Сборник научных трудов по итогу III научно-практической конференции по развитию робототехники в области обеспечения безопасности жизнедеятельности «RoboEmercom». Москва, 2023.

4. Образцов И.В. Целесообразность применения интеллектуального распознавания пожара и автоматического включения систем пожаротушения в обеспечении противопожарной защиты кораблей ВМФ. Сборник материалов по итогу XXXV научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности», ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Балашиха, 2023.

5. Образцов И.В., Круглеевский В.Н., Гусева А.И., Малыхина Г.Ф. Способ определения местоположения очага пожара с использованием многослойного рекуррентного персептрона. Патент на изобретение № 2815322 от 13 марта 2024 г., патентообладатель: ФГАОУ ВО «СПбПУ».

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

35-й Международной научно-технической конференции

«ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

29-30 октября 2024 года,
Санкт-Петербург, Россия

ABSTRACTS

of the 35th International Scientific and Technological Conference

«EXTREME ROBOTICS»

October 29-30, 2024,
Saint Petersburg, Russia

Подписано в печать 14.10.2024
Формат А5. Печать – цифровая. Тираж 400 экз.
Отпечатано в ООО «Типография Фурсова» с оригинал-макета заказчика

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

29-30 ОКТЯБРЯ

Наземная робототехника

29-30 ОКТЯБРЯ

Морская робототехника

29-30 ОКТЯБРЯ

Технологии искусственного интеллекта и цифровые технологии разработки в робототехнике

29 ОКТЯБРЯ

Образовательная робототехника

29 ОКТЯБРЯ

Беспилотные авиационные системы

30 ОКТЯБРЯ

Роботизация атомной отрасли

30 ОКТЯБРЯ

Медицинская робототехника

30 ОКТЯБРЯ

Космическая робототехника

30 ОКТЯБРЯ

Промышленная и логистическая робототехника

29 ОКТЯБРЯ

Робототехника специального назначения *(по приглашениям)*

29 ОКТЯБРЯ

Заседание Технического комитета ТК-141 *(по приглашениям)*

Контакты

+7 (812) 552-45-21

mrspb@rtc.ru er.rtc.ru

29-30 ОКТЯБРЯ 2024 года

Cosmos St. Petersburg Pulkovskaya Hotel
Санкт-Петербург, площадь Победы, д. 1

ОРГАНИЗАТОРЫ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РТК

ГНЦ РФ «Центральный научно-исследовательский
и опытно-конструкторский институт робототехники
и технической кибернетики» (ГНЦ РФ ЦНИИ РТК)

+7(812)552-45-21 mrspb@rtc.ru er.rtc.ru