

23-24 НОЯБРЯ 2023 года

Park Inn by Radisson Pulkovskaya
Hotel & Conference Centre St. Petersburg,
Санкт-Петербург, площадь Победы, д. 1

ЭР-2023
ER-2023



СБОРНИК
ТЕЗИСОВ

Международной научно-технической
конференции "ЭР-2023"

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

34th Международной научно-технической конференции
"ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА"

ABSTRACTS

of the 34th International Scientific and Technological Conference
"EXTREME ROBOTICS"



ОРГАНИЗАТОРЫ



Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации



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



МИНОБРНАУКИ РОССИИ



ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

Выпускается с 2013 года

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 «Робототехника и техническая кибернетика» входит в первую категорию (К1) 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)

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

СЕКЦИИ



Наземная
робототехника



Космическая
робототехника



Морская
робототехника



Технологии искусственного
интеллекта в экстремальной
робототехнике



Роботизация
атомной отрасли



Медицинская
робототехника

КРУГЛЫЕ СТОЛЫ



Образовательная
робототехника



Цифровые технологии
разработки
в робототехнике



Беспилотные
авиационные
системы



Робототехника
специального
назначения



Промышленная
и логистическая
робототехника

+7(812)552-45-21

mrs@rtc.ru

er.rtc.ru



СБОРНИК ТЕЗИСОВ

34^{-я} Международной научно-технической конференции
«ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

23-24 ноября 2023 года,
Санкт-Петербург, Россия

ABSTRACTS

of the 34th International Scientific and Technological Conference
«EXTREME ROBOTICS»

November 23-24, 2023,
Saint Petersburg, Russia

er.rtc.ru

УДК 004.896:007.5

ББК 32.813

Э41

Э41 «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»,
международная научно-техническая конференция. Сборник тезисов
34^{-й} Международной научно-технической конференции. –
Санкт-Петербург: ООО «Типография Фурсова», 2023. – 306 с.: ил.

Сборник тезисов отражает круг актуальных проблем и задач в
сфере робототехнических систем и средств безопасности,
представленных на 34^{-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 34th International Scientific and Technological
Conference «EXTREME ROBOTICS». – Saint Petersburg: Company
«Tipografiya Fursova», 2023. – 306 p.

Collection of abstracts highlights an array of challenging issues and
tasks in the sphere of robotic systems and safety facilities discussed at
the 34th International Scientific and Technological Conference
«EXTREME ROBOTICS».

Abstracts are published with author's edition

Design by Irina Kuptzova, kuptzova@rtc.ru

ISBN 978-5-6048032-9-5

©ЦНИИ робототехники
и технической кибернетики,
2023

ОРГАНИЗАТОРЫ

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

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
- Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
- 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

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель:

Лопота Виталий Александрович, д.т.н., чл.-корр. РАН,
научный руководитель-генеральный конструктор,
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

Члены программного комитета:

Визильтер Юрий Валентинович, д.ф.-м.н., профессор РАН,
начальник подразделения, ФАУ «ГосНИИАС»

Даляев Игорь Юрьевич, к.т.н., главный конструктор
по экстремальной робототехнике и автоматизации,
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

Ермолов Иван Леонидович, д.т.н., заместитель директора
по научной работе ИПМ им. А.Ю. Ишлинского РАН

Железняков Александр Борисович, советник директора,
заместитель главного редактора научно-технического журнала
«Робототехника и техническая кибернетика»,
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

Иванов Александр Владиславович, начальник научно-
производственного комплекса, ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

Игнатиади Евгений Константинович, главный конструктор
по интеллектуальным системам управления и робототехнике,
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

Казанцев Виктор Борисович, д.ф.-м.н., главный научный
сотрудник НИЦ «Компоненты робототехники и сенсорики»,
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

Матвеев Станислав Алексеевич, к.т.н., проректор по научной
работе и инновационному развитию, БГТУ «Военмех»
им Д.Ф. Устинова

Медведкин Алексей Игоревич, заместитель главного
конструктора по интеллектуальным системам управления
и робототехнике, ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

Мещеряков Роман Валерьевич, д.т.н., профессор РАН,
зав. лабораторией киберфизических систем, ИПУ РАН

Попов Александр Владимирович, к.т.н, заместитель
директора по научной работе, ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

Проценюк Алексей Сергеевич, заместитель главного
конструктора робототехнических систем морского базирования,
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

Пряничников Валентин Евгеньевич, д.т.н., зав. кафедрой
СиУС МГТУ «Станкин» при ИПМ им. Келдыша РАН

Семенihin Петр Валерьевич, заместитель главного
конструктора по информационно-измерительным системам,
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

Смирнова Екатерина Юрьевна, заместитель руководителя
НИЦ «Компоненты робототехники и сенсорики»,
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

Тамм Александр Юрьевич, заместитель руководителя НИЦ
«Компоненты робототехники и сенсорики»,
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

Трутс Александр Александрович, заместитель главного
конструктора по робототехнике и роботостроению,
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

Цариченко Сергей Георгиевич, д.т.н., профессор, НИУ МГСУ

Шмаков Олег Александрович, заместитель директора,
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель:

Лопота Александр Витальевич, д.т.н., директор-главный
конструктор, ГНЦ РФ ЦНИИ РТК

Члены организационного комитета:

Анцев Георгий Владимирович, д.т.н., генеральный директор-
генеральный конструктор, АО «НПП «Радар ММС»

Емельянов Сергей Геннадьевич, д.т.н., профессор, ректор,
ЮЗГУ

Желтов Сергей Юрьевич, академик РАН, заместитель генерального директора по науке, ФАУ «ГосНИИАС»

Каляев Игорь Анатольевич, академик РАН, председатель совета по приоритету научно-технологического развития РФ

Кудж Станислав Алексеевич, д.т.н., ректор, РТУ МИРЭА

Лобин Михаил Александрович, генеральный директор исполнительной дирекции, первый вице-президент Союза промышленников и предпринимателей Санкт-Петербурга

Максимов Андрей Станиславович, к.т.н., председатель Комитета по науке и высшей школе

Медведев Вадим Викторович, генеральный директор фонда НТИ

Осыко Михаил Владимирович, член коллегии Военно-промышленной комиссии Российской Федерации

Пешехонов Владимир Григорьевич, академик РАН, научный руководитель, АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»

Попов Сергей Валерьевич, д.м.н., главный врач, СПб ГБУЗ Клиническая больница Святителя Луки

Ронжин Андрей Леонидович, д.т.н., профессор РАН, директор, СПб ФИЦ РАН

Рудской Андрей Иванович, академик РАН, ректор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Серебрянный Владимир Валерьевич, к.т.н., ректор, МГТУ «СТАНКИН»

Самойлов Александр Сергеевич, д.м.н., генеральный директор, ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Теплов Вадим Михайлович, д.м.н., руководитель отдела скорой помощи ПСПБГМУ им Павлова

Чурилов Олег Валерьевич, директор Департамента развития технологического предпринимательства и трансфера технологий Минобрнауки России

Шашкин Антон Павлович, Врио директора Департамента государственной научной и научно-технической политики Минобрнауки России

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «НАЗЕМНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Влияние симметричной конфигурации колёс меканум на тракторное управление мобильным роботом <i>С.А. Павлюковец, А.А. Радкевич</i>	20
Анализ помехозащищенности системы обмена данными группы робототехнических объектов <i>А.М. Чуднов, Я.В. Кичко</i>	22
Сущность и содержание проактивного контроля надежности средств хранения и обработки данных для наземных робототехнических комплексов специального назначения в условиях недостоверности и неполноты контрольно-диагностической информации <i>А.В. Михайличенко, И.Б. Паращук</i>	25
Средняя за интервал времени оценка защищенности и анализ рисков информационной безопасности интерфейсов взаимодействия робота и оператора <i>В.А. Саяркин, Е.С. Крюкова, И.Б. Паращук</i>	27
Планирование движения группы наземных роботов на пересеченной местности с использованием распределенных вычислений <i>Б.С. Лапин, И.Л. Ермолов, О.П. Гойдин</i>	30
Технология изготовления программного обеспечения СТЗ автономных РТК <i>А.А. Богуславский, С.М. Соколов</i>	32
Эксперименты по расширению функциональных возможностей мобильных сервисных роботов <i>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</i>	34
Применение активной лазерной проекции при 3D подводном оптическом сканировании <i>В.Е. Пряничников, А.Я. Ксензенко, В.В. Ястребов</i>	37
Разработка спаренных захватных устройств мобильных сервисных роботов <i>В.Е. Пряничников, М.Д. Соловьёва</i>	41

Кибермуравейник: программно-аппаратный комплекс для апробации моделей социального поведения в групповой робототехнике <i>В.В. Воробьев</i>	44
Распознавание сцен для задачи глобальной локализации робота <i>А.Д. Московский</i>	46
Моделирование российского гусеничного робота «Сервосила Инженер» в симуляторе Webots <i>А.С. Доброквашина, Е.А. Магид</i>	48
Система экологического контроля с использованием роботизированных устройств <i>С.С. Колмогорова, А.С. Колмогоров, В.С. Колмогоров</i>	51
Разработка интеллектуальной системы помощи водителю для общественного транспорта <i>Язан Вассуф, А.В. Тарасенко, Д.Ю. Осин, К.Г. Мещерин, В.В. Серебряный</i>	53
Особенности совместного применения ROS и MATLAB при полунатурном моделировании движения группы мобильных роботов <i>С.Ю. Курочкин, А.А. Тачков</i>	55
Автоматизированное проектирование дискретно-событийной системы группового управления мобильными противопожарными роботами <i>А.В. Козов</i>	58
Оптимизация конструкции рентгеношаблона транспарентного типа на основе двухслойных тонкопленочных мембран для задач рентгеновской нанолитографии <i>Г.Д. Демин, П.Ю. Глаголев, Н.А. Дюжнев, В.И. Корнеев</i>	60
Магнитное МЭМС микрозеркало для пространственной модуляции света, функционирующее за счёт действия силы Лоренца <i>Г.Д. Демин, П.П. Ким, И.Д. Евсиков, Н.А. Дюжнев</i>	62
Эвакуация техники группой робототехнических средств <i>А.А. Воробьев, В.В. Сергеев</i>	64
Метод повышения разрешающей способности ультразвуковой сенсорной системы роботов <i>В.П. Андреев, В.В. Майоров</i>	66

Моделирование согласованного управления четырьмя мотор-колесами робота без кинематической связи между ними <i>И.Г. Прохоренкова</i>	68
Проблемы повышения адаптивной устойчивости колесно-шагающего мобильного робота при его эксплуатации в условиях урбанизированной среды <i>Н.О. Топеха, А.И. Прядко, М.Т. Коротких</i>	70
Исследовательская и испытательная полигонная база для РТК СН <i>С.Е. Симанов, Р.В. Мещеряков</i>	72
Экосистема пультов дистанционного управления для наземных робототехнических комплексов <i>Н.О. Топеха, О.А. Шмаков, А.Ю. Седов</i>	74
Отдельные аспекты совершенствования транспортных роботов военного назначения <i>М.Е. Данилин, О.П. Меньшиков</i>	77

СЕКЦИЯ «МОРСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Об опыте создания и практического использования надводных аппаратов (Аппаратов надводных гидрографических — АНГ) и перспективы развития надводной робототехники <i>А.И. Жуков</i>	80
О некоторых новых применениях роботов вертикального перемещения <i>И.Л. Ермолов</i>	83
Особенности применения пневматических роботов вертикального перемещения с вакуумными устройствами фиксации в водной среде <i>Н.Н. Болотник, М.М. Князьков, Е.А. Семенов, В.Г. Чащухин, А.Н. Суханов, Ф.М. Бельченко, П.П. Остриков</i>	85
НПА для экологического мониторинга в аквакультуре <i>Г.К. Тевяшов, М.В. Мамченко</i>	87
Опыт комплексного сопровождения создания робототехнических средств освоения мирового океана <i>Г.А. Тумашик, Д.Ю. Шалаев, В.Э. Тютюков, М.А. Дмитриев</i>	88

Российские средства подводной навигации и связи: практика использования и перспективы <i>А.П. Абеленцев</i>	91
Телевизионная система телеуправляемого необитаемого подводного аппарата <i>В.В. Сергеев, С.И. Косянчук, Ю.С. Прибылов</i>	94
Опыт и перспективы применения групп морских робототехнических комплексов глайдерного типа для решения задач мониторинга и патрулирования акваторий <i>А.М. Маевский, И.А. Печайко</i>	96
Гидроакустическая навигационная система с длинной базой для определения местоположения автономного необитаемого подводного аппарата <i>А.А. Тузова, А.Г. Кузнецов</i>	99
О необходимости учета изменения тяги подруливающих устройств при исследовании динамики подводных аппаратов <i>А.В. Юрканский, И.И. Ремизов</i>	101
Моделирование течения внутри обтекателя типа «присоска Бернулли» <i>Н.А. Щур</i>	103
Применение крыльчатых движителей на телеуправляемых подводных аппаратах <i>И.Б. Калинин</i>	105
Перспективы развития морских робототехнических комплексов с учётом группового применения <i>А.С. Проценюк</i>	107
Опыт моделирования управляемого движения подводного аппарата с волнообразным движением плавников <i>К.К. Забелло, Н.А. Щур</i>	110
Сравнительное моделирование динамики подводного манипулятора на фиксированном и плавающем основаниях <i>В.А. Леонтьев</i>	112

Развитие методики совместного моделирования динамики аппарата и гидродинамики жидкости на деформируемых сетках для случая движения аппарата в следе за препятствием <i>Н.А. Щур, А.А. Пожилов</i>	114
Синтез алгоритмов управления движением необитаемого подводного аппарата в условиях непрогнозируемых течений и прочих возмущающих воздействий <i>Д.К. Серов</i>	116
Исследование алгоритмов распределения управляющих воздействий для управления движением гиперизбыточных необитаемых подводных аппаратов с использованием переменного количества двигателей <i>С.А. Солнышкин</i>	118
Упрощенное моделирование струйных течений, создаваемых за счёт работы двигателей <i>С.Т. Шекелаишвили, Н.А. Щур</i>	120
Обеспечение безопасности функционирования больших АНПА путем прогнозирования и контроля их энергоресурса <i>Л.А. Мартынова</i>	122
Моделирование расхождения и движения подводных аппаратов на базе тесно интегрированных одномерных и трехмерных моделей движения и моделей управления <i>С.А. Половко, Е.Ю. Смирнова, Н.А. Щур, А.А. Деулин, Е.В. Глазунова, Д.О. Козлов</i>	124
Уменьшение эффекта дисторсии при подводной съемке робототехническим комплексом с помощью алгоритмов преобразования графической перспективы <i>Ф.М. Бельченко, И.Л. Ермолов, Г.Н. Нагайцев, П.П. Остриков</i>	126
Телеуправляемый подводный аппарат с интегрированной трекинговой системой позиционирования <i>Н.Е. Капустин, М.С. Маршалов, А.К. Машков, И.А. Путинцев</i>	129
Автономный надводный аппарат для мониторинга с солнечной панелью и повышенной автономностью <i>С.П. Голиков, С.Г. Черный, Б.А. Авдеев</i>	130
Автономная система спасения утопающих <i>Т.Д. Вафин, П.Ю. Ковальчук, А.В. Шкуров</i>	132

СЕКЦИЯ «РОБОТИЗАЦИЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ»

Использование роботизированного гамма-комплекса в целях обнаружения и идентификации радиоактивных источников <i>А.И. Маджидов, В.В. Дмитренко, С.Е. Улин, К.Ф. Власик, В.М. Грачев, Р.Р. Егоров, К.В. Кривова, З.М. Утешев, И.В. Чернышева, А.Е. Шустов</i>	134
Анализ рынка робототехники в мире и в России <i>М.Н. Лысачев, А.Н. Прохоров</i>	136
Исследование влияния состава подстилающей поверхности, метеорологических параметров и энергии источника гамма-излучения на результаты авиационного радиационного мониторинга <i>И.Э. Новиков</i>	139
Особенности управления приводными модулями с изменяемым передаточным числом для экстремальных условий применения мобильных робототехнических комплексов <i>П.С. Григорьев, П.А. Лошицкий, М.Ю. Гук, Д.А. Мисбаков, А.А. Трутс</i>	142
Распознавание изображений промышленных отходов с использованием нейронных сетей <i>В.Д. Матвеев, А.Е. Архипов, И.С. Фомин</i>	144
Новые технологии проведения экспериментов на критических сборках <i>С.Ю. Касьянов, С.А. Андреев</i>	146

СЕКЦИЯ «ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ»

Шлагбаум, использующий функции компьютерного зрения и глубокого обучения <i>Т.Р. Тагиров, О.Г. Худасова, И.С. Фанин, А.С. Почкалов</i>	148
Автоматизация формирования наборов размеченных данных в интересах машинного обучения на основе имитационного моделирования <i>А.А. Смирнов, А.М. Кудрявцев</i>	149
Интерфейс мозг-компьютер виртуальной реальности с биологической обратной связью для управления искусственным интеллектом <i>Ю.Н. Островский, С.С. Тихонов, Н.Л. Виткевич, С.Л. Хомутовский</i>	153

Проблемы использования искусственного интеллекта в образовании <i>П.Н. Балахонов, В.И. Бегун, С.Л. Емельдяжева</i>	155
Подготовка специалистов к работе со сложной техникой <i>В.И. Бегун, П.Н. Балахонов</i>	157
Метод для выделения сигнальных зон автомобилей в сложном потоке и для распознавания и отсеивания похожих объектов <i>К.И. Кий</i>	159
Исследование возможности применения современных алгоритмов замыкания петель в биоморфной системе визуальной навигации RatSLAM <i>Ю.А. Мальшиев</i>	161
Система биомониторинга состояния здоровья оператора системы взаимодействия робот-человек <i>Д.Е. Чикрин, Д.М. Пашин, А.А. Егорчев, А.Ф. Фахрутдинов</i>	163
Основные риски взаимодействия кобот-человек и способы их минимизации <i>Д.Е. Чикрин, К.Р. Смольникова</i>	166
Реализация задачи сборки коллаборативной робототехнической ячейки с применением системы визуального контроля действий человека <i>У Го, В.В. Серебрянный, М.А. Шеружев</i>	169
Применение технологий компьютерного зрения в промышленной и сервисной робототехнике <i>А.Н. Хуснутдинов, М.В. Винокуров</i>	172
Онтологоориентированная методика зонирования местности и размещения сейсмических модулей робототехническими средствами <i>М.А. Астапова, М.Ю. Уздяев, В.М. Агафонов, В.М. Брыксин</i>	174
Решение задачи детекции паттерна кривой с использованием сегментной спайковой модели нейрона (CSNM) <i>Д.А. Беркман, В.В. Иванова, А.М. Корсаков, Л.А. Станкевич, А.В. Бахшиев</i>	176
Распараллеливание процессов при решении задачи классификации сегментной спайковой моделью нейрона на GPU <i>В.В. Иванова, И.С. Фомин, А.М. Корсаков, А.В. Бахшиев</i>	178

Формирование виртуальной физической среды в режиме реального времени для отладки решений и обучения систем управления робототехнических комплексов
А.И. Медведкин, М.И. Астахов, И.С. Бунар, А.С. Островский, А.В. Скорпион..... 180

Разработка алгоритма адаптивной системы стыковки НПА с БЭК с использованием методов машинного обучения
Е.К. Игнатиади, М.В. Михайлов, В.А. Гончаров, В.А. Поздняков, В.А. Лобкова, С.В. Лыков 183

СЕКЦИЯ «МЕДИЦИНСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Программно-аппаратный комплекс роботической биопечати на пациентах
А.А. Левин 186

Разработка реабилитационного комплекса Гефест для пациентов после перенесенного Инсульта
А.А. Цыгулин 188

Разработка системы управления макета коленного модуля
П.И. Грешняков, А.Б. Прокофьев, А.М. Гареев, В.Н. Илюхин 191

Синтез гибкого механизма (compliant mechanism) коленного сустава медицинского экзоскелета
А.В. Капустин 193

Алгоритм генерации траектории биопринтера для заполнения глубоких дефектов сложной формы
А.А. Левин, А.А. Воронников, Ю.В. Подураев 195

СЕКЦИЯ «КОСМИЧЕСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Ремонтопригодность лунных роботов
А.В. Каленик, О.А. Сапрыкин, О.В. Толстель 198

Применение методологии TDD при разработке программного обеспечения для космических аппаратов
Д.М. Гамков 201

Микроробототехнический комплекс для инспекции космических аппаратов
Н.Н. Болотник, В.Г. Чащухин, А.А. Жуков, А.С. Дмитриев 202

Анализ влияния способа имитации пониженной гравитации на достоверность оценки динамики взаимодействия колесного движителя планетохода со слабосвязанным грунтом <i>А.И. Быков, А.В. Артемьев</i>	204
Влияние баллистической структуры орбитальной группировки космических аппаратов на результаты применения многоспутниковой системы наблюдения за морскими объектами <i>М.И. Калинов, В.А. Родионов</i>	206
О разработке средств моделирования причаливания для перспективной российской космической станции <i>А.В. Яскевич</i>	208
Поисковые разработки проектного облика мобильных платформ для лунной базы <i>М.И. Маленков, В.А. Волов, А.Н. Богачев, Н.К. Гусева, Е.А. Лазарев, А.Т. Базилевский</i>	210
Методика синтеза и применения динамической модели робота, оснащенного упругими манипуляторами <i>В.М. Копылов, В.В. Титов</i>	212
Разработка алгоритма управления шагающим космическим роботом с упругими шарнирами и замкнутой избыточной кинематикой <i>И.В. Шардыко, В.В. Титов, В.М. Копылов</i>	215
Разработка шарнира с переменной упругостью оппозитного типа <i>И.В. Шардыко, А.В. Васильев, В.М. Копылов</i>	217
Операционно-технологические аспекты использования коллаборативных роботизированных технологий и средств при управлении и эксплуатации пилотируемых космических комплексов в обеспечение автономности выполнения совместной человеко-машинной деятельности в пилотируемом космическом полете <i>В.А. Дикарев, А.Ю. Кикина, Ю.С. Чеботарев, А.Н. Симбаев, Ю.С. Агаркова, Э.В. Никитов</i>	220

КРУГЛЫЙ СТОЛ «ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ В РОБОТОТЕХНИКЕ»

Перспективы внедрения интеллектуального распознавания корабельного пожара в задачах автоматического включения систем пожаротушения на кораблях ВМФ <i>И.В. Образцов</i>	222
Электрические двигатели с предельным значением удельной механической мощности <i>С.В. Колодкин, Д.А. Вырыханов</i>	224
Алгоритм для расчета максимальной оценки суммарной погрешности лидара робота <i>Г.К. Тевяшов, М.В. Мамченко</i>	226
Комплексный виртуальный огневой стенд <i>Н.С. Спирин, А.В. Корнев, Д.А. Останко, А.С. Козелков, Р.Н. Жучков, В.В. Курулин</i>	228
Разработка методики моделирования зубчатого зацепления волнового редуктора с применением МКЭ <i>М.И. Кузьмин, А.Ю. Тамм, И.Г. Прохоренкова</i>	230
Smart-анализатор воздуха Cleair-DI2C <i>И.А. Сырцов, Л.С. Крыжевич</i>	232
Цифровой двойник коллаборативного робота-манипулятора <i>К.А. Демидова</i>	234
Образовательное решения для программирования в робототехнике на базе виртуального полигона <i>А.А. Жиленков, Т.Д. Кайнова</i>	236
Компьютерный тренажер на базе симулятора вертолета <i>М.Ю. Серебряков, И.С. Моисеев, А.А. Жиленков</i>	239
Алгоритмы программы управляющего сигнала силового активного фильтра питания подводных роботов <i>А.В. Вынгра, С.Г. Черный</i>	241

КРУГЛЫЙ СТОЛ «ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Методическое обеспечение образовательной деятельности в области робототехники <i>М.Е. Данилин, О.П. Меньшиков, К.Н. Юсупова</i>	244
--	-----

Разработка аппаратно-программной части для «умного» пчелиного улья с целью проведения научно-исследовательских работ со школьниками <i>А.В. Проскурин, О.Г. Худасова, Ю.Г. Худасова, С.Ю. Быканов</i>	246
Цифровая экосреда реализации образовательных технологий по робототехнике и мехатронике в дополнительном образовании детей <i>Д.Э. Салова, Т.А. Морозова, А.В. Варфоломеев</i>	248
Антропоморфный робот для проведения экскурсий в лаборатории робототехники <i>А.А. Мальшев, А.Д. Московский</i>	250
Опыт разработки и использования учебно-практических морских роботов в СПбГМТУ <i>М.Н. Чемоданов, И.В. Кожемякин, А.П. Блинков, О.В. Захарьева</i>	253
Опыт внедрения образовательных наборов подводной робототехники в образовательные учреждения <i>Ю.А. Вебер, Р.Г. Котлев, И.А. Путинцев, Д.М. Репин</i>	255
Роботы спасатели в виртуальной среде RCJ Rescue Simulatio <i>Д.А. Анисимов, Е.С. Шандаров</i>	256
Развитие робототехнических соревнований Кубок РТК – «Высшая лига» <i>Г.В. Казанцев, П.А. Гаврилов, И.В. Сеньковски, А.В. Печуркин, С.Ю. Станкевич</i>	258
Кубок РТК. Развитие робототехнических соревнований в соответствии с вызовами современности <i>И.В. Сеньковски, П.А. Гаврилов, Г.В. Казанцев, А.В. Печуркин, С. Ю. Станкевич</i>	261

КРУГЛЫЙ СТОЛ «БЕСПИЛОТНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ»

Перспективы развития малых беспилотных летательных аппаратов коптерного типа <i>В.И. Бегун, А.Л. Калинин, А.А. Шабунин</i>	264
Моделирование траектории движения беспилотного летательного аппарата самолетного типа при посадке на роботизированное транспортное средство <i>А.Ю. Гетманцев, Т.В. Меньшакова</i>	266

Синтез многоуровневой архитектуры системы наведения и автоматической посадки беспилотного летательного аппарата на движущееся транспортное средство <i>А.Ю. Гетманцев, Т.В. Меньшакова, Н.В. Тихомиров</i>	268
Поведение беспилотного летательного аппарата мультроторного типа при выходе из строя одного двигателя <i>Т.Е. Девятковский, П.М. Трефилов</i>	270
Миниатюрный тепловой датчик давления на основе тепловой конвекции газа для прецизионного измерения высоты в пилотируемых летательных аппаратах <i>Г.Д. Демин, П.П. Ким, Н.А. Дюжев</i>	272
Общая структура системы визуальной навигации БПЛА по видеоданным <i>К.Д. Коновалов, С.В. Кулешов</i>	274
Контроль технического состояния промышленных систем при помощи беспилотных летательных аппаратов <i>А.В. Богомолов, Е.С. Солдатов, А.С. Солдатов</i>	277
Методика подготовки операторов беспилотных летательных аппаратов к пилотированию по приборам <i>А.С. Муравьев, И.С. Муравьев</i>	279

КРУГЛЫЙ СТОЛ «ПРОМЫШЛЕННАЯ И ЛОГИСТИЧЕСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Исследование деформаций звеньев триптерона и методы преодоления их негативного влияния <i>Г.Н. Нагайцев</i>	281
Роботизированный комплекс для обследования подстанций <i>Е.Д. Малаева, А.А. Любишев</i>	283
Создание робота для мониторинга линии электропередач <i>Н.М. Якупов</i>	284
Разработка промышленного экзоскелета для горно-металлургических предприятий Арктической зоны <i>В.А. Давыдов</i>	286
Конструктивные особенности промышленных экзоскелетов поддержки спины <i>И.С. Барынкин, А.И. Прядко, В.В. Варлашин</i>	288

Подходы к оценке и методы тестирования промышленных экзоскелетов <i>В.В. Варлашин, И.С. Барынкин, А.И. Прядко</i>	289
Захватные устройства для работы в стесненных пространствах <i>Д.О. Дохов, А.Э. Тарасов, А.Н. Тимофеев</i>	292
Шарниры роботов на базе отечественных планетарно-дифференциальных редукторов <i>Ю.А. Новосёлов, А.Э. Тарасов, А.Н. Тимофеев</i>	294
Вопросы разработки тазобедренного шарнира активного промышленного экзоскелета <i>А.И. Прядко, И.С. Барынкин, В.В. Варлашин</i>	296
Применение VR-технологий для управления антропоморфной манипуляционной системой <i>М.Г. Фиков, В.В. Варлашин</i>	298
Перспективные полупроводниковые материалы для применения в экстремальных условиях <i>И.Э. Новиков</i>	300
Перспективные материалы в области полупроводниковой техники для решения задач экстремальной робототехники <i>О.В. Вольпяс, Ю.Ю. Бунькова, М.В. Ремизов</i>	303

СЕКЦИЯ «НАЗЕМНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

**Влияние симметричной конфигурации колёс меканум
на траекторное управление мобильным роботом**

С.А. Павлюковец, А.А. Радкевич

*БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь, s.pauliukavets@gmail.com,
arrryomradkevichbntu@gmail.com*

**Impact assessment of mecanum wheels symmetrical position
on the trajectory control of a mobile robot**

Siarhei A. Pauliukavets, Artsiom A. Radkevich

*Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus,
s.pauliukavets@gmail.com, arrryomradkevichbntu@gmail.com*

Разработка математических моделей систем управления и изучение управляемости мобильных роботов со всенаправленными колёсами меканум в большинстве случаев осуществляется при наиболее распространённой схеме расположения колёсных роликов относительно оси симметрии робота (направление роликов диагонально расположенных колёс образует воображаемый прямоугольник). Вместе с тем, иной вариант симметричного размещения колёс меканум, при котором пространственные линии осей вращения роликов диагонально расположенных колёс взаимно пересекаются, практически не рассматриваются. Исходя из этого, актуальной задачей при проектировании мобильных роботов является определение наиболее подходящей симметричной конфигурации расположения меканум колёс с точки зрения управляемости роботом. По этой причине данная работа ставит целью рассмотрение двух возможных случаев симметричного расположения колёс меканум и определения наиболее оптимальной конфигурации при траекторном управлении мобильным роботом.

Как известно, инверсная кинематика четырёхколёсного мобильного робота описывается матрицей Якоби, которая задаёт математическую модель его всенаправленного движения [1]. Рассмотрим случай симметричного расположения колёс меканум относительно осей геометрического центра робота. При случае диагонального расположения колёс, где воображаемые линии осей вращения роликов пересекаются и образуют прямоугольник, матрица Якоби имеет вид

$$J = -\frac{1}{r} \cdot \begin{bmatrix} -1 & 1 & \frac{l+d}{2} \\ 1 & 1 & -\left(\frac{l+d}{2}\right) \\ -1 & 1 & -\left(\frac{l+d}{2}\right) \\ 1 & 1 & \frac{l+d}{2} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где r – радиус колеса меканум, м; l – расстояние между центрами вращения двух соседних колёс, размещённых вдоль корпуса робота, м; d – расстояние между центрами вращения двух соседних колёс, размещённых на разных сторонах корпуса робота, м.

В данном случае оси вращения катков диагонально расположенных колёс пересекаются в четырёх точках за пределами корпуса робота, ранг матрицы Якоби равен 3, а сама матрица является полноранговой. По этой причине, как предположено в [2], данная конфигурация может обеспечить всенаправленное движение.

В случае диагонального расположения колёс, где воображаемые линии осей вращения роликов пересекаются близко к геометрическому центру робота, образуя квадрат, матрица Якоби представляет собой выражение

$$J = -\frac{1}{r} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & \frac{l-d}{2} \\ -1 & 1 & -\left(\frac{l-d}{2}\right) \\ 1 & 1 & -\left(\frac{l-d}{2}\right) \\ -1 & 1 & \frac{l-d}{2} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

При таком расположении колёс, хотя оси вращения катков пересекаются в четырёх точках, они образуют квадрат внутри робота, а ранг столбца матрицы Якоби изменится с 3 на 2 и система может утратить свою всенаправленность.

На практике, помимо выполнения условий полного ранга матрицы Якоби, в конфигурации также требуются хорошая управляемость и ходовые качества. Учитывая влияние внешних динамических

факторов, таких как трение и момент инерции, при работе робот будет иметь значительное отклонение от заданной траектории.

По этой причине, при проектировании систем управления мобильными роботами применяют колёсную конфигурацию с пересечением осей вращения роликов за пределами робота, которая считается наиболее оптимальной, а конфигурация, соответствующая матрице Якоби (2), хотя в теории и может реализовать всенаправленность движения, обладает худшими ходовыми качествами и в процессе движения робота может способствовать отклонению его от заданной траектории.

Литература

1. Cheng, Long, Li, Yunwang. Dai, Sumei, Zheng, Yuwei, Tian, Feng, Yan, Xucong. Modeling and Kinematics Simulation of a Mecanum Wheel Platform in RecurDyn. // Journal of Robotics, Volume 2018.
2. Li Y, Dai S, Zhao L, Yan X, Shi Y. Topological Design Methods for Mecanum Wheel Configurations of an Omnidirectional Mobile Robot. Symmetry. 2019.

Анализ помехозащищенности системы обмена данными группы робототехнических объектов

А.М. Чуднов, Я.В. Кичко

Военная академия связи, Санкт-Петербург, Россия, chudnow@yandex.ru

Analysis of noise immunity of the data exchange system of a group of robotic objects

Alexander M. Chudnov, Yana V. Kichko

*Military Telecommunications Academy, St. Petersburg, Russia,
chudnow@yandex.ru*

Использование роботов и беспилотных летательных аппаратов в современном обществе заметно увеличивается с каждым годом. Самые передовые технологии и технические решения в первую очередь находят свое применение в экстремальных сферах, таких как военное дело, ядерная энергетика, ликвидация последствий природных и техногенных катастроф, исследования открытого космоса и глубин мирового океана, медицина.

Существует ряд задач, при решении которых применение одного роботизированного объекта не принесет ощутимого эффекта, поэтому появился новый подход к конструированию роботов, названный «групповой робототехникой».

Система роботов состоит из большого числа объектов, организация связи между которыми является одним из важнейших моментов. Обычно обмен данными организовывается на базе беспроводных систем передачи информации в радиочастотном диапазоне, которые подвержены влиянию различных помех, как преднамеренных (системы радиоэлектронного подавления противника при ведении боевых действий), так и непреднамеренных, таких как промышленные помехи в больших городах. Эффективность функционирования группы и её физическое состояние напрямую зависит от степени обеспечения системой связи требуемых показателей обмена сообщениями между объектами.

В данной работе предлагается методика анализа помехозащищенности системы обмена данными (СОД) в экстремальных условиях, под которыми будем понимать наихудшее распределение совокупности помех по СОД.

Ключевые отличия методики от тех, которые предлагались ранее, заключаются в следующем:

1. Считаем, что источник помехи (ИП) оптимальным образом распределяет энергетический ресурс на сетевом уровне СОД с учетом оптимизированного воздействия на физическом и канальном уровнях.

2. В качестве критерия оптимальности СОД определен показатель, характеризующий вероятность своевременной доставки сообщений в сети.

3. Уровень помехозащищенности СОД определен как максимальная мощность помехи, при которой гарантированно обеспечивается заданная вероятность своевременной доставки сообщений. Отметим, что данный показатель аналогично [1] пересчитывается к вероятности своевременной доставки пакетов данных, поэтому анализ помехозащищенности сводится к решению следующей оптимизационной задачи

$$P(S, \mathcal{P}) = \inf_{V \in \mathcal{V}(\mathcal{P})} P(S, V), \quad (1)$$

где: \mathcal{P} – мощность ИП, $\mathcal{V}(\mathcal{P})$ – множество допустимых вариантов постановки помехи с мощностью, не превышающей \mathcal{P} , $P(S, V)$ – вероятность своевременной (за время T^*) доставки пакета данных при варианте постановки помехи V для СОД, структура и алгоритм

функционирования которой заданы конструкцией S .

Задачу (1) удобно рассматривать в рамках игры $\mathcal{G} = \langle \mathcal{S}, \mathcal{V}, P(\cdot, \cdot) \rangle$ на множествах стратегий \mathcal{S}, \mathcal{V} соответственно первого игрока – системы (СОД), второго игрока – контрсистемы (ИП) с функцией выигрыша (первого игрока) $P(\cdot, \cdot)$ [2-4]. Для заданной конструкции S величина $P(S, \mathcal{P})$, определенная выражением (1), соответствует нижней цене игры \mathcal{G} , обеспечиваемой стратегией $S \in \mathcal{S}$. Участвующие в задаче (1) компоненты $\mathcal{V}, S, P(\cdot, \cdot)$ формализуются при описании модели взаимодействия СОД и ИП.

При задании минимально допустимой вероятности P^* своевременной (за время T^*) доставки пакета данных решение задачи (1) определяет помехозащищенность \mathcal{P}^* СОД S соотношением

$$P(S, \mathcal{P}^*) = P^* . \quad (2)$$

Определенный соотношениями (1), (2) показатель помехозащищенности характеризует максимальную мощность ИП, при которой СОД S гарантированно обеспечивает требуемую вероятность своевременной доставки сообщений объектам группы роботов. Учитывая, что класс помех с ограничениями на среднюю мощность является наиболее широким [5] и оценки гарантированных показателей эффективности СОД для этого случая представляют собой соответствующие оценки и для других классов помех, расчеты помехозащищенности осуществляются для ИП с ограниченной средней мощностью.

Модель взаимодействия СОД с ИП декомпозирована на 3 уровня – физический, каналный и сетевой, на каждом из которых решаются задачи оптимизации параметров СОД и распределения помехи.

Разработанная методика позволяет оценить показатели своевременности доставки сообщений в СОД группы робототехнических объектов и помехозащищенность СОД как максимальную мощность ИП, при которой гарантированно обеспечиваются требования к этим показателям. В то же время на основании результатов исследования помехозащищенности системы имеется возможность выявить возможные проблемы в функционировании СОД, заблаговременно устранить их причины и принять к реализации обоснованные технические решения.

Литература

1. Чуднов А. М., Губская О. А., Кичко Я. В. Методика анализа вероятностно-временных характеристик обмена сообщениями в ком-

плексе беспилотных летательных аппаратов // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. № 11. С. 117–124.

2. Bhattacharya S., Başar T. Game-theoretic analysis of an aerial jamming attack on a UAV communication network // Proc. 2010 American Control Conference (ACC 2010), Baltimore, Maryland. 2010. P. 818–823.

3. Wang B., Wu Y., Liu K. J. R., Clancy T. C. An anti-jamming stochastic game for cognitive radio networks // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2011. Vol. 29. No. 4. P. 877–889. doi: 10.1109/JSAC.2011.110418.

4. Wu Y., Wang B., Liu K. J. R., Clancy T. C. Anti-jamming games in multi-channel cognitive radio networks // IEEE J. Sel. Areas Commun. 2012. Vol. 30. No. 1. P. 4–15.

5. Чуднов А. М. Теоретико-игровые задачи синтеза алгоритмов формирования и приема сигналов // Проблемы передачи информации. 1991. Том 27. №3. С.57–65.

**Сущность и содержание проактивного контроля
надежности средств хранения и обработки данных
для наземных робототехнических комплексов
специального назначения в условиях недоверности
и неполноты контрольно-диагностической информации**

А.В. Михайличенко, И.Б. Парашчук

*Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного,
Санкт-Петербург, Россия, shchuk@rambler.ru*

**The essence and content of proactive control of the reliability
of data storage and processing facilities for ground-based
robotic complexes for special purposes in conditions
of unreliability and incompleteness of control and diagnostic
information**

Anton V. Mikhailichenko, Igor B. Parashchuk

*Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military Academy
of Communications, St. Petersburg, Russia, shchuk@rambler.ru*

Объективная необходимость интенсификации инновационных разработок в интересах создания и совершенствования наземных робототехнических комплексов (НРТК) специального назначения

(СН), необходимость построения систем контроля надежности и управления такими нетривиальными силами и средствами, диктуется не только существующей военно-политической обстановкой, но и вполне сложившимися тенденциями развития чрезвычайных ситуаций и эволюции вооруженной борьбы в современном мире [1].

В этих условиях все большую важность приобретает необходимость перехода на качественно иной, новый уровень надежности робототехнических комплексов такого класса, все более возрастает значимость формулировки и выполнения требований к показателям работоспособности, восстанавливаемости, ремонтпригодности и сохраняемости (РВРС) элементов и отдельных средств НРТК СН, например, таких, как средства хранения и обработки данных (СХОД) [2].

Именно поэтому одним из основных вопросов в рамках контроля надежности сложных информационно-технических систем, комплексов и средств, например, таких, как СХОД для НРТК СН, является формулировка сущности и содержания методики проактивного контроля (оценки) параметров РВРС объектов такого класса, обоснование метода оценки комплексного показателя их технической надежности.

В рамках предложенного подхода и опираясь на результаты проведенных исследований по методологии оценки надежности подобных сложных информационно-технических систем, средств и комплексов, предлагается методика проактивного контроля надежности СХОД НРТК СН, основанная на методах теории фильтрации с применением гранулярных вычислений. При этом предполагается наличие двух стадий проактивного контроля надежности [3]:

Первая стадия: использование для получения проактивных (прогностических) значений показателей надежности стохастической математической модели смены состояний показателей надежности СХОД НРТК СН в виде управляемых цепей Маркова в форме разностных стохастических уравнений.

Вторая стадия: замена процедуры непосредственного многомерного интегрирования совместной плотности распределения вероятностей смены состояний показателей надежности процедурой однократного интегрирования условных по наблюдениям плотностей, параметры каждой из которых (математическое ожидание и дисперсия) определяются на основе оценочных значений показателей надежности СХОД НРТК СН.

Таким образом, сформулированы сущность и содержание стадий проактивного контроля надежности СХОД НРТК СН, основанного на оценке показателей РВРС данных средств.

Данный подход позволяет повысить достоверность оценки показателей, характеризующих различные аспекты надежности СХОД НРТК СН, обеспечивая, тем самым, предпосылки для повышения качества процесса общего контроля и регулирования глобальной технической надежности средств и комплексов подобного типа в различных экстремальных условиях обстановки и с учетом недостоверности и неполноты контрольно-диагностических данных о текущих и прогнозных значениях показателей надежности.

Литература

1. Лопота А.В., Николаев А.Б. Наземные комплексы военного и специального назначения. – СПб.: ЦНИИ РТК, 2019. – 30 с.
2. Борисов О.И., Громов В.С., Пыркин А.А. Методы управления робототехническими приложениями. Учебное пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 108 с.
3. Михайличенко А.В., Паращук И.Б. Этапы методики оценки надежности мобильных дата-центров в условиях зашумленности исходных данных // Информатика и космос. №1. 2023. С. 36-44.

Средняя за интервал времени оценка защищенности и анализ рисков информационной безопасности интерфейсов взаимодействия робота и оператора

В.А. Саяркин, Е.С. Крюкова, И.Б. Паращук
*Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного,
Санкт-Петербург, Россия, shchuk@rambler.ru*

Time interval average security assessment and information security risk analysis of robot and operator interaction interfaces

Vitaly A. Sayarkin, Elena S. Kryukova, Igor B. Parashchuk
*Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny Military Academy
of Communications, St. Petersburg, Russia, shchuk@rambler.ru*

К программно-аппаратным интерфейсам взаимодействия робота и оператора (ИВРиО) наземных робототехнических комплексов (НРТК) в современных условиях предъявляются жесткие требования по защищенности. Это связано как с бурным развитием НРТК

специального назначения, роботизированных беспилотных средств городского транспорта (метро, такси, дроны), так и с растущими возможностями нарушителей по реализации уязвимостей систем такого класса, обеспечивающих дистанционное управление роботами, особенно, применяемыми в опасных для человека условиях [1].

В этих условиях на передний план выходят задачи анализа и идентификации аномальных данных, характеризующих атрибуты («симптомы») потенциальных уязвимостей в безопасности ИВРиО. С учетом этого, анализ и идентификация может быть осуществлена, по нашему мнению, для пяти основных групп признаков уязвимостей ИВРиО: признаки уязвимостей кода – уязвимости, появившиеся в процессе разработки программного обеспечения для ИВРиО; признаки уязвимостей конфигурации – уязвимости, появившиеся в процессе задания конфигурации (настройки) программного обеспечения и технических средств ИВРиО; признаки уязвимостей архитектуры ИВРиО; признаки организационных уязвимостей, появившихся как результат отсутствия (недостатка) организационных мер защиты ИВРиО, и, наконец, признаки многофакторных уязвимостей, появившиеся в результате наличия комбинации нескольких рассмотренных ранее угроз ИВРиО НРТК [2].

С учетом этого, возможно с системных позиций подойти к анализу и классификации потенциальных рисков информационной безопасности ИВРиО. Риски информационной безопасности ИВРиО могут быть сгруппированы с учетом их уязвимостей по нарушаемым аспектам информационной безопасности. Тогда можно предположить, что в интересах оценки защищенности интерфейсов, риски их информационной безопасности, как и для иных сложных программно-аппаратных систем, могут быть разделены на риски с точки зрения нарушения конфиденциальности, целостности и доступности контрольно-диагностических и иных данных, передаваемых между роботом и оператором в интересах управления НРТК.

Рассмотренные признаки уязвимостей ИВРиО и результаты анализа рисков их информационной безопасности являются исходными данными для реализации своевременной и достоверной оценки защищенности объектов такого класса. Методы и способы оценки защищенности сложных информационно-технических систем приобретают все большую актуальность в современных условиях. Однако используемые в настоящий момент методы и способы точечного контроля параметров защищенности не во всем и не всегда соответствуют требованиям современных систем управления НРТК.

В этой связи предлагается новый способ интервальной оценки защищенности современных ИВРиО, в который заложена новая совокупность существенных признаков уязвимостей и определена последовательность действий по расчету усредненных параметров защищенности. Сформулированы сущность и содержание этапов интервальной оценки защищенности, основанной на методах теории интервальных средних [3].

Данный подход позволяет получать средние за интервал времени верхние и нижние оценки защищенности интерфейсов взаимодействия робота и оператора, а также оценки защищенности их компонентов, что, в конечном итоге, позволяет повысить достоверность принимаемых решений по реализации политики безопасности в подсистеме дистанционного управления наземными робототехническими комплексами.

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 (Политех). №1(214), 2015. С. 226-234.

2. Парашук И.Б., Чечулин А.А. Защищенность человеко-машинного интерфейса для интеллектуальной транспортной среды // Перспективные направления развития отечественных информационных технологий (ПНРОИТ-2020): Материалы VI межрегиональной научно-практической конференции. 22-26 сентября 2020 г. – Севастополь: СевГУ, Т. 1, 2020. С. 65-66.

3. Гуров С.В., Уткин Л.В. Надежность систем при неполной информации. – СПб.: Любавич, 1999. 160 с.

Планирование движения группы наземных роботов на пересеченной местности с использованием распределенных вычислений

Б.С. Лапин¹, И.Л. Ермолов², О.П. Гойдин¹

¹*ВНИИА им. Духова, Москва, Россия, mail@borislap.ru*

²*ИПМех РАН, Москва, Россия, ermolov@ipmnet.ru*

Motion planning for AGVs on rough terrain using distributed computing

Boris S. Lapin¹, Ivan L. Ermolov², Oleg P. Goidin¹

¹*FSUE «VNIIA», Moscow, Russia, mail@borislap.ru*

²*IPMech RAS, Moscow, Russia, ermolov@ipmnet.ru*

Управление группой наземных роботов на пересеченной местности является актуальным направлением в робототехнике. Это подтверждается анонсированной DARPA в прошлом году программой RACER [4]. При этом, само по себе направление группового управления роботами активно развивается последние 10 лет [3]. Существует множество исследований, посвященных движению групп беспилотных летательных аппаратов. При этом, стоит отметить вклад отечественных ученых в эту область. А именно, алгоритмы децентрализованного управления БПЛА [1] и управление строем БПЛА [2].

Заметим, что движение на пересеченной местности, в отличие от движения в воздухе, значительно сложнее. Это вызвано разнородностью грунтовых оснований и существенному влиянию этих грунтовых оснований как на характеристики движения, так и его характер. При этом, движение значительно различается в зависимости от типа движителя наземного подвижного аппарата (робота). Авторами данной работы описывается разработка методов и алгоритмов управления группой наземных мобильных роботов, которые минимально зависят от используемой модели взаимодействия между движителем робота и опорной поверхностью. Авторами ранее уже исследовались задачи автономной оценки роботом характеристик опорного основания [5], движения строя роботов по заданной траектории [6] и задача планирования движения строя роботов с учетом свойств опорных поверхностей [7], которой посвящена настоящая работа.

Литература

1. Галустьян Н.К. Децентрализованное управление группой квадрокоптеров. Москва: Автореферат диссертации к.т.н., 2017. 17 с.

2. Ivanov D., Kapustyan S., Kalyaev I. Method of Spheres for Solving 3D Formation Task in a Group of Quadrotors // Interactive Collaborative Robotics. First International Conference, ICR 2016, Budapest, Hungary, August 24-26, 2016, Proc. Book «Lecture Notes in Computer Science», vol. 9812 2016. Springer International Publishing Switzerland. 2016. pp. 124-132.
3. Dorigo Marco. Swarmanoid: A Novel Concept for the Study of Heterogeneous Robotic Swarms // IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol. 20, No. 4, 2013. pp. 60-71.
4. Robotic Autonomy in Complex Environments with Resiliency (RACER) [Электронный ресурс] // DARPA: [сайт]. [2022]. URL: <https://www.darpa.mil/program/robotic-autonomy-in-complex-environments-with-resiliency>
5. Gradetsky V., Ermolov I., Knyazkov M., Semenov E., Sukhanov A., Lapin B., Sobolnikov S. Parameters identification in ugv group for virtual simulation of joint task // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2020. Т. 154. С. 371-381
6. Градецкий В.Г., Ермолов И.Л., Князьков М.М., Лапин Б.С., Семенов Е.А., Собольников С.А., Суханов А.Н. Система группового транспортного управления мобильными наземными роботами на различных грунтах // Робототехника и техническая кибернетика., Т. 8, № 1, 2020. С. 61-71.
7. Ермолов И.Л., Лапин Б.С. Распределенное планирование движения для группы совместно переносящих груз роботов с учетом свойств опорных поверхностей // Мехатроника, автоматизация, управление. Т. 24. № 6. 2023. С. 327-334.

Технология изготовления программного обеспечения СТЗ автономных РТК

А.А. Богуславский, С.М. Соколов
*ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва, Россия, anbg74@mail.ru,
sokolsm@list.ru*

Technology of manufacturing vision system software for unmanned robot

Andrey A. Boguslavsky, Sergey M. Sokolov
*Keldysh Institute of Applied Mathematics of Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia, anbg74@mail.ru, sokolsm@list.ru*

Развитие робототехники требует всё большей степени автономности подвижных средств. Автономность, особенно в «интеллектуальной» составляющей, выдвигает всё возрастающие требования к программному обеспечению информационно-управляющих систем. Бортовые программные системы, реализующие необходимое алгоритмическое обеспечение, становятся распределёнными, использующими гетерогенные вычислители и всё более сложными, как по объёму, так и по взаимосвязям отдельных частей. Несмотря на наличие большого опыта в создании сложных программных систем, доступных библиотек алгоритмов, связующего программного обеспечения, изготовление бортового программного обеспечения (ПО) требует системного подхода, специального инструментария и технологии изготовления.

В качестве методов организации процесса разработки ПО общего назначения в последнее десятилетие наблюдается широкое внедрение методов гибкой (agile) разработки [1, 2]. Эти методы предлагают конкретные способы переноса предложенных ранее итерационных методов разработки ПО в виде типового решения организации процесса разработки ПО. Одним из популярных вариантов методов гибкой разработки является SCRUM [3]. В нем основное внимание уделяется постоянному рассмотрению формулировок требований к системе на предмет дополнения, уточнения и модификации этих требований. Для внедрения в практику методов гибкой разработки ПО предлагается ряд инструментальных средств, как правило, интегрированных с поддержкой репозитория исходных текстов [4, 5].

Объектно ориентированное программирование (ООП) является общим подходом к проектированию и разработки ПО. В качестве цели применения ООП для разработки ПО СТЗ можно указать, в

первую очередь, обеспечение быстрой разработки прототипов ПО СТЗ и выработку подходов к классификации понятий предметной области, которые можно использовать для решения однотипных задач, например, задач слежения за движущимися объектами или информационного обеспечения целенаправленных перемещений.

Анализ опыта применения ООП для задач обработки зрительных данных показывает, что ряд решений является общепринятым. Этот опыт обобщён в каркасе ПО СТЗ реального времени [6].

При использовании объектно-ориентированного подхода для разработки ПО СТЗ существенным вопросом является выделение классов. Универсальных формальных методов для решения этой задачи не имеется. Сложность проблемы выделения классов при объектно-ориентированном проектировании объясняется сложностью более общей проблемы классификации, применяемой в качестве средства упорядочения знаний в различных областях человеческой деятельности.

В ПО СТЗ выделены три общих категории классов ПО: классы аналитической модели, классы реализации и классы проектирования. Классы первой категории соответствуют понятиям предметной области задачи. Классы второй категории представляют вспомогательные понятия, необходимые для реализации алгоритмов, например, динамические структуры данных. К третьей категории относятся классы архитектуры ПО, например, классы, входящие в состав компонентного каркаса ПО СТЗ. Приведенная классификация отражает модульное разбиение ПО СТЗ на параллельные подсистемы.

В докладе приводится общая схема процесса разработки ПО СТЗ и ряд примеров разработанных и успешно опробованных в решении прикладных задач информационного обеспечения РТК программных классов.

Литература

1. Babar M. et al. Agile Software Architecture – Elsevier, 2014. 392 pg.
2. Martin R. Clean Code. A Handbook of Agile Software Craftsmanship – Prentice Hall, 2009. 431 pg.
3. Sutherland J. Scrum – Currency Pub, 2014. – 256 pg.
4. GitLab Development Platform, 2023. URL: <https://www.gitlab.com/>
5. Jira Software, 2023. URL: <https://www.atlassian.com/software/jira>
6. Boguslavsky A.A., Sokolov S.M. Component Approach to the Applied Visual System Software Development. 7th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI 2003), July 27-30, Orlando, Florida, USA, 2003

Эксперименты по расширению функциональных возможностей мобильных сервисных роботов

В.Е. Пряничников^{1,2,3}, А.А. Арыскин², А.А. Драчкова²,
К.Э. Брундукова², О.И. Власова², А.А. Карцева²,
Ю.С. Колесов¹, А.В. Снопков², М.Д. Соловьёва¹,
А.И. Телегин¹, Д.С. Тележкин¹, А.Н. Тихомиров³,
А.В. Федоров², Д.К. Федотов², В.В. Ястребов¹

¹ИПМ им. Келдыша РАН, Лаборатория «Сенсорика» Москва, Россия,
v.e.pr@yandex.ru

²МГТУ Станкин, Москва, Россия, v.e.pr@yandex.ru

³Международный институт новых образовательных технологий, Москва,
Россия, v.e.pr@yandex.ru

Experiments to expand the functionality of mobile service robots

Valentin E. Pryanichnikov^{1,2,3}, Alexander A. Aryskin²,
Alexandra A. Drachkova², Ksenia E. Brundukova²,
Oksana I. Vlasova², Anna A. Kartseva², Yury S. Kolesov¹,
Alexey V. Snopkov², Maria D. Solovyova¹,
Alexander I. Telegin¹, Dmitriy S. Telezhkin¹,
Alexey N. Tikhomirov³, Alexey V. Fedorov²,
Dmitriy K. Fedotov², Vyacheslav V. Yastrebov¹

¹KIAM Russian Academy of Sciences, Sensorika Laboratory Moscow, Russia,
v.e.pr@yandex.ru

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

³International 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 робототроника» нами разрабатывались гусеничные МСР различного назначения, транспортные промышленные роботы и комплекты цеховой автоматики, СУ подводным шагающим аппаратом, 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 технологий 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 10 см. Если ориентироваться на маломощный бортовой микропроцессор типа Расбери, то экстраполяция и интерполяция показаний всех сенсоров должна укладываться в 0.1 с, обеспечивая предсказание положения робота минимум на 10 см вперед (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 иден-

тификации объектов [1]. Проведенные эксперименты по оценке процедур согласования частот опроса сенсоров цикла управления за счет экстраполяции и интерполяции, показали возможность обеспечения реального времени в СУ МСР и минимизацию вычислений. При этом все основные решения могут реализовываться на наиболее распространенных микропроцессорах.

Литература

1. Пряничников В. Е. Разработка дистанционных сенсорно-управляющих систем, использующих свёртки изображений / Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе, науке, образовании, медиа и в других областях: XV Международная научно-практическая конференция, Москва, 3–5 апреля 2023 г.: Материалы и доклады // под общей редакцией О. Н. Раева. — Москва : ИПП «КУНА», 2023. — 347 с., С.87-101, ISBN 978-5-98547-144-1, https://www.rsuh.ru/education/minot/conf_3d-2023.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. Ayskin, 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.

Применение активной лазерной проекции при 3D подводном оптическом сканировании

В.Е. Пряничников^{1,2,3}, А.Я. Ксензенко², В.В. Ястребов¹

¹ИИПМ им. Келдыша РАН, Москва, Россия, v.e.pr@yandex.ru

²МГТУ Станкин, Москва, Россия, v.e.pr@yandex.ru

³Международный институт новых образовательных технологий РГГУ,
Москва, Россия, v.e.pr@yandex.ru

Application of active laser projection in 3D underwater optical scanning

Valentin E. Pryanichnikov^{1,2,3}, Alexander Ya. Ksenzenko²,
Vyacheslav V. Yastrebov¹

¹KIAM Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, v.e.pr@yandex.ru

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

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

Подводные операции, такие как стыковка с зарядным устройством, все больше роботизируются с целью снижения проблем безопасности и затрат, существенного снижения частоты всплытия для съема информации и подзарядки. Роботизированные системы часто полагаются на датчики зрения для навигации и распознавания объектов. В частности, активные оптические 3D-сканеры широко используются для получения изображений под водой. Ключевой способностью автономной роботизированной подводной системы (AUV) является зондирование окружающей среды. Для AUV особенно важно получать трехмерные данные об окружающей среде для выполнения таких задач, как распознавание объектов или навигация.

В работе обсуждаются технологии применения дистанционных сенсоров, в которых среда распространения сигналов вносит существенные искажения и задержки. Для их компенсации разрабатывались математические модели ультразвуковой локации и оптических систем, цифровые двойники, на которых тестировались алгоритмы. В процессе работы по проекту «Интеллектуальная роботроника» [4-6] нами разрабатывались гусеничные мобильные роботы различного назначения, СУ подводным шагающим аппаратом и соответствующие способы интеллектуализации. Более подробно рассматривается проблема автоматического распознавания автономным подводным аппаратом зарядной док-станции в форме трубы (Ф1,5 х 2 м). Необходимо было визуализировать и распознавать этот объект с расстояния 30-

40 метров и примерно на такой же или существенно большей глубине в мутной воде в автоматическом режиме на основе полученного изображения и в дальнейшем причаливать также автоматически. Крайне желательно, чтобы док-станция оставалась в пассивном режиме и ничего не излучала непрерывно или в ответ на запрос. Процесс причаливания контролируется, соответственно, одним и тем же транспортным средством в автоматическом режиме. Радиус действия гидролокатора, формирующего изображение по лучу, составляет 40-8 м. На более близком расстоянии <8 м планируется использовать оптические средства.

Обычно применяемые оптические 3D-датчики можно классифицировать на активные и пассивные. Активные оптические 3D-сканеры используются чаще из-за специфических задач, связанных с получением изображений под водой.

Некоторые подводные датчики используют активный (или структурированный) свет, когда они проецирует световые узоры на объект контролируемым образом. Эти узоры могут представлять собой точку, линию или более сложные фигуры. В активных техниках информация, предоставляемая структурой узора, является ключевой для реконструкции сцены в 3D. Активные методы определяют трехмерное положение точек в окружающей среде, либо по времени распространения света (ToF), либо на основе триангуляции [1-3]. Пассивное освещение использует исключительно рассеянный свет для освещения сцены, хотя в темных помещениях может использоваться искусственный рассеянный свет. Пассивные методы в подводных условиях обычно используют стереовидение или структуру из движения (SfM). Активные датчики триангуляции света определяют трехмерное положение точки на сцене, комбинируя геометрическую информацию от излучателя света и приемника. Таким образом, положение сканируемой точки в пространстве совпадает с пересечением двух световых лучей: того, который посылается проектором, и того, который проходит от фокальной точки камеры через освещенный пиксель. Основное различие в производительности между ToF-датчиками и датчиками триангуляции касается диапазона сканирования и разрешения по глубине. Разрешение ToF-сканера по глубине зависит от разрешения измерения времени или фазы, но не от расстояния сканирования, в отличие от триангуляционных сканеров.

Активные оптические 3D-сканеры проецируют свет в известном направлении и/или в известный момент времени, что дает необходимую информацию для реконструкции 3D-сцены. Их главное преимущество в подводных приложениях заключается в том, что они помогают

создать более однородное, плотное облако точек, менее зависящее от текстуры сцены, чем пассивные методы, такие как стереовидение.

Можно использовать стационарный лазерный линейный сканер (также называемый профилировщиком). Эта установка обычно состоит из модуля лазерной линии и камеры. Относительное положение проецируемой лазерной плоскости относительно камеры всегда одно и то же. Несмотря на то, что лазерный луч не распространяется по сцене, он считается активным методом, поскольку уравнение плоскости света необходимо для восстановления трехмерных точек. Эта 3D-реконструкция обычно выполняется с помощью триангуляции. Такая конфигурация упрощает сборку и калибровку этих сканеров, но их всегда необходимо крепить к движущейся платформе, обычно либо к UUV, либо к вращающемуся штативу. Таким образом, точность окончательной реконструкции во многом зависит от точности положения платформы. Механическое управление лучом достигается путем контролируемого перемещения объекта, обычно зеркала. Лазерным лучом также можно управлять, перемещая весь датчик целиком. Однако, чем меньше инерция движущейся части, тем быстрее может выполняться сканирование. Кроме того, если движущийся элемент окружен воздухом, силы трения меньше, чем в воде. Следовательно, подвижная часть подводного сканера обычно помещается внутри герметичного корпуса. Во всех зеркальных системах угол отражения в два раза превышает угол наклона зеркала. Следовательно, механические сканеры могут с большей легкостью достигать высоких углов отклонения. Кроме того, механические системы обычно подходят для более широкого диапазона длин волн лазера, поскольку поверхность зеркала, как правило, обладает очень широким коэффициентом отражения.

Опуская рассмотрение немеханического управления лучом, мы пришли к выводу: механические лазерные сканеры обеспечивают более высокое угловое разрешение и максимальный угол отклонения, в то время как немеханические устройства обеспечивают гораздо более высокие скорости. Наша экспериментальная установка представляет собой лазерный сканер линии (LLS - Laser Line Scanner). Полупроводниковый лазер создает яркое белое пятно, которое затем проходит через дифракционную линзу, которая преобразует лазерное пятно в поляризованную линию. Результирующая лазерная линия направляется на зеркало, прикрепленное к валу серводвигателя, управляемое от микропроцессора. Подводная видеокамера, жестко установленная на том же меридиане, что и зеркало,

фиксирует искажение отражения (или рассеяния) сканирующей лазерной линии, а программное обеспечение восстанавливает 3D-изображение сканируемого объекта с использованием алгоритма триангуляции. В зависимости от мутности воды перед окончательным сканированием автоматически проводится несколько тестов на отражение лазерной линии. Тест включает в себя изменение цвета и интенсивности лазера, а также угловой скорости сканирующего зеркала.

Проведенные эксперименты подтвердили реализуемость данного подхода для решения задач стыковки малого подводного аппарата с базовой станцией, при этом отмечена необходимость согласования частот опроса сенсоров цикла управления за счет экстраполяции и интерполяции показаний сенсоров для обеспечения реального времени и минимизации вычислений с использованием микропроцессоров.

Литература

1. Miguel Castillón, Albert Palomer, Josep Forest, and Pere Ridao. State of the Art of Underwater Active Optical 3D Scanners. *Sensors* (Basel). 2019 Dec; 19(23): 5161. Published online 2019 Nov 25. doi: 10.3390/s19235161. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6928952/>
2. Himri, Rida, Gracias. 3D Object Recognition Based on Point Clouds in Underwater Environment with Global Descriptors: A Survey. *Sensors* (Basel). 2019 Oct 14;19(20). pii: E4451. doi: 10.3390/s19204451. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31615081>
3. Small Form-factor Structured Light Pattern Generator Reference Design for Portable 3D Scanners. TIDA-080001 Texas Instruments. <http://www.ti.com/tool/TIDA-080001#descriptionArea> Understanding laser-based 3D triangulation methods <https://www.vision-systems.com/factory/article/16738248/understanding-laserbased-3d-triangulation-methods>
4. Пряничников В.Е., Чернышев В.В., Арыканцев В.В., Арыскин А.А., Ксензенко А.Я., Петраков М.С., Травушкин А.С., Эприков С.Р. Супервизорное управление шагающей подводной базой с автономными роботами-спутниками. Интеллектуальные адаптивные роботы // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2019. Т. 16. № 1–2. С. 49–56. ISSN 2070-0814.
5. Пряничников В. Е. Разработка дистанционных сенсорно-управляющих систем, использующих свёртки изображений / Запись и воспроизведение объёмных изображений в кинематографе, науке, образовании, медиа и в других областях: XV Международная

научно-практическая конференция, Москва, 3–5 апреля 2023 г.: Материалы и доклады // под общей редакцией О. Н. Раева. — Москва : ИПП «КУНА», 2023. — 347 с., С.87-101, ISBN 978-5-98547-144-1, https://www.rsuh.ru/education/minot/conf_3d-2023.php

6. 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.

Разработка спаренных захватных устройств мобильных сервисных роботов

В.Е. Пряничников^{1,2,3}, М.Д. Соловьёва¹

¹*ИИПМ им. Келдыша РАН, Москва, Россия, v.e.pr@yandex.ru*

²*МГТУ Станкин, Москва, Россия, v.e.pr@yandex.ru*

³*Международный институт новых образовательных технологий РГГУ, Москва, Россия, v.e.pr@yandex.ru*

Design of paired gripping devices for mobile service robots

Valentin E. Pryanichnikov^{1,2,3}, Maria D. Solovyova¹

¹*KIAM Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, v.e.pr@yandex.ru*

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

³*International Institute of New Educational Technologies RSUH, 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 сле-

дования 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 робототехника» нами разрабатывались гусеничные МСР различного назначения, транспортные промышленные роботы и комплекты цеховой автоматизации, СУ подводным шагающим аппаратом, 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 [1]. Подробнее рассмотрено кинематическое исследование и конструирование манипуляторов.



Рисунок 1 — Трехмерная модель модернизированной конструкции сервисного робота АМУР-307

Проанализировав существующую конструкцию манипулятора сервисного робота АМУР-307 и заявленные технические характеристики, была определена его структура и тип перемещений его звеньев. Верхние звенья приводятся в движение при помощи тросовой передачи, которая является открытой, а расстояние от одного шкива до второго составляет около полуметра. Следовательно, она представляет опасность для пользователя.

С целью усовершенствования конструкции манипулятора сервисного робота АМУР-307 был осуществлен поиск существующих более совершенных альтернативных конструкций. В качестве прототипа конструктивных решений выбран робот uArm, имеющий в своей конструкции тяги, позволяющие располагать приводы звеньев в основании и представляющие движущиеся параллелограммные механизмы. На основании конструкции манипулятора прототипа спроектирована трехмерная конструкция манипулятора сервисного робота АМУР-307. Проанализировав полученную трехмерную модель с использованием системы автоматизированного проектирования КОМПАС-3D, удалось определить рабочую зону манипулятора и построить кинограмму движения звеньев манипулятора, что позволило выявить дополнительные полезные функции.

Изучив существующую конструкцию привода звеньев манипулятора сервисного робота АМУР-307, просчитав его крутящий момент, а также с учетом ранее произведенных исследований траектории упрощенного планетарно-цевочного зацепления [1], [2], было решено заменить многоступенчатую цилиндрическую передачу на модернизированный планетарно-цевочный редуктор с обоснованным передаточным числом для обеспечения заявленных характеристик сервисных роботов АМУР.

Проектирование конструкции спаренных манипуляторов было выполнено с учетом динамических возможностей приводов и с применением планетарно-цевочных редукторов. При этом учитывались особенности использования обратных связей, на основе дистанционных сенсоров, технология унификации сенсорных данных и процедуры согласования частот опроса сенсоров с циклом управления с целью минимизации вычислений. Все основные решения обработки сенсорно-управляющих сигналов реализуются на распространенных микропроцессорах.

Литература

1. В.Е. Пряничников, М.Д. Соловьева, Р.Б. Тарасов, В.В. Чернышев Анализ возможности применения планетарно-цевочного редуктора для манипулятора сервисного робота амур-307 и шагающего подводного аппарата / Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника» (Proceedings of the International scientific and technological conference EXTREME ROBOTICS). – Санкт-Петербург: ООО «Издательско-полиграфический комплекс «Гангут», 2020. – 322 с. – 10.31776/ConfER.31.2020.

2. Соловьева М.Д., Щепин В.Д. / Совершенствование технологического процесса изготовления планетарно-цевочных редукторов (ПЦР) с применением методов лезвийной обработки // Научному прогрессу – творчество молодых: материалы XI международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам (Йошкар-Ола, 22-23 апреля 2016 г.): в 4 ч. / редкол.: Д. В. Иванов [и др.]. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2016. – Ч. 2. – 264 с.

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

4. 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.

Кибермуравейник: программно-аппаратный комплекс для апробации моделей социального поведения в групповой робототехнике

В.В. Воробьев

НИЦ Курчатовский Институт, г. Москва, Россия, vorobev_vv@nrcki.ru

Cyberanthill: software and hardware system for testing social behavior models in swarm robotics

Vitaly V. Vorobiev

NRC Kurchatov Institute, Moscow, Russia, vorobev_vv@nrcki.ru

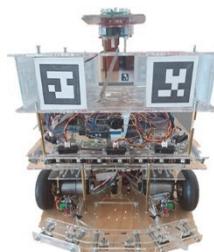
Развитие средств моделирования для нужд робототехники позволяет существенно ускорить процесс разработки алгоритмов управления, однако часто успешно работающее ПО в модели гораздо хуже показывает себя при переносе на аппаратную часть. Для этого был разработан программно-аппаратный комплекс для тестирования алгоритмов группового управления роботами, в т.ч. на основе моделей социального поведения. Вместе с тем, он может быть применен и экспериментов с иными алгоритмами группового управления.

Комплекс состоит из полигона, оборудованного агисо-маркерами для локализации и навигации роботов на нем, системой технического зрения (6 Ethernet камер). Присутствуют объекты, имитирующие объекты интереса для роботов, в виде кубов с Ag₂Co маркерами на каждой стороне (рис. 1а).

Группировка роботов YARP-8 (рис. 1б) состоит из четырех единиц. Дополнительно есть группа из трех роботов схожей с предыдущими архитектурой. Каждый оборудован дифференциальным приводом, системой локальной коммуникации, на основе ИК-канала (протокол RC5), бампером-схватом для сбора объектов интереса, камерой и шестью ИК-дальномерами. Контроллер нижнего уровня управления представлен Atmega2560, а верхнеуровневое управление осуществляется с помощью одноплатного компьютера Raspberry Pi 4 model b на котором установлена ОС Kubuntu 20.04.



а)



б)

Рисунок 1 — а) полигон «Кибермуравейник»; б) робот YARP-8

Разработка алгоритмов группового управления осуществляется с помощью ОС ROS [1] и среды моделирования Gazebo, интегрированной в ROS. Это позволяет существенно упростить процесс переноса отработанных моделей в виртуальной среде на реальную группировку роботов, т.к. они также используют ROS.

На основе базовых механизмов моделей социального поведения, например, таких как агрессия, движение за лидером, доминирование и др. был разработан ряд алгоритмов и моделей для решения задач фуражировки, распределения группы (вторичное деление территории), охраны и др. На полигоне тестировались алгоритмы динамического [2] и статического выбора лидера, функциональной дифференциации и логического вывода в группе роботов с локальным взаимодействием. Также, были проведены эксперименты по мультиагентному планированию пути [3].

С помощью программно-аппаратного комплекса был разработан ряд алгоритмов и моделей группового поведения роботов и получены важные научные и технические результаты.

Литература

1. Roboting operating system [Electronic resource]. URL: <https://www.ros.org/>.
2. Воробьев В.В. Алгоритм динамического формирования стаи // V Всероссийский научно-практический семинар Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта. 2019. P. 104–112.
3. Yakovlev K., Andreychuk A., Vorobyev V. Prioritized Multi-agent Path Finding for Differential Drive Robots // European Conference on Mobile Robots. 2019. P. 1-6.

Распознавание сцен для задачи глобальной локализации робота

А.Д. Московский

*НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия,
moscowskyad@gmail.com*

Scene recognition for robot global localization task

Anton D. Moscowsky

NRC «Kurchatov institute», Moscow, Russia, moscowskyad@gmail.com

Средства визуальной локализации мобильных роботов активно исследуются в настоящее время. Отдельным вопросом в этой области является использование семантических карт, на которых отмечены положения объектов. Такие карты полезны для организации человеко-машинного взаимодействия [1], а также для помощи в задачах локализации, где не справляются другие, более распространенные подходы [2, 3]. В данной работе будет рассмотрено использование семантических карт для определения изначального положения робота (задача глобальной локализации). В рассматриваемой задаче робот позиционируется в пространстве при помощи распространенного метода AMCL, который использует данные со сканирующего лазерного дальномера. Проблема состоит в том, что при таком подходе имеется сильная зависимость от конфигурации среды, и в такой, как изображена на

рисунке 1 (слева), регулярно будут происходить ошибки позиционирования, связанные с её симметричностью.

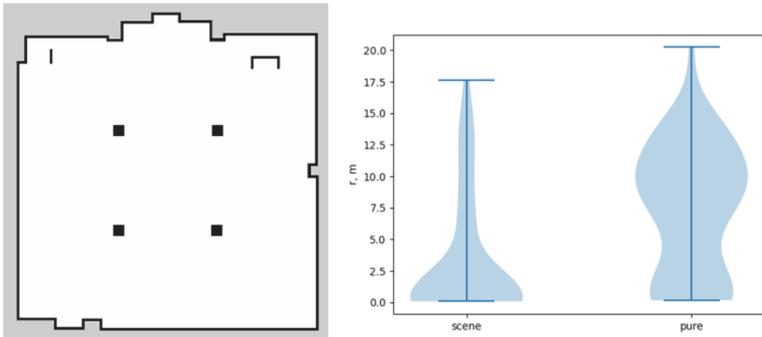


Рисунок 1 — Карта среды (слева), разброс ошибок локализации с использованием предложенного подхода (scene) и без него (pure) (справа)

В работе предлагается добавить семантически слой с положениями объектов к данной карте, и, решая задачу распознавания сцены, определить стартовое положение для метода AMCL, так, чтобы избежать ошибок. Задача распознавания сцены понимается как поиск соответствия между тем, что робот наблюдает и семантической картой. Усложняет эту задачу тот факт, что в окружающей среде встречается большое количество одноименных объектов и поэтому приходится работать с композициями этих объектов. Композиция объектов, что на наблюдаемой сцене, что на карте, может быть представлена в виде графа, где вершины – объекты, а ребра – отношения между объектами. Основная задача такого подхода [2-4] – найти соответствие между двумя графами. В данной работе предлагается решить эту задачу сведя её к поиску изоморфных подграфов. Приведен способ автоматической регистрации отношений и взвешивания кандидатов, которые позволяют работать с шумами, связанными с детектированием и локализацией объектов. Результат предложенного способа распознавания сцены позволил применить метод недоопределённой локализации [5] для определения стартовой зоны робота. Тестирование подхода происходило в среде Gazebo, предложенный подход сравнивался с «чистым» методом AMCL в помещении с рис. 1 (слева). Подход позволил существенно повысить точность определения своего стартового положения (рис. 1 справа), снизив среднюю ошибку с 7.4м до 0.5м.

Литература

1. Rovbo M.A., Sorokoumov P.S. Symbolic Control System for a Mobile Robotic Platform Based on Soar Cognitive Architecture // Smart Electromechanical Systems. , 2022. С. 259–275.
2. Qin C. и др. Semantic loop closure detection based on graph matching in multi-objects scenes // J. Vis. Commun. Image Represent. 2021. Т. 76. С. 103072.
3. Zhu Y. и др. GOSMatch: Graph-of-Semantics Matching for Detecting Loop Closures in 3D LiDAR data // 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). : IEEE, 2020. С. 5151–5157.
4. Liu Y. и др. Global Localization with Object-Level Semantics and Topology // 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA). : IEEE, 2019. С. 4909–4915.
5. Moscovsky A. Subdefinite Computations for Reducing the Search Space in Mobile Robot Localization Task // Artificial Intelligence / под ред. S.M. Kovalev, S.O. Kuznetsov, A.I. Panov. Cham: Springer International Publishing, 2021. С. 180–196.

Моделирование российского гусеничного робота «Сервосила Инженер» в симуляторе Webots

*А.С. Доброквашина, Е.А. Магид
Казанский федеральный университет, Казань, Россия,
dobrokvashina@it.kfu.ru, magid@it.kfu.ru*

Webots model construction for a Russian crawler robot Servosila Engineer

*Alexandra S. Dobrokvashina, Evgeni A. Magid
Kazan Federal University, Kazan, Russia, dobrokvashina@it.kfu.ru,
magid@it.kfu.ru*

В робототехнике тестирование алгоритмов представляет собой комплексную задачу, которая подразумевает создание испытательных стендов [1] и необходимых условий, гарантирующих безопасность робота и наблюдателей. Для облегчения тестирования активно используются возможности виртуальных сред [2]. Это позволяет не только безопасно опробовать новые алгоритмы, но и быстро воссоздать сложнейшие конструкции и условия эксперимента; например,

построить модели завалов и дебрей, имитирующих полуразрушенную городскую застройку [3], которые активно используются для проверки алгоритмов поисково-спасательной робототехники [4]. В последнее десятилетие, в связи с существенным улучшением качества популярных робототехнических симуляторов, большинство специалистов перед проверкой алгоритмов на реальном роботе проверяют свои гипотезы в виртуальных средах симуляторов. По этим причинам роботу важно иметь актуальную и реалистичную виртуальную модель.

В работе рассматривается российский гусеничный робот «Сервосила Инженер» (см. рис. 1) и его виртуальная модель в симуляторе Webots (см. рис. 2, справа). Ранее модель данного робота была успешно реализована в симуляторе Gazebo (см. рис. 2, слева, [5]). Gazebo не имеет встроенных механизмов, поддерживающих создание роботов на гусеничном ходу, из-за чего гусеницы имитировались при помощи массива псевдо-колес различного размера, расположенных вдоль поверхности гусеничного полотна [6]. Данное решение показало высокую степень реалистичность, но снизило производительность.



Рисунок 1 — Мобильный робот «Сервосила Инженер»

Альтернативным решением стал симулятор Webots, который наравне с Gazebo является одним из наиболее качественных решений для работы с робототехнической операционной системой (ROS) [7], на базе которой реализуются все алгоритмы для реального робота «Сервосила Инженер». В работе продемонстрирована новая модель робота в симуляторе Webots и представлен сравнительный анализ двух виртуальных моделей: в Gazebo и в Webots. Благодаря упрощенному решению проблемы гусеничного хода робота по ряду

параметров модель в среде Webots показала более высокие результаты, чем модель робота в среде Gazebo.



Рисунок 2 — Виртуальная модель робота «Сервосила Инженер» в симуляторе Gazebo (слева [8]) и Webots (справа)

Благодарности

Публикация осуществлена при финансовой поддержке РФФ и Кабинета Министров Республики Татарстан в рамках научного проекта № 22-21-20033.

Литература

1. Ногин М. А., Коротков А. Л., Рогов А. В. [и др.] Испытательный полигон ЦНИИ РТК для мобильных робототехнических комплексов //Extreme Robotics. – 2018. – Т. 1. – №. 1. – С. 352-360.
2. Миненко М. А., Редколис Е. В., Сиротин А. А. Использование симуляторов в робототехнике на примере симулятора Gazebo //научно-техническое творчество аспирантов и студентов. – 2017. – С. 764-766.
3. Меженин А. В. Виртуальные 3D среды как средство верификации и тестирования при проектировании //Приоритетные научные направления: от теории к практике. – 2016. – №. 21. – С. 105-110.
4. Михайлюк М. В., Торгашев М. А. Виртуальный имитационно-тренажерный полигон для робототехнических средств //Международная конференция Resilience2014 Международного Центра по ядерной безопасности Института физико-технической информатики. – 2015. – С. 34-40.
5. Dobrokvashina A., Lavrenov R., Martinez-Garcia E. A., Bai Y. Improving model of crawler robot Servosila "Engineer" for simulation in ROS/Gazebo //2020 13th International Conference on Developments in eSystems Engineering (DeSE). – IEEE, 2020. – С. 212-217.

6. Moskvina I., Lavrenov R., Magid E., Svinin M. Modelling a crawler robot using wheels as pseudo-tracks: model complexity vs performance //2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA). – IEEE, 2020. – С. 1-5.

7. Вершинин Д. В., Святов К. В. Средства развертывания симулятора роботов с мультимодальными сенсорами //Информатика, моделирование, автоматизация проектирования (ИМАП-2021). – 2021. – С. 39-49.

8. Dobrokvashina A., Lavrenov R., Tsoy T., Martinez-Garcia E. A., Bai Y. Navigation stack for the crawler robot servosila engineer //2021 IEEE 16th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA). – IEEE, 2021. – С. 1907-1912.

Система экологического контроля с использованием роботизированных устройств

С.С. Колмогорова^{1,2}, А.С. Колмогоров³, В.С. Колмогоров²
¹СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия, ss.kolmogorova@mail.ru
²СПбГЛТУ, Санкт-Петербург, Россия, ss.kolmogorova@mail.ru
³ООО «Автоматика-сервис», Санкт-Петербург, Россия, kark@inbox.ru

Environmental control system using robotic devices

Svetlana S. Kolmogorova^{1,2}, Arkady S. Kolmogorov³,
Vasily S. Kolmogorov²

¹Saint Petersburg State Electrotechnical University «LETI» named after
V.I. Ulyanov (Lenin), St. Petersburg, Russia, ss.kolmogorova@mail.ru

²Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirova,
St. Petersburg, Russia, ss.kolmogorova@mail.ru

³ООО «Automatika-service», St. Petersburg, Russia, kark@inbox.ru

Система экологического контроля с использованием роботизированных устройств выполняет непрерывный контроль экологической обстановки в зоне объектов наблюдений, в число подконтрольных параметров входят: концентрация различных газов в воздухе, концентрация определенных веществ на поверхности и воде. Система подразумевает использования автоматических беспилотных аппаратов для удаленных измерений, сбора проб и визуального контроля. Взаимодействие с метеоинформации и данными навигации, в том

числе судов и авиации минимизируют риск ошибки управления беспилотных аппаратов. На объектах располагаются станции мониторинга, осуществляющие контроль, например, газовой обстановки. Алгоритмы на основе искусственного интеллекта с минимальным участием человека фильтруют, анализируют данные, формируя прогнозные данные влияния техногенных факторов. Пользователи системы могут располагаться как на объектах, так и вне ее, конечные данные доступны через Интернет (или спутниковую сеть передачи данных).

В статье предлагается структура системы экологического контроля распределённых децентрализованных объектов с учетом конечной географической привязки. В рамках описанной структуры предлагается архитектура, реализующая автономный сбор данных по средствам беспилотных роботизированных аппаратов в автономном режиме. В рамках системы выдвинуты требования к автономным роботизированным устройствам и составу датчиков экологического контроля окружающей среды.



(БВС – беспилотное воздушное судно; БППА – беспилотный подводный подвижный аппарат; МЛНП – платформа; Users – пользователи; ИИ – алгоритмы искусственного интеллекта)

Рисунок 1 — Предполагаемая реализация системы экологического контроля с использованием роботизированных устройств

Литература

1. Подвигалкин, В. Я. Робот в технологическом модуле : монография / В. Я. Подвигалкин. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 140

с. — ISBN 978-5-8114-2979-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/106878> (дата обращения: 30.09.2023). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Хазин М. Л. Роботизированная техника для добычи полезных ископаемых / М. Л. Хазин // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова — 2020 — Т.18, №1 — С.4-15. — DOI 10.18503/1995-2732-2020-18-1-4-15.

3. Роботы и роботизированные системы. Центр сертификации. URL : <https://www.icqc.eu/ru/certifikacija-ce/ocenka-sootvetstviya-markirovka-ce/roboty-i-robotizirovannye-sistemy> (Дата 30.09.2023)

Разработка интеллектуальной системы помощи водителю для общественного транспорта

Язан Вассуф¹, А.В. Тарасенко², Д.Ю. Осин², К.Г. Мещерин²,
В.В. Серебряный¹

¹*МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия, vassufya@student.bmstu.ru,
vsereb@bmstu.ru*

²*ООО «ИЦ «КАМАЗ», Москва, Россия, vassufY@kamaz.ru,
TarasenkoAV@kamaz.ru, OsindY@kamaz.ru, MescherinKG@kamaz.ru*

Development of an intelligent driver assistance system for public transport

Yazan Wassouf¹, Andrey V. Tarasenko², Denis Y. Osin²,
Konstantin G. Meshcherin², Vladimir V. Serebrenny¹

¹*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia,
vassufya@student.bmstu.ru, vsereb@bmstu.ru*

²*«IC KAMAZ» LLC, Moscow, Russia, vassufY@kamaz.ru,
TarasenkoAV@kamaz.ru, OsindY@kamaz.ru MescherinKG@kamaz.ru*

В современном мире, где безопасность и комфорт вождения на общественном транспорте имеют высший приоритет, разработка интеллектуальной системы помощи водителю становится критически важной [1]. В данном докладе мы представим архитектуру этой системы, включающую в себя радар и камеры для сбора данных, вычислительный модуль для анализа информации и логический модуль для принятия решений на основе уравнений и правил, как показано в таблице [2]:

Таблица 1 — Правило принятия решение для АДАС 0

Система	Правило принять решение
Система мониторинга слепых зон (BSM)	$BSM_{warning} = \begin{cases} 1, & ((Speed_Bus \& Gear \& X_position \& \\ & Y_position \& Obj_velocity) = True) \\ 0, & else \end{cases}$
Предупреждения о снижении бокового интервала (LCW)	$LCW_{warning} = \begin{cases} 1, & ((Speed_Bus \& Gear \& X_position \& \\ & Y_position) = True) \\ 0, & else \end{cases}$
Система помощи при повороте (TAS)	$TAS_{warning} = \begin{cases} 1, & ((Speed_Bus \& Gear \& X_position \& \\ & Y_position \& Theta_turning) = True) \\ 0, & else \end{cases}$
Система предупреждения столкновения при движении вперед (FCW)	$PCW_{warning} = \begin{cases} 1, & ((In_zone \& required_acceleration \& \\ & \& V_x) = True) \\ 0, & else \end{cases}$

где $Speed_Bus$ это скорость автобуса, $Gear$ направление движения, $X_position$ положение объекта на ост Ч, $Y_position$ положение объекта на ось Y, $Obj_velocity$ скорость объекта.

Мы также обсудим важные аспекты систем круиз-контроля (ACC) [3] и экстренного аварийного торможения (АЕВ) [4], которые существенно повышают безопасность на дороге через управления и тормосом и скоростью.

Наконец, мы представим результаты испытаний данной системы, подчеркивая ее эффективность и потенциал для улучшения общественного транспорта.

Литература

1. Я. Вассуф, В. В. Серебряный, 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. Я. Вассуф, Е. М. Кореков и В. В. Серебряный. Принятие решений для передовых систем помощи водителю общественного

транспорта. // 2023 г. 5-я Международная молодежная конференция по радиотехнике, электротехнике и энергетике (РЕЕПЕ), Москва, Российская Федерация, 2023 г., с. 1-6.

3. Ю Л., Ван Р. Исследования адаптивной системы круиз-контроля: обзор современного состояния // Труды Института инженеров-механиков, часть D: Журнал автомобильной инженерии. – 2022. – Т. 236. – №. 2-3. – С. 211-240.

4. Халсхоф У. и др. Результаты испытаний на автономное экстренное торможение //Материалы 23-й Международной технической конференции по повышению безопасности транспортных средств (ESV). – Национальное управление безопасности дорожного движения, Вашингтон, округ Колумбия, 2013. – С. 1-13.

Особенности совместного применения ROS и MATLAB при полунатурном моделировании движения группы мобильных роботов

С.Ю. Курочкин, А.А. Тачков

*НУЦ «Робототехника» МГТУ имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия,
kurochkin.smn@gmail.com, tachkov@bmstu.ru*

Aspects of hardware-in-the-loop simulation of a mobile robots formation motion co-using MATLAB and ROS

Semion Yu. Kurochkin, Alexander A. Tachkov

Science and educational center «Robotics» Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia, kurochkin.smn@gmail.com, tachkov@bmstu.ru

При проектировании робототехнических комплексов (РТК) разработка их программного обеспечения (ПО) имеет значительную трудоемкость, при этом наблюдается тенденция ежегодного усложнения ПО. Применение принципа модульности, который заключается в построении системы управления автономным движением (САУД) РТК из унифицированных агрегатов и модулей, позволяет уменьшить трудоемкость разработки ПО [1]. В данном подходе каждый модуль САУД является отдельным процессом в операционной системе, а обмен информацией между ними обеспечивается связующим программным обеспечением, например, Robot Operating System (ROS) [2].

Процесс разработки компонентов системы управления РТК требует как отладки и поиска логических ошибок, так и выполнения аппаратного (полунатурного) моделирования, которое позволяет оценить потребление ресурсов бортового вычислителя РТК программной реализацией разрабатываемого компонента системы управления. Применение отечественных вычислительных комплексов на базе многоядерных процессоров семейства «Эльбрус» является перспективным направлением развития аппаратного обеспечения отечественных РТК [3].

В рамках настоящей работы рассматривается использование полунатурного моделирования модуля управления согласованным движением РТК в группе с применением лабораторного стенда, структура которого приведена на рис. 1.

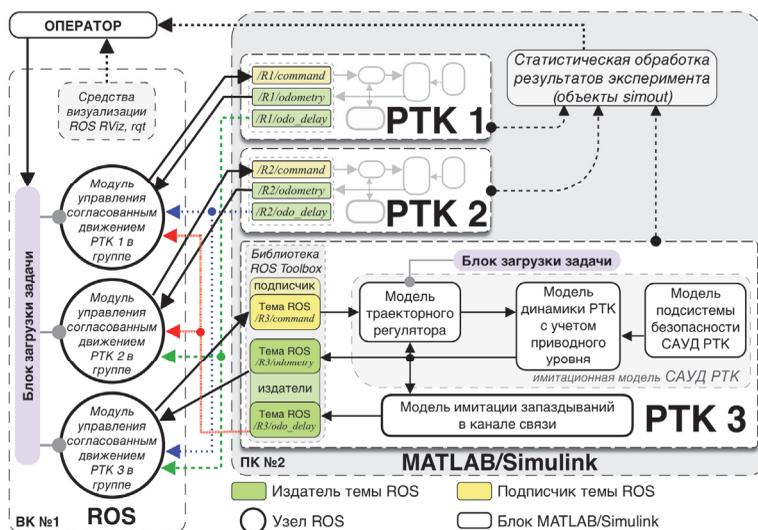


Рисунок 1 — Структура лабораторного стенда

Лабораторный стенд состоит из двух вычислительных комплексов: 1) вычислительный комплекс (БК) РТК (процессор «Эльбрус-4С»), на котором установлен ROS версии Melodic Morenia [4]; 2) вычислительное устройство на базе процессора Intel с установленным программным пакетом MATLAB версии 2020a с библиотеками Simulink, Coder, ROS Toolbox, на котором развернута имитационная модель группы РТК [5]. Программная реализация модуля управления

согласованным движением РТК выполнена в виде узла ROS с использованием библиотеки SMACH (State MACHine) [6].

Выполненное полунатурное моделирование позволило оценить качество и адекватность работы программной реализации модуля управления согласованным движением группы непосредственно на ВК РТК, определить потребление вычислительных ресурсов, а также оценить вероятность выполнения целевой задачи при варьируемой пропускной способности канала связи.

Литература

1. Тачков А.А. Принципы построения систем автономного управления движением наземных робототехнических комплексов специального назначения / А.А. Тачков [и др.] // Робототехника и техническая кибернетика. – Т. 10. - № 2. Санкт-Петербург: ЦНИИ РТК. 2022. С. 121-132.

2. Gonzales D., Harting S. Designing unmanned systems with greater autonomy: using a federated, partially open systems architecture approach. – Santa Monica: Rand Corporation, 2014.

3. Бочаров Н. А. и др. Оценка перспектив использования вычислительных средств семейства "Эльбрус" при реализации алгоритмов распознавания в современных робототехнических комплексах // Вопросы радиоэлектроники. – 2018. – №. 2. – С. 99-105.

4. Тачков А. А., Вуколов А. Ю., Козов А. В. Особенности портирования Robot Operating System на программно-аппаратную платформу семейства «Эльбрус» // Программные продукты и системы. – 2019. – Т. 32. – №. 4. – С. 655-664.

5. Курочкин С. Ю., Тачков А.А., Статистическая имитационная модель группового движения мобильных роботов с учетом вероятностно-временных характеристик системы связи и автономного управления движением // Экстремальная робототехника. – 2022. – Т. 1, № 1. – С. 123-129.

6. Bohren J., Cousins S. The smach high-level executive // IEEE Robotics & Automation Magazine. 2010. Т. 17. №. 4. С. 18-20.

Автоматизированное проектирование дискретно-событийной системы группового управления мобильными противопожарными роботами

А.В. Козов

*НУЦ «Робототехника» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия,
alexey.kozov@gmail.com*

Automated Design of the Discrete-Event Group Control System for Mobile Firefighting Robots

Alexey V. Kozov

BMSTU, Moscow, Russia, alexey.kozov@gmail.com

Доклад посвящён проектированию системы группового управления для противопожарных мобильных роботов. Объектом проектирования является дискретно-событийная система группового управления мобильными роботами (ДССГУ). Разработчик ДССГУ сталкивается с проблемой «проклятия размерности» и ограничениями существующих моделей и методов проектирования [1]. Для сокращения времени и упрощения процессов проектирования автором предложена методика автоматизированного проектирования ДССГУ. Маршрут проектирования методики включает четыре проектные процедуры: синтез компьютерной модели объекта управления (группы мобильных роботов), спецификация поведения объекта управления, синтез управления дискретно-событийной системой (ДСС), анализ ДССГУ. Результатом применения методики является проектное решение в виде компьютерной модели ДССГУ [2].

В работе представлен пример практического применения методики автоматизированного проектирования ДССГУ при создании системы управления для выполнения группового действия выхода на рубеж с последующим тушением очага пожара группой из трёх противопожарных мобильных роботов.

В результате выполнения проектной процедуры синтеза компьютерной модели объекта управления получена модель, представляющая группу роботов и их индивидуальные действия. При выполнении проектной процедуры спецификации поведения объекта управления формализованы требования к поведению группы в виде графа событий (рис. 1). В проектной процедуре синтеза управления ДСС использован модифицированный метод домино [3]. В результате проектной

процедуры анализа ДССГУ получена компьютерная модель управляющего компонента ДССГУ и требования к пропускной способности каналов связи и ресурсам бортовой вычислительной системы.

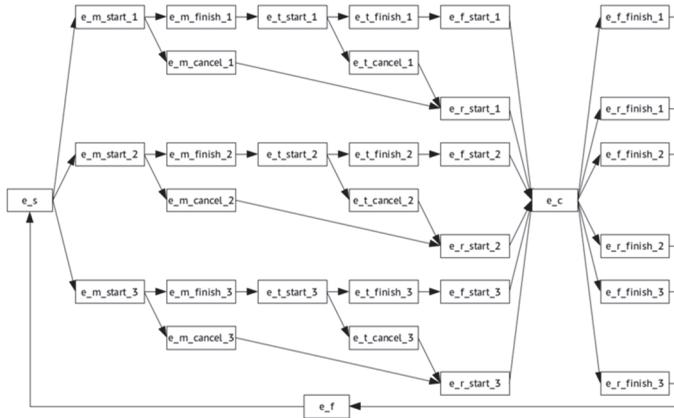


Рисунок 1 — Графовое представление спецификации поведения группы роботов

Симуляция работы спроектированной ДССГУ подтвердила соответствие требованиям. Разработанные компьютерные модели обеспечивают возможность модификации и расширения функциональности ДССГУ.

Литература

1. Волосатова Т.М., Козов А.В., Тачков А.А. Система группового управления мобильными роботами с позиций автоматизированного проектирования // Информационные технологии. Т. 26, № 5. С. 274–282.
2. Козов А.В. Реализация компьютерной модели дискретно-событийной системы группового управления мобильными роботами // Экстремальная робототехника. СПб., 2022. С. 139-146.
3. Козов А.В., Мельникова М.В. Применение методов синтеза супервизора при проектировании дискретно-событийной системы группового управления мобильными роботами // Робототехника и техническая кибернетика. 2023. Т. 11, № 2. С. 110-117.

**Оптимизация конструкции рентгеношаблона
транспарентного типа на основе двухслойных
тонкопленочных мембран для задач рентгеновской
наноитографии**

Г.Д. Демин, П.Ю. Глаголев, Н.А. Дюжев, В.И. Корнеев
*Национальный исследовательский университет «Московский институт
электронной техники» (МИЭТ), г. Зеленоград, Россия,
gddemin@edu.miet.ru*

**Optimization of the design of a transparent-type X-ray
mask based on two-layer thin-film membranes for X-ray
nanolithography tasks**

Gleb D. Demin, Petr Yu. Glagolev, Nikolay A. Djuzhev,
Viktor I. Korneev
*National Research University of Electronic Technology (MIET),
Zelenograd, Russia, gddemin@edu.miet.ru*

В настоящее время прикладываются значительные усилия для развития рентгеновской наноитографии на длине волны 13.5 нм, что необходимо для перехода отечественной электронной компонентной базы робототехнических комплексов в область масштабирования от 65 нм и ниже [1]. Формирование топологического рисунка рентгеновским литографом осуществляется за счет рентгеношаблона – матрицы электростатически-управляемых МЭМС микрозеркал, отражающих рентгеновский пучок, или транспарентной маски, отверстия в которой открываются специальным затвором и пропускают рентгеновское излучение через рентгенооптическую систему в сторону пластины с рентгенорезистом [2, 3]. Ключевые требования, предъявляемые к полезному сигналу рентгеновского излучения на выходе рентгеношаблона - его высокая однородность и максимальный контраст формируемого изображения (отношение полезного сигнала к шуму). Прохождение рентгеновского излучения через транспарентную маску может сопровождаться рядом негативных явлений: размытие топологического рисунка вследствие интерференции рентгеновских лучей и эффектов дифракции в оптическом канале, фоновая засветка рентгенорезиста, потеря энергии в результате поглощения излучения в рентгеношаблоне.

Целью текущего исследования была разработка оптимальной конструкции рентгеношаблона транспарентного типа на основе

двухслойных тонкопленочных мембран и выявление оптимального состава его слоев. Получены трехмерные диаграммы направленности рентгеновского излучения после прохождения оптического канала прозрачной маски для различных длин волн в диапазоне от 2.5 до 13.5 нм (рис. 1). Определена оптимальная конструкция и состав слоев рентгеношаблона, основой которого является двухслойная мембрана Si/Pt с толщами слоев 200 нм/80 нм. Структура Si/Pt обладает низкой рентгеновской прозрачностью в выбранном диапазоне длин волн и высокой теплопроводностью, что позволяет достигать контраст на уровне 50:1 и эффективно отводить энергию рентгеновских фотонов в объем маски.

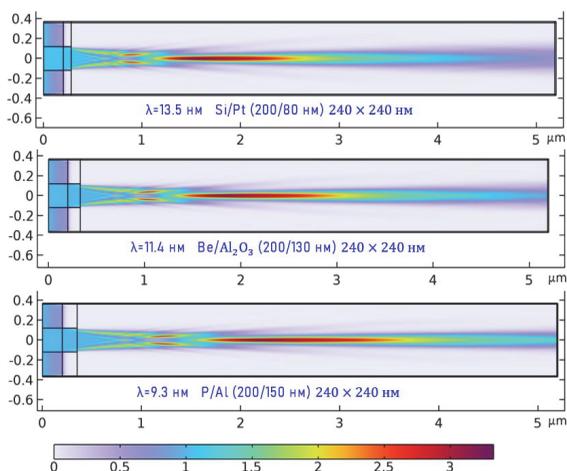


Рисунок 1 — Диаграмма направленности рентгеновского излучения при прохождении через рентгеношаблон прозрачного типа (Si/Pt, Be/Al₂O₃, P/Al)

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (НИР «Разработка базовых маршрутов проектирования дизайна и изготовления фотошаблонов», соглашение FSMR-2023-0014).

Литература

1. A. Bharti, et al., Front. Nanotechnol. 4, 835701 (2022).
2. S. Brose, et al., Thin Solid Films 520(15), 5080–5085 (2012).
3. G.D. Demin, et al., Proc. of IEEE EDM 2022, 88-92 (2022).

Магнитное МЭМС микрозеркало для пространственной модуляции света, функционирующее за счёт действия силы Лоренца

Г.Д. Демин, П.П. Ким, И.Д. Евсиков, Н.А. Дюжев
Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (МИЭТ), г. Зеленоград, Россия, evsikov@ckp-miet.ru

Magnetic MEMS micromirror operating on the basis of the action of the Lorentz force for spatial light modulation

Gleb D. Demin, Pavel P. Kim, Ilya D. Evsikov,
Nikolay A. Djuzhev
National Research University of Electronic Technology (MIET), Zelenograd, Russia, evsikov@ckp-miet.ru

В настоящее время все более востребованными в робототехнических комплексах наземного базирования становятся миниатюрные датчики на основе Микро-Электро-Механических Систем (МЭМС), которые обеспечивают эффективное управление автономным перемещением робота и сбором информации, а также оптимальный алгоритм обработки поступающего из окружающей среды электромагнитного сигнала. Для его модуляции (изменения амплитуды или фазы) в видимом диапазоне длин волн активно используются матрицы МЭМС микрозеркал, которые преобразуют интенсивность отраженного светового потока без паразитного нарушения фазы и имеют сравнительно высокое быстродействие на уровне нескольких кГц [1]. В зависимости от принципа работы, МЭМС микрозеркала подразделяют на следующие основные категории: деформируемые, поршневые и торсионные. Передовые разработки в области МЭМС микрозеркал преимущественно основаны на торсионном строении микрозеркал, что обусловлено их высокой чувствительностью к внешним воздействиям и малым временем срабатывания. Тем не менее, в большинстве торсионных микрозеркал механизм поворота отражающей поверхности основан на эффекте электростатического притяжения микрозеркальных подвижных элементов к управляющему электроду, что реализовано в коммерческих образцах проекционных устройств на основе технологии DLP (Digital Light Processing [2]). Несмотря на коммерческий успех, подобная конструкция не лишена недостатков, связанных с эффектом электростатического «залипания» микрозеркала в крайних положениях, высо-

кими рабочими напряжениями (до 100 В) и технологической сложностью их изготовления. Альтернативным решением может являться использование магнитной силы Лоренца от внешнего магнитного поля, действующей на замкнутый токовый контур на отражающей поверхности (рис. 1а). При определенной частоте и силе тока сила Лоренца может повернуть микрозеркало на требуемый угол, причем для увеличения величины поворота микрозеркала возможно использование резонансной частоты [3]. В совокупности такой подход может снизить энергопотребление, повысить надежность и упростить конструкцию устройства.

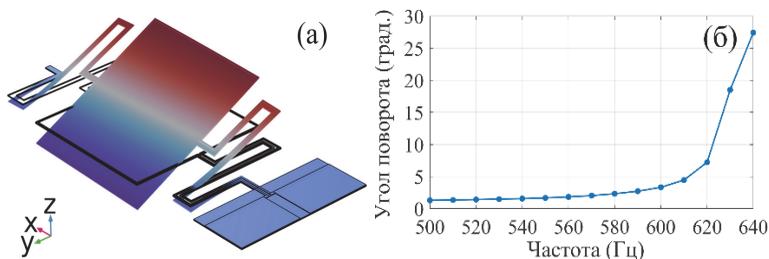


Рисунок 1 — (а) Демонстрация поворота микрозеркала при протекании тока по контуру; (б) Угол поворота как функция частоты

В работе проведено моделирование работы МЭМС микрозеркала под действием силы Лоренца. При выбранном магнитном поле и величине тока найдена резонансная частота, при которой микрозеркало поворачивается на максимальный угол, обеспечивающий высокую отражательную способность микрозеркала для модуляции света (рис. 1б). Полученные результаты могут быть применимы при разработке МЭМС модуляторов и фотошаблонов на базе матрицы микрозеркал.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (НИР «Разработка базовых маршрутов проектирования дизайна и изготовления фотошаблонов», соглашение FSMR-2023-0014).

Литература

1. S. Chen, et al., J. Semicond. 43(8), 081301 (2022).
2. S. Scholes, et al., Opt. Eng. 59(04), 1 (2019).
3. Opreni, et al., Appl. Phys. Lett. 121, 173501 (2022).

Эвакуация техники группой робототехнических средств

А.А. Воробьев, В.В. Сергеев

*Военная академия материально-технического обеспечения,
Санкт-Петербург, Россия, maestro265@yandex.ru*

Evacuation of equipment a group of robotic means

Albert A. Vorobiev, Vladislav V. Sergeev

Logistics Military Academy of Army, St. Petersburg, Russia, maestro265@yandex.ru

Развитие средств эвакуации в современных условиях связано, прежде всего, с увеличением их подвижности и тяговых возможностей. Однако проведенный анализ зарубежного и отечественного опыта в области разработки средств эвакуации показал [1], что при использовании традиционных подходов к созданию достаточно универсального тягача достигнуты пределы технологических и технических возможностей.

Вместе с тем, вследствие увеличивающейся номенклатуры техники общего и специального назначения, растущей вариативности её массогабаритных параметров использование в качестве средств эвакуации близких по конструктивному исполнению, массе, проходимости и прочим характеристикам образцов техники становится малоэффективным и имеющим ограниченные возможности практического применения. Возрастает потребность поиска новых достаточно универсальных подходов, позволяющих создавать средства эвакуации с учетом изменяющихся в широких пределах априорно заданных требований по мощности, проходимости, автономности и т.п.

На практике реализация подобных подходов связана с созданием средств эвакуации модульного типа. В качестве модулей средства эвакуации могут выступать наземные робототехнические средства (РТС), способные, в соответствии с целевым предназначением, самостоятельно, за счет автоматизации/имитации сенсорных, двигательных и интеллектуальных функций человека, выполнять задачи автономно или под контролем оператора [2].

В известной литературе достаточно подробно отражены общие вопросы создания, классификации, устройства, принципов разработки и применения РТС, обоснованы перспективные направления их использования. Исследование возможностей применения РТС в качестве модулей средства эвакуации связано, прежде всего, с расчетом обеспечиваемых ими суммарных тяговых возможностей.

Расчет тяговых возможностей средства эвакуации традиционно

основан на определении тягового усилия по двигателю на крюке тягача, с учетом различных физико-географических и дорожно-грунтовых условий. Для средства эвакуации модульного типа необходимо решать обратную задачу, заключающуюся в определении количества РТС, обеспечивающих достижение тяговых возможностей не ниже заданных, т.е.

$$P_{\Sigma} \geq P_{03}, \quad (1)$$

где: P_{Σ} – тяговые возможности средства эвакуации модульного типа; P_{03} – требуемые тяговые усилия для эвакуации объекта.

Таким образом, общее количество РТС, необходимое для эвакуации техники определяют по формуле

$$K_{\text{РТС}}^j = \max \left[\frac{G_{03}^i(\vartheta^{h3} + 0,015\alpha^{h1})}{0,2 \frac{N_{\text{ДВ}}^j}{V_{\text{H}}} - G_{\text{РТС}}^j(\vartheta^{h3} + 0,015\alpha^{h1})}, \frac{G_{03}^i(\vartheta^{h3} + 0,015\alpha^{h1})}{G_{\text{РТС}}^j \varphi^{h2} - G_{\text{РТС}}^j(\vartheta^{h3} + 0,015\alpha^{h1})} \right] \quad (2)$$

Разработанная методика использует ранее известные расчеты тяговых усилий, но учитывает при этом новые параметры и коэффициенты. Методика позволяет определить рациональное количество РТС, необходимых для первичной эвакуации (буксировки) техники различного типа.

Для эвакуации техники с применением группы РТС необходимо произвести сцепку. Варианты сцепок могут быть различными в зависимости от количества применяемых РТС.

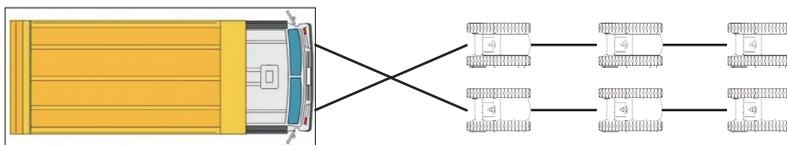


Рисунок 1 — Построение РТС в два ряда (вариант)

Литература

1. Соболев Е.Г. Эвакопригодность и эвакоспособность вооружения и военной техники. Теория для пользователя. – Кубинка, НИИЦ БТ 3 ЦНИИ МО РФ, 2013. – 180 с.
2. Воробьев А.А., Сергеев В.В. Проблемы формирования облика специализированных робототехнических комплексов / Робототехника и техническая кибернетика. – 2021. – Том 9. – № 4. – С. 312-320.

Метод повышения разрешающей способности ультразвуковой сенсорной системы роботов

В.П. Андреев, В.В. Майоров

*ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН», Москва, Россия, andreevvipa@yandex.ru,
DDreIK@yandex.ru*

Method for increasing the resolution of an robot ultrasonic sensor system

Viktor P. Andreev, Vladislav V. Maiorov

*Moscow State University of Technology «STANKIN», Moscow, Russia,
andreevvipa@yandex.ru, DDreIK@yandex.ru*

При организации движения мобильного робота (МР) в недетерминированной среде возникает задача SLAM, которая включает обнаружение сенсорной системой наличия препятствия, вычисление расстояния до него и определение формы препятствия. Для решения данной задачи часто используется ультразвуковой (УЗ) датчик расстояния, информационный поток от которого относительно невелик и может быть обработан в реальном времени с помощью микроконтроллеров невысокой производительности. Однако низкая пространственная разрешающая способность таких датчиков не позволяет определить перечисленные параметры препятствия малых размеров (например, ножка стола или стула) на пути следования МР. Цель – разработать метод определения как расстояния до малоразмерного препятствия, так и его местоположения относительно МР.

В работе [1] предлагается установить УЗ датчик на управляемое от микроконтроллера сканирующее устройство и определять форму препятствия (типа внешний угол, внутренний угол, плоская стена, дверной проём и т.п., и их ориентацию) путём алгоритмического анализа данных, получаемых от датчика в процессе сканирования. Данный метод требует с определённой периодичностью снимать множество показаний УЗ-датчика, на что тратится значительное время. Это недопустимо для *мобильных* роботов, поскольку при значительной скорости движения МР сенсорная система не успеет выдать требуемый сигнал управления на исполнительную систему робота, и произойдёт столкновение с препятствием.

Для повышения пространственной разрешающей способности ультразвуковой сенсорной системы предлагается использовать схему, состоящую лишь из двух УЗ-дальномеров, разнесённых на определённый базис (см. рис.1).

В изготовленном макете сенсорной системы регулируется базис B между датчиками типа HC-SR04 и угол β . В качестве объекта используется деревянный цилиндр диаметром 40мм. Задача заключается в том, чтобы определить абсолютную и относительную погрешности в определении смещения S объекта относительно центральной оси O системы по показаниям дальности $LD1$ и $LD2$ соответственно датчиков $D1$ и $D2$ на разных расстояниях L объекта.

В статье приведены результаты экспериментов, показывающие возможность применения дифференциального метода определения расположения малоразмерного препятствия (объект с малой отражающей звуковые волны поверхностью) относительно движущегося мобильного робота с погрешностью менее 26%.

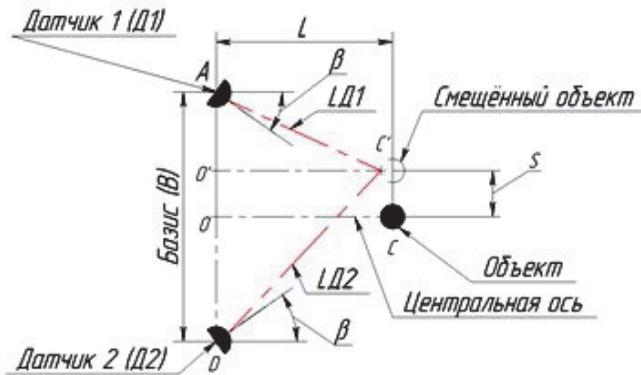


Рисунок 2 — Обобщённая схема сенсорной системы МР

Литература

1. Андреев В.П., Тарасова В.Э. Определение формы препятствий мобильным роботом с помощью сканирующих угловых перемещений ультразвукового датчика // Мехатроника, Автоматизация, Управление. – М.: Изд-во «Новые технологии», ISSN: 1684-6427. – 2017. – №11, Том 18. – С.759 – 763.

Моделирование согласованного управления четырьмя мотор-колесами робота без кинематической связи между ними

И.Г. Прохоренкова

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, i.prohorenkova@rtc.ru

Simulation of coordinated control of four motor-wheels of a robot without kinematic connection between them

Irina G. Prohorenkova

*Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics,
St. Petersburg, Russia, i.prohorenkova@rtc.ru*

Быстрый рост рынка электронной коммерции порождает спрос на новые производственные и складские мощности с современным логистическим оборудованием. Наряду со складами, логистическими роботами в настоящее время активно оснащаются:

- промышленные среды;
- непромышленные среды, где происходит транспортировка, доставка и передача товаров;
- открытые площадки в портах, аэропортах и перевалочных центрах.

Логистические роботы также востребованы на гибких производствах и предприятиях, для которых характерны оперативные изменения в технологических маршрутах и позициях рабочих мест.

Для снижения стоимости роботов этого типа целесообразно упрощение механической конструкции, при этом должно обеспечиваться плавное маневрирование, объезд препятствий, добротность воспроизведения траектории, а также достойная скорость прохождения маршрута.

Известны различные подходы, например использование метода нечёткого системного регулятора, позволяет стабилизировать контурное движение колесного робота, но возникает необходимость дополнительных исследований параметров системного регулятора в зависимости от конфигурации робота, что не является универсальным решением [1]. Также существуют методы нелинейного и нейросетевого регулирования, с разработанной системой выбора критерия оптимальности параметрической оптимизации системного регулятора [2].

Нечёткий системный регулятор вычисляет значение корректирующих воздействий, которые устраняют продольную и угловую

ошибки. Продольная ошибка уменьшается за счёт изменения задания линейной скорости, а угловая – изменением угловой скорости корпуса робота.

В нелинейной версии системного регулятора применяются элементы «зона насыщения», в нечёткой – блок нечёткой логики, в нейросетевом – специальный нейрон стабилизации углового положения и нелинейный элемент типа «зона насыщения» для управления контурной скоростью. При обучении (тренировке) нейронных сетей часто используют пакетный способ, суть которого заключается в тренировке нейронной сети на всех обучающих выборках одновременно до момента её окончания. Пакеты формируются из наборов траекторий с различными заданными контурными скоростями. В результате получают последовательность из нескольких минимизируемых целевых функций, что приводит к задаче многокритериальной оптимизации [2].

В данной работе предлагается дальнейшее упрощение: все колеса являются ведущими. Используется многокритериальная оптимизация при помощи комбинации методов нелинейного и нейросетевого регулирования.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0024, 1021101316166-9-2.2.2, № 075-01595-23-04 «Разработка приводного модуля повышенной радиационной стойкости с изменяемым передаточным числом и использованием электромагнитной муфты».

Литература

1. Мешковский Е.О., Курмашев А.Д., Фролов В.Я.. Нечёткое согласованное управление системой электроприводов четырёхколёсного мобильного робота. Доклады ТУСУР, 2020, том 23, № 3.
2. Мешковский Е.О. Разработка и исследование системы согласованного управления электроприводами промышленного четырёхколесного мобильного робота.

Проблемы повышения адаптивной устойчивости колесно-шагающего мобильного робота при его эксплуатации в условиях урбанизированной среды

Н.О. Тапеха, А.И. Прядко, М.Т. Коротких
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, *n.tapexha@rtc.ru, pryadko@rtc.ru,*
kmt46@mail.ru

Problems of increasing the adaptive stability of a wheel-legged mobile robot during its operation in urban environments

Nickolay O. Tapexha, Alexey I. Pryadko, Mikhail T. Korotkih
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, n.tapexha@rtc.ru, pryadko@rtc.ru, kmt46@mail.ru

На сегодняшний день существует множество методов и средств повышения устойчивости и проходимости мобильных роботов (МР), каждый из них выбирается в зависимости от геометрии и физических свойств преодолеваемой поверхности.

Адаптивный потенциал к поверхности перемещения определяет выбор механизма реконфигурации МР, функционал которого должен обеспечивать возможность самостоятельно изменять геометрические параметры шасси. Система управления, включающая в себя информационно-сенсорные и управляющие устройства, оценивающие смещение платформы по крену и дифференту относительно горизонтальной поверхности передвижения, позволит программными методами эффективно смещать центр тяжести (ЦТ) МР с помощью устанавливаемого на него подвижного навесного оборудования (манипулятор, противовес, опорно-поворотное устройство) или управляемыми динамическими воздействиями.

В совокупности такая робототехническая система может обеспечить положительный запас устойчивости при преодолении различного рода препятствий городской среды или пересеченной местности.

Изменение собственных массо-инерционных характеристик, позволяющее реализовывать надежное преодоление препятствий, например, за счет регулирования положения центра тяжести при программном смещении навесного оборудования, характеризует мобильную платформу, как адаптивно устойчивую.

Исследуемое реконфигурируемое колесно-шагающее шасси состоит из четырех колесных блоков, установленных на жестком корпусе. Каждый колесный блок состоит из балансира треугольной

формы и установленных на нем трех колес. В зависимости от выбранного режима управления, вокруг своей оси могут вращаться и балансиры, и колеса. Управление МР осуществляется посредством человека-оператора дистанционно с помощью пульта управления. На МР устанавливается полезная нагрузка в зависимости от предпочтений заказчика, например, манипулятор. Структура мобильного робототехнического комплекса (МРК) приведена на рис. 1.

К проблемам повышения адаптивной устойчивости колесно-шагающего МР можно отнести:

- статическая неустойчивость, связанная с ориентацией платформы в пространстве и смещением ЦТ из зон статического равновесия;
- трудности в программной реализации смещения общего ЦТ системы в зависимости от отклонения ЦТ платформы при преодолении препятствий;
- динамическая неустойчивость, возникающая в процессе движения МР и наезде его на различные препятствия, приводящим к возникновению импульса силы и ускорений центра тяжести относительно опорных поверхностей.

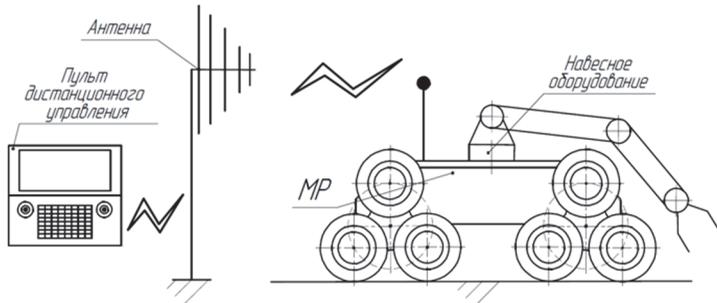


Рисунок 1 — Структура МРК

В ходе анализа существующих проблем рассматриваются следующие решения:

- построение области статической устойчивости, позволяющей оценить положительный запас устойчивости МР и применение полученных результатов в системе управления, совместно с выходными данными модуля оценки ориентации платформы для эффективного смещения ЦТ с помощью противовеса;
- увеличение количества режимов движения МР с возможностью несинхронизированного вращения колесных блоков для компенсации возникающей неустойчивости.

Таким образом, в работе проанализирован адаптационный потенциал мобильного робота, рассмотрены проблемы и методы повышения адаптивной устойчивости МР с реконфигурируемым колесно-шагающим шасси, подтверждающие эффективность работы в условиях урбанизированной среды.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России 2023 года FNRG-2022-0026 1022031700007-3-2.2.2 №075-01595-23-04 «Исследование путей реализации адаптивной устойчивости наземного модульного реконфигурируемого робототехнического шасси легкого класса при движении в недетерминированной среде с различными полезными нагрузками».

Исследовательская и испытательная полигонная база для РТК СН

С.Е. Симанов¹, Р.В. Мещеряков²

¹ФГБУ ВНИИПО МЧС России, г. Балашиха, Россия, rezerv_sse@mail.ru

²ИПУ РАН, Москва, Россия, meshcheryakov.roman@gmail.com

Research and testing ground base for special robots

Staislav E. Simanov¹, Roman V. Meshcheryakov²

¹FGBU VNIIPPO EMERCOM of Russia, Balashikha, Russia, rezerv_sse@mail.ru

²ICS RAS, Moscow, Russia, meshcheryakov.roman@gmail.com

Становление робототехники как отдельной самостоятельной отрасли промышленности формируется в развитых государствах стремительными темпами. В ряде государств разработаны программы по развитию робототехники. В таких странах, как: Китай, Япония, Южная Корея, США и в нескольких странах Евросоюза уже успешно реализуются на разных этапах.

В Российской Федерации к процессу формирования национальной программы (Стратегии) развития робототехники привлечены практически все федеральные органы исполнительной власти и ряд государственных корпораций. Вопрос создания унифицированной с применением единых стандартов среды разработки отечественной робототехники остаётся открытым.

В МЧС России, за последние более чем 25 лет, накоплен существенный научно-технический потенциал, основанный на создании и опытной эксплуатации робототехники специального назначения, её применении по предназначению при ликвидации последствий от природных и техногенных чрезвычайных ситуаций (в том числе в районах боевых действий).

Исходя из реального опыта, одним из приоритетных направлений в области развития отечественной робототехники должно стать создание инфраструктуры современной исследовательской и испытательной полигонной базы, обеспечивающих в первую очередь необходимый уровень национальной безопасности и технологической независимости России. При этом, за счет новых технологических возможностей: высокопроизводительной вычислительной техники и применения технологий цифровизации созданы все необходимые условия технологического рывка в области виртуальных и натуральных испытаний.

На пути дальнейшего развития испытательного полигонного комплекса Российской Федерации в МЧС России проводятся работы по формированию современного облика исследовательской и испытательной полигонной базы. В 2022 году специалистами ФГБУ ВНИИПО МЧС России разработан проект ГОСТа «Полигоны испытательные, учебно-тренировочные пожарного и аварийно-спасательного назначения. Классификация. Общие технические требования» и представлен на публичное обсуждение [1]. В данном стандарте впервые озвучены общие требования к испытательному полигону для робототехники и к цифровому (виртуальному) испытательному полигону (в контексте с основными задачами, решаемыми МЧС России).

Именно на современные испытательные полигоны в будущем возлагается основная ответственность за формирование перспективных направлений дальнейшего развития робототехники. Так, крупнейшая авария XXI века на радиационном объекте (АЭС, префектура Фукусима, 11 марта 2011 года) в Японии послужила, своего рода, драйвером для развития робототехники специального назначения. Что в свою очередь подтолкнуло Японию к открытию в сентябре 2020 года испытательного центра робототехники на площади в 500 тыс. кв. м, где находятся 21 объект. Центр под названием «Fukushima Robot Test Field» стоимостью 15,6 млрд иен был создан в рамках национального проекта Fukushima Innovation Coast Framework. По замыслам, новый центр испытания роботов должен дать старт «роботизированной промышленной революции». Таким образом, разработчики смогут испытать свои изделия в разных ситуациях [2].

В Российской Федерации, в системе МЧС России уже есть подобный испытательный полигон (Оренбургский филиал ФГБУ ВНИИПО МЧС России) с готовой базовой инфраструктурой и натурным испытательным комплексом различного промышленного оборудования, однако требующий до оборудования и до оснащения в рамках дальнейшего развития отечественной робототехники специального назначения. Испытательная лаборатория научно-исследовательского центра пожарной техники и систем пожаротушения ФГБУ ВНИИПО МЧС России с 1 июля 2022 года расширила область аккредитации на мобильные робототехнические комплексы для проведения аварийно-спасательных работ и пожаротушения. Тем самым на законодательном уровне подготовлен фундамент для производителей робототехники специального назначения, позволяющих в промышленных масштабах производить конкурентоспособную отечественную робототехнику. Таким образом, перспективой проводимой работы является стандартизация и унификация полигонной базы и методики проведения испытаний.

Литература

1. Ресурс сети интернет: <https://www.normacs.info/projects/10007>
2. Ресурс сети интернет: <https://rossaprimavera.ru/news/8d8f6948>

Экосистема пультов дистанционного управления для наземных робототехнических комплексов

Н.О. Тапеха, О.А. Шмаков, А.Ю. Седов

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, n.tapekha@rtc.ru, shmakov@rtc.ru,
a.sedov@rtc.ru*

Ecosystem of remote controls for ground unmanned robotic systems

Nickolay O. Tapekha, Oleg A. Shmakov, Artem U. Sedov
*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, n.tapekha@rtc.ru, shmakov@rtc.ru, a.sedov@rtc.ru*

На сегодняшний день степень автономности наземных мобильных роботов (МР) недостаточна при выполнении задач, в которых требуется быстрое реагирование и принятие нестандартных решений. Человек-оператор остается незаменим в контуре управления

средствами экстремальной робототехники при их применении в поисково-спасательных операциях, взрывотехнических работах, гуманитарном разминировании и других работах.

Для реализации задач управления МР в состав наземных робототехнических комплексов (НРТК) включаются посты управления. Такие системы дистанционного управления и передачи информации состоят из пультов дистанционного управления (ПДУ), систем связи (антенный пост, кабельные линии управления) и комплектов дополнительного оборудования (внешний источник питания, мониторы, элементы управления и т.д.).

Наиболее значительной при эксплуатации человеком-оператором составляющей поста управления является ПДУ. Его функционал, эргономика, дизайн, архитектура и технологичность напрямую влияют на исход выполняемых задач.

В ЦНИИ РТК для НРТК разрабатываются различные виды ПДУ в зависимости от требований Заказчика. Наиболее часто внедряемыми и в значительной степени унифицированными ПДУ являются стационарные и оперативные [3].

Стационарные пульта (рис. 1) выполнены на основе унифицированного кейса и ударопрочных, облегченных элементов корпуса, в которые встраивается высокопроизводительный вычислитель, дисплей, электронные компоненты и платы, органы управления (джойстики, кнопки, тумблеры) и специальные пленочные клавиатуры.



Рисунок 1 — Стационарные ПДУ

Оперативный пульт дистанционного управления (ОПДУ) имеет моноблочное исполнение и встроенный антенный пост. Фотография разработки ОПДУ приведена на рис. 2.

ОПДУ разработаны для «полевого» применения, обеспечивая возможность управления МР в непосредственной близости от него.

Такая область применения определяет основные особенности пультов данного типа: малые вес и габариты; упрощенный по сравнению с другими типами пультов интерфейс, адаптированный к использованию «на ходу».



Рисунок 2 — ОПДУ

Разрабатываемые и внедряемые пульты отличаются интуитивно понятным подходом к управлению для человека-оператора. Органы управления имеют свои очевидные и понятные для пользователя подписи и обозначения. Ключевыми элементами экосистемы системы управления НРТК являются унифицированные ПДУ обладающие быстросменными аккумуляторными батареями и стандартизированными системами зарядки [1], возможность работы с различными системами связи различных производителей [2, 4] и др.

Корпусные элементы состоят из ударопрочных элементов. Набор элементов панелей управления изменчив и разрабатывается в соответствии с требованиями заказчиков и многолетнего опыта ЦНИИ РТК.

Литература

1. Королев, Д. М. Подход к разработке систем электроснабжения автономных робототехнических систем и комплексов на их основе // Экстремальная Робототехника. 2021. Т. 1. № 1. – С. 197-204.
2. Попов, Д. С. Бортовой комплекс аудио-видео средств в составе систем дистанционного управления наземными мобильными роботами // Экстремальная Робототехника. 2021. Т. 1. № 1. – С. 169-176.

3. Попов, Д. С. Пульты дистанционного управления мобильными робототехническими комплексами наземного базирования // Экстремальная робототехника. 2021. Т. 1. № 1. – С. 177.

4. Шмаков, О. А. Особенности применения каналов управления и передачи данных в составе мобильных робототехнических комплексов наземного базирования / О.А. Шмаков, Д.С. Попов – Текст : непосредственный. // Extreme Robotics. 2020. Т. 1. № 1. – С. 302-309.

Отдельные аспекты совершенствования транспортных роботов военного назначения

М.Е. Данилин, О.П. Меньшиков

*ООО НПО «Группа «Аванти», Иннополис, Республика Татарстан, Россия,
info@avgr.tech, metod@avgr.tech*

Some aspects of improving military transport robots

Maksim E. Danilin, Oleg P. Menshikov

*LLS SPA «Avanti Group», Innopolis, Republic of Tatarstan, Russia,
info@avgr.tech, metod@avgr.tech*

В настоящее время вес минимальной нагрузки, которую обычно несет на своих плечах военнослужащий мотострелкового подразделения, увеличился до 27 кг. Вес боевой выкладки, с которой солдат идет в бой, составляет примерно 28 кг. Маршевое снаряжение, с которым мотострелковые подразделения перемещаются для занятий позиций, где можно будет оставить его часть, весит 46 кг. Масса полной боевой нагрузки может достигать до 60 кг [1].

Одним из путей решения проблемы «утяжеления» военнослужащего является принятие на оснащение мотострелковых подразделений уровня «отделение – взвод» транспортных робототехнических комплексов (РТК) с целью перенести всю тяжесть груза на «плечи» стального помощника. Одновременно для робота формулируются требования по грузоподъемности, запасу хода и управляемости [2].

На сегодняшний день разработкой роботов-транспортёров занимаются ведущие производители робототехники. Сравнительные технические характеристики таких комплексов, которые заслуживают отдельного внимания, представлены в таблице [3-8].

Технология «Следуй за мной» представляет собой способ навигации и управления автономного транспортного робота по пересеченной местности, основанный на следовании заданному объекту или человеку. Эта технология позволяет роботу автоматически следовать за выбранным целевым объектом, опираясь на маршрут его движения. Основной принцип этой технологии состоит в комплексировании информации, которая поступает с экстероцептивных датчиков (внешнего состояния) для обнаружения и отслеживания целевого объекта. При этом используются системы компьютерного зрения и глобального позиционирования, лидары, инерциальные измерительные устройства и другие сенсоры для определения положения и движения ведущего оператора.

Таблица 1 — Технические характеристики транспортных РТК

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	Элект ро
МУЛ, РФ	НПО «Аванти»	1,2×1× 0,9	151	200	40	8	Элект ро
REX, Израиль	Israel Aerospace Industries	2×0,8× 0,5	150	180	12	72	Элект ро
ROOK, Из- раиль	Roboteam	2,7×1,6 ×1,2	1200	1200	30	8	Ги- брид- ный
PROBOT, Израиль	Roboteam	1,95× 1,26× 1,06	500	750	12	8	Элект ро
ТHeMIS Cargo Эс- тония	Milrem Robotics	2,4×2× 1,15	1630	1200	20	15	Элект ро

Таким образом, с учетом того, что предполагаемая область применения транспортных комплексов военного назначения это – выполнение задач технического и материального обеспечения общевойсковых подразделений тактического звена управления, на первый план выходят технологии голосового управления и «следуй за мной».

Литература

1. Экипировка солдата: тяжелее или мобильнее? https://pikabu.ru/story/yekipirovka_soldata_tyazhelee_ili_mobilnee_5728591 (Дата обращения 23.06.2023).

2. Барабанов М.С., Бендетт С., Денисенцев С.А. и др. Роботизация и военное дело будущего / Под ред. Бондарева В.Н. М.: Центр анализа стратегий и технологий, 2021. 232 с.

3. Проект "МАРС" [Электронный ресурс] // Аврора Роботикс : [сайт]. – URL: <https://avrora-robotics.com/ru/projects/mars/> (дата обращения: 26.06.2023)

4. В РФ разработали роботов Богомол и Платформа-МУЛ для перевозки раненых и боеприпасов [Электронный ресурс] // ТАСС: [сайт]. – URL: <https://tass.ru/armiya-i-opk/15520191> (дата обращения: 26.06.2023)

5. Autonomous Combat System - Rex МК II [Электронный ресурс] // Israel Aerospace Industries: [сайт]. – URL: <https://www.iai.co.il/rex> (дата обращения: 26.06.2023)

6. ROOK - a multi purpose robotic UGV [Электронный ресурс] // Roboteam – Unmanned Ground Vehicles : [сайт]. – URL: <https://robo-team.com/products/rook/> (дата обращения: 26.06.2023)

7. PROBOT - Professional All-Terrain Carrier and Recon Military Robot [Электронный ресурс] // Roboteam – Unmanned Ground Vehicles: [сайт]. – URL: <https://robo-team.com/products/probot/> (дата обращения: 26.06.2023)

8. The THeMIS UGV [Электронный ресурс] // Milrem: [сайт]. – URL: <https://milremrobotics.com/defence/> (дата обращения: 26.06.2023)

9. Робомул Рекс следует за солдатами. <https://www.cnet.com/science/robomule-rex-follows-soldiers-voice-commands/> (дата обращения: 26.06.2023).

10. Зачем российский Центр анализа стратегий и технологий объявил награду за захват на Украине эстонской платформы THeMIS. <https://rg.ru/2022/09/06/ohota-na-robota.html> (дата обращения: 26.06.2023).

СЕКЦИЯ «МОРСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

**Об опыте создания и практического использования
надводных аппаратов (Аппаратов надводных
гидрографических — АНГ) и перспективы развития
надводной робототехники**

А.И. Жуков

*280 Центральное картографическое производство ВМФ,
Санкт-Петербург, Россия, jukov_muniz@mail.ru*

**About the experience of creation and practical use
surface vehicles (Surface hydrographic vehicles — ENG)
and prospects for the development of surface robotics**

Aleksey I. Zhukov

*280 Central Cartographic Production of the Navy, St. Petersburg, Russia,
jukov_muniz@mail.ru*

В 1970-х гг. были созданы новые катера, высокоточная радионавигационная система, эхолоты и гидролокаторы. Однако негативных обстоятельства при выполнении полевых работ отразили суть проблем развития морской техники и технологий. Сначала произошел несчастный случай — матрос остался без ноги при падении с катера при подходе к берегу в штилевую погоду, затем офицер умер от инфаркта из-за этого ЧП, а в итоге материалы прибрежного промера, выполненные старым способом (вручную — наметкой) были забракованы специалистами 280 ЦКП ВМФ. Кроме того, было множество поломок, сложностей при эксплуатации РНС ГРАС, случаев затопления катеров из-за конструкции водометов и при их буксировке.

Недостатки новых катеров и условия выполнения гидрографических работ на мелководье с использованием специальной навигационной и гидроакустической аппаратуры потребовали создания специального плавучего средства. Мне удалось спроектировать и, с разрешения Начальника ГС ЧФ, собрать в мастерской Севастопольского гидрографического района первый Аппарат надводный гидрографический (АНГ-1) в 1980 году. Этот аппарат соответствовал потребностям выполнения гидрографических работ, но не отвечал обычным для катеров характеристикам (скорость, запас плавучести и др.). Он успешно использовался до 2000 г.

Наличие плавучего средства в распоряжении гидрографической партии позволило приступить к совершенствованию состава аппаратуры и способов её использования. Прослеживаются три этапа в ходе практического использования: механизация условий выполнения гидрографических работ, автоматизация, а затем и роботизация процесса съёмки рельефа дна и других видов работ, например, поиск и обследование затонувших объектов.

Надводный аппарат «катамаранного типа» позволяет разместить на платформе различные комплекты аппаратуры, но не как полный набор всего и сразу, а только то, что требуется в данном случае.

Задание пульта управления аппаратурой и программного устройства позволило сократить численность группы на аппарате до двух человек, а при необходимости, можно было выполнять гидрографические работы одному, но подготовленному человеку.

С момента создания первого аппарата проявились вопросы организационного и юридического характера, прежде всего это вопрос о статусе и наименовании. По сути, надводный аппарат является заменой классической шлюпки типа ЯЛ. Отметим, что шлюпки имеют различные модификации (по количеству весел) ЯЛ-2, ЯЛ-4, ЯЛ-6 и «катера» с десятью веслами. Шлюпки могут ходить не только на веслах и под парусом, но и с помощью подвесного лодочного мотора, а также на буксире. Они официально имеют множество функций. Это плавучие средства, которые меньше маломерного судна.

Разнообразные размеры и комплектация специальной аппаратуры естественно требуют использования различных по грузоподъемности носителей. Имеется линейка типовых размеров для платформы на поплавках.

Применение надводных аппаратов может быть длительным, например, выполнения заданий по дежурству в заданной точке или районе.

Для малогабаритных Надводных аппаратов есть возможность одновременного использования нескольких аппаратов (рой, стая, группа), как одинаковых, так и различных по своим функциям. Их обеспечение в удаленном районе Мирового океана может выполнять одно судно-носитель.

Сегодня даже робототехнические конструкторы позволяют собрать вполне работоспособные Надводные аппараты.

Успешное развитие этого направления требует Научного обеспечения в широком смысле. Только при одновременном решении технических задач, организационных и юридических вопросов.

Федеральным законом от 10 июля 2023 года № 294 внесены дополнения в Кодекс торгового мореплавания и другие законы морского профиля, определяющие порядок использования «автономных и полуавтономных судов». Это отражает реальные возможности внедрения робототехнических комплексов для транспортного флота. При этом наличие экипажа на борту судна или «внешнего экипажа» свидетельствует о наличии «обслуживающего персонала». Представляется целесообразным пересмотреть вопросы «автономности и обитаемости» судов, надводных и подводных аппаратов (как и такси), т. к. управление движением как по программе, так внешнее, не связано однозначно с наличием людей на борту «катера» или судна.

При разработке Морской робототехники требуется одновременно и создание судов-баз (носителей), предназначенных для размещения групп Надводных, Подводных и Летательных аппаратов, специальной аппаратуры и персонала для обеспечения их использования в экспедиционных условиях.

Организационно-штатные мероприятия должны обеспечить вопросы подготовки специалистов для разработки и создания всего спектра Надводных аппаратов, для удовлетворения потребностей России, как великой морской державы, а также установить статус личного состава экспедиций и других организаций морского профиля.

Литература

1. А.И. Жуков, Надводный гидрографический аппарат. «Записки по гидрографии», № 221 — 1989 г., изд. ГУНиО МО СССР.
2. В.Б. Александров, Использование технических плавсредств катамаранного типа для выполнения гидрографических работ, «Вестник Госгидрографии» Министерства транспорта Украины № 4 (20) декабрь 2007 г.
3. Патент на изобретение № RU 2 041 115 С1.

О некоторых новых применениях роботов вертикального перемещения

И.Л. Ермолов^{1,2}

¹ИПМех РАН, Москва, Россия, ermolov@ipmnet.ru

²СПбГМТУ, Санкт-Петербург, Россия

About some new applications of climbing robots

Ivan L. Ermolov^{1,2}

¹Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy
of Sciences, Moscow, Russia, ermolov@ipmnet.ru

²St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia

Перспективный робот для очистки корпусов судов

В рамках Программы «Приоритет-2030» ИПМех РАН совместно с СПбГМТУ разрабатывает перспективный робот для очистки корпусов судов от обрастания [1].

Важным отличием данного робота является возможность осуществления процесса очистки корпуса судна, находящегося на плаву, т.е. без необходимости постановки его в сухой док.

В рамках выполнения научно-исследовательской работы разрабатывается технический облик перспективного робота. При этом используется Типовая схема деления, предложенная в [3].

В докладе будут представлены как ранее полученные результаты разработки, так и перспективные направления исследований и разработок в этой области.

Робот для инспекции кессона МЛСП «Приразломная»

Морская ледостойкая стационарная платформа (МЛСП) «Приразломная» является значительным достижением отечественной промышленности в области создания современного оборудования для добычи ископаемых на шельфе в Российской Арктике.

Важным компонентом МЛСП «Приразломная» является кессон, одной из функций которого является защита платформы ото льдов в зимнее время года.

По существующим регуляторным правилам кессон необходимо регулярно обследовать на предмет его состояния. Однако особенности изготовления кессона, а также метеорологические особенности местности не позволяют применять традиционные средства инспекций, применяемые на море.

В рамках проведённых работ осуществлён расчет, подтверждающий возможность применения робота вертикального перемещения для инспекции состояния кессона.

Также, базируясь на Типовой схеме деления РТК, проработана структура робота и подобран ряд ключевых его компонентов.

Помимо этого, автор видит широкие перспективы применения роботов вертикального перемещения для инспекции состояния портовой инфраструктуры, мостов, шлюзов и других гидротехнических сооружений, а также для выполнения различных технологических операций, включая контактные операции [2].

Благодарности

В докладе представлены результаты, полученные в ходе выполнения следующих НИР: тема государственного задания (№ госрегистрации АААА-А20-120011690138-6), НИР «Поисковые исследования для создания компонентов РТК для очистки корпусов судов от обрастаний» при поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» и НИР «Эксплуатация ПА для МЛСП «Приразломная» в условиях сурового воздействия течения и волнения морской среды», совместно выполненной ИПМех РАН и СПбГМТУ для ПАО «Газпромнефть».

Литература

1. Перспективный мобильный робототехнический комплекс для проведения регламентных операций по очистке корпусов судов от обрастаний / И. Л. Ермолов, М. М. Князьков, Е. А. Семенов, А. Н. Суханов // Морские интеллектуальные технологии. — 2023. — Т. 1, № 2.
2. Адаптация технологического оборудования для использования на мобильном робототехническом комплексе вертикального перемещения (МРК), спроектированного для работы на вертикальных и горизонтальных поверхностях нефте- и газохранилищ / И. Л. Ермолов, М. М. Князьков, Е. А. Семенов, А. Н. Суханов // *Станкоинструмент*. — 2022. — Т. 3, № 028.
3. Ермолов И.Л., С.П. Хрипунов, Формирование обобщенной структурной схемы робототехнических комплексов / И.И. Ермолов, // Робототехника и техническая кибернетика. – №1(14). – Санкт-Петербург: ЦНИИ РТК.

**Особенности применения пневматических роботов
вертикального перемещения с вакуумными
устройствами фиксации в водной среде**

Н.Н. Болотник, М.М. Князьков, Е.А. Семенов, В.Г. Чашухин,
А.Н. Суханов, Ф.М. Бельченко, П.П. Остриков
ИИМех РАН, Москва, Россия, sukhانov-artyom@yandex.ru

**Application Features of Pneumatic Climbing Robots
with Vacuum Fixing Devices in Water Environment**

Nikolai N. Bolotnik, Maxim M. Knyazkov, Evgeny A. Semenov,
Vladislav G. Chashchukhin, Artem N. Sukhanov,
Philip M. Belchenko, Pavel P. Ostrikov
*Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy
of Sciences, Moscow, Russia, sukhанov-artyom@yandex.ru*

В лаборатории робототехники и мехатроники Института проблем механики Российской академии наук была разработана роботизированная платформа, способная перемещаться по поверхностям произвольного наклона [1]. Эта платформа обладает пневматическими приводами и присосками, которые позволяют ей передвигаться в шагающем режиме. Фиксация ног робота на поверхности перемещения обеспечивается работой воздушных эжекторов [2].

На испытательном стенде были проведены испытания и оценена эффективность работы воздушных эжекторов при различных глубинах погружения робота в водной среде. Для имитации глубины погружения на выходном сопле эжектора создавалось давление, совпадающее с давлением воды на имитируемой глубине. Видно, что переходные процессы образования вакуума в присосках существенно замедляются с глубиной погружения (Рис.1). Это связано с ростом внешнего давления. Кроме того, на скорость переходного процесса влияет вязкость жидкости, находящейся в полости вакуумирования. Чем больше вязкость, тем медленнее истекает воздушно-жидкостная смесь из выходного сопла эжектора.

Таким образом, при использовании воздушных эжекторов время полного цикла шага транспортной платформы на глубине будет сильно увеличено по сравнению со временем шага платформы на воздухе.

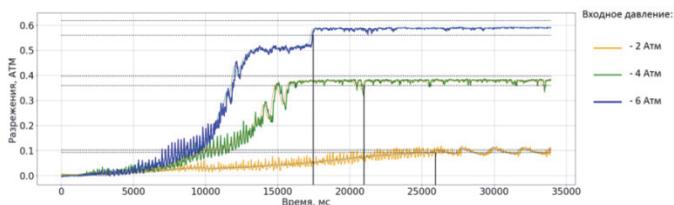


Рисунок 1 — Переходный процесс установления вакуума при различных давлениях жидкости, окружающей эжектор

Предложена конструкция мобильной платформы робота, позволяющая за счет гидродинамических сил дополнительно прижимать платформу к поверхности перемещения с целью изменения объема вакуумируемой камеры благодаря деформации присосок. Это приводит к увеличению скорости истечения воздушно-жидкостной смеси через выходное сопло эжектора. Конструкция включает два эластичных полотна, закрепленных на приводных рейках, и позволяет управлять силой прижима вакуумных присосок к поверхности и адаптироваться к течению жидкости, окружающей мобильную платформу.

Компьютерное моделирование показало, что данная конструкция позволяет развить большое прижимное усилие. Это моделирование позволило определить минимальный момент, который должны развить приводы реек при заданных параметрах течения и размерах конструкции.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФ. Грант №23-11-00067.

Литература

1. Gradetsky V.G., Knyazkov M.M., Semenov E.A., Sukhanov A.N., Chashchukhin V.G. Particularities of Wall Climbing Robot Motion on Underwater Environments // Мехатроника, автоматизация, управление. 2018. Т. 19. № 9. С. 608-611. <https://doi.org/10.17587/mau.19.608-611>.
2. Градецкий В.Г., Князьков М.М., Семенов Е.А., Суханов А.Н. Динамические процессы в вакуумных контактных устройствах роботов вертикального перемещения в водной среде // Мехатроника, автоматизация, управление. 2019. Т. 20. № 7 С. 417-421. <https://doi.org/10.17587/mau.20.417-421>.

НПА для экологического мониторинга в аквакультуре

Г.К. Тевяшов, М.В. Мамченко

*ИПУ РАН, Москва, Россия, glebtevyashov96@yandex.ru,
markmamcha@gmail.com*

UUVs for environmental monitoring in aquaculture

Gleb K. Tevyashov, Mark V. Mamchenko

*V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia, glebtevyashov96@yandex.ru, markmamcha@gmail.com*

Экологический мониторинг в аквакультуре

Экологический мониторинг в аквакультуре оценивает и контролирует воздействие аквакультурных операций на окружающую среду, сокращает негативные эффекты и обеспечивает устойчивость аквакультуры. Это включает контроль качества воды, наблюдение за выбросами и загрязнениями, анализ генетического влияния и борьбу с распространением болезней. Подводные роботы обладают рядом преимуществ, которые делают их ценными инструментами для проведения мониторинга в аквакультуре. В настоящей статье предложена структура необитаемого подводного аппарата (НПА) для решения задач экологического мониторинга.

Необитаемые подводные аппараты в экомониторинге

Подводные роботы (НПА) обладают рядом преимуществ [1], которые делают их ценными инструментами для проведения мониторинга в аквакультуре, а именно:

1. Доступ к труднодоступным местам, так как НПА могут проникать в труднодоступные и опасные зоны, такие как недоступные места в аквакультурных установках или глубокие водные резервуары, где проведение мониторинга вручную может быть сложным или опасным.

2. Высокая мобильность: НПА могут передвигаться по водным пространствам и обследовать большие площади, что облегчает сбор данных о состоянии окружающей среды в различных областях аквакультуры.

3. Подводные аппараты могут быть оснащены различными датчиками и инструментами для сбора данных, такими как датчики качества воды, системы образования изображений или сборщики проб. Это позволяет проводить широкий спектр измерений, таких как измерение температуры, pH, уровня кислорода, концентрации питательных веществ и других параметров, которые важны для оценки состояния экосистемы аквакультуры.

4. Длительное время работы: Подводные роботы обычно обладают автономностью и могут работать в течение длительного времени без необходимости постоянного присутствия оператора. Это позволяет собирать данные в течение долгого периода времени, получая более полную и точную информацию о динамике изменений в окружающей среде.

5. Снижение стоимости и рисков: Использование подводных роботов может снизить стоимость и риски проведения мониторинга в аквакультуре. Операторы могут управлять роботами удаленно, минимизируя необходимость прямого вмешательства человека в процесс мониторинга.

Для проектирования и дальнейшего использования НПА необходимо сформировать представление чем и для чего необходимо оснащать аппарат, для эффективного решения поставленных задач [2].

Литература

1. Бахарев С.А., Карасев В.В., Карасев А.В. (2015). Использование автономных необитаемых подводных аппаратов в процессе изучения Мирового океана // Научные труды Дальрыбвтуза, 35, 41-51.

2. Лазарев, Е. С. (2011). Пути совершенствования океанографических необитаемых подводных аппаратов. Известия Южного федерального университета. Технические науки, 116 (3), 172-180.

Опыт комплексного сопровождения создания робототехнических средств освоения мирового океана

Г.А. Тумашик, Д.Ю. Шалаев, В.Э. Тютюков, М.А. Дмитриев
*ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург,
Россия, krylov@ksrc.ru*

Experience in comprehensive support for the creation of robotic means for exploring the world's oceans

Gleb A. Tumashik, Denis Y. Shalaev, Vladimir E. Tyutyukov,
Maxim A. Dmitriev
Krylov State Research Centre, St. Petersburg, Russia, krylov@ksrc.ru

Особый приоритет для решения проблем, связанных с исследованием и освоением глубин Мирового океана, имеет создание и использование автономных необитаемых подводных аппаратов

(АНПА) и различных систем, обеспечивающих их длительную работу в сложных условиях подводной среды [1]. Также анализ форм и способов применения АНПА свидетельствует о постоянном росте возможного вклада перспективных подводных аппаратов в интегрированную операцию робототехнических комплексов в интересах всех видов и родов войск [2].

Независимо от назначения и функциональных характеристик конкретного образца АНПА, в рамках его проектирования необходимо предусмотреть как расчетное, так и экспериментальное обоснование назначенной глубины эксплуатации, количества циклов погружения-всплытия, времени работы под действием внешнего давления, а также проверку работоспособности оборудования в условиях требуемых нагрузок. Такой подход позволяет снять недостатки, присущие чисто расчетным или чисто экспериментальным методам при их раздельном применении.

Подход к расчетному обоснованию прочностных характеристик АНПА не может быть совершенно универсальным ввиду многообразия форм и типов корпусов АНПА и применяемых конструкционных материалов. Тем не менее, в общем случае можно выделить некоторые основные этапы расчетного процесса:

- определение тактико-технических характеристик АНПА;
- определение нормируемых параметров прочности и коэффициентов запаса для конкретного АНПА;
- аналитическая оценка НДС основных корпусных конструкций АНПА и определение его разрушающей нагрузки на основе имеющихся аналитических методов;
- выбор расчетной схемы и построение компьютерной 3D-модели АНПА, учитывающей все элементы корпуса и внутреннего насыщения, способные оказать влияние на местную прочность;
- численные расчеты НДС в линейной постановке для определения фактического распределения напряжений и деформаций в корпусных конструкциях АНПА, а также упруго-пластические расчеты с учетом фактических свойств материала и несовершенств формы корпуса с целью определения действительной разрушающей нагрузки АНПА;
- сравнение полученных расчетных значений с допускаемыми, анализ выявленных зон концентрации напряжений, при необходимости – внесение изменений в расчетную схему и численную модель АНПА и выполнение нового расчета.

В связи с отсутствием на настоящий момент отечественной нормативно-технической документации, регламентирующей нормы

прочности и надежности реальных корпусов АНПА, аналитические подходы к оценкам прочности таких объектов могут быть применены лишь в ограниченной мере и лишь для наиболее стандартных узлов. Это диктует необходимость экспериментального подтверждения прочности АНПА с одновременным мониторингом фактического состояния конструкций путем выполнения тензоизмерений.

Проведенные на ранней стадии проектирования испытания на образцах, позволяют адекватно задавать верхние границы эксплуатационных свойств используемого материала, а также обоснованно уменьшать коэффициенты запаса и увеличивать экономичность за счет снижения вероятности ошибки в задании физических параметров конструкционного материала [3].

В течение последних нескольких лет, во ФГУП «Крыловский ГНЦ» был выполнен ряд крупных опытно-конструкторских работ, связанных с научно-техническим сопровождением проектирования и создания перспективных образцов обитаемой глубоководной техники.

Так, в 2018-2020 годах было принято участие в создании первого отечественного роботизированного подводного комплекса «Витязь-Д», эксплуатируемого на предельной глубине Мирового океана. Совместно с бюро-проектантом на стадии проектирования был проведен ряд расчетных исследований и определен оптимальный конструктивный облик прочных контейнеров будущего аппарата. С использованием стендов ФГУП «Крыловский государственный научный центр» были испытаны все основные элементы комплекса, в том числе прочные контейнеры для аппаратуры, гидроакустические антенны, телекамеры, светильники и другое забортное оборудование, воспринимающее давление при эксплуатации на экстремальных глубинах [4].

Кроме того, были проведены несколько сотен приемо-сдаточных гидростатических испытаний в док-камерах в целях подтверждения прочности и герметичности различных образцов АНПА и отдельных элементов их забортного оборудования.

Выполненные работы подтверждают эффективность комбинированного расчетно-экспериментального подхода при проектировании и оценке прочности и надёжности корпусов АНПА.

Литература

1. Киселев Л.В. К итогам третьей всероссийской научно-технической конференции «Технические проблемы освоения Мирового океана» // Журнал «Подводные исследования и робототехника», выпуск № 2 (8), ДВО РАН, 2009 г.

2. Шпартак С. Зарубежное военное обозрение. - 2023. - №6. - С. 75-832.

3. Пузырёв А.М., Тютюков В.Э. Современные подходы к обеспечению прочности корпуса необитаемого подводного аппарата // Морское подводное оружие. Перспективы развития. Материалы Всероссийской научно-практической конференции, 2015 г.

4. Дмитриев М.А., Тютюков В.Э., Шалаев Д.Ю. Разработка расчетно-экспериментальных методик обеспечения прочности и функциональной надежности обитаемых подводных аппаратов // Материалы XI Международной конференции «Военно-морской флот и судостроение в современных условиях» (NSN'2021), 2021 г.

Российские средства подводной навигации и связи: практика использования и перспективы

А.П. Абеленцев

*Лаборатория подводной связи и навигации ООО, Москва, Россия,
hello@unavlab.com*

Russian underwater navigation and communication instruments: practice and prospects

Arthur P. Abelentsev

*Underwater Communicztions & Navigation Laboratory LLC, Moscow, Russia,
hello@unavlab.com*

С учетом того, как разворачивается ситуация с доступностью новейших зарубежных технологий навигации и связи под водой, разработка отечественных средств гидроакустической связи и навигации, обеспечивающих работу подводных робототехнических комплексов различной степени автономности, становится еще более актуальной. В данной работе представлен обзор средств решения задач навигации и связи под водой, в том числе представлены изменения линейки наших продуктов по сравнению со временем конференции «Экстремальная робототехника» 2022 г.

В рамках доклада будут также продемонстрированы практические результаты совместной работы с другими участниками конференции (по гражданской тематике).

Естественные сложности

Предназначенная работать в естественных водоемах гидроакустическая система связи должна проектироваться в первую очередь с учетом «недружелюбных» условий работы: крайне узкая доступная полоса частот, рефракция, интерференция и прочее. С учетом актуальных технических требований, современная система связи должна иметь встроенные механизмы разделения абонентов.

Производимые ООО «Лабораторией подводной связи и навигации» гидроакустические модемы семейств uWave, имеют встроенную систему кодового разделения абонентов и обеспечивают пользователя так называемыми «изолирующими кодовыми каналами»: изолирующий кодовый канал гарантирует, что любой абонент не может принять сообщение, которое было передано в кодовом канале, отличным от того, в котором он ведет прием.

Модем разрабатывался на основе цифрового шумоподобного сигнала, обеспечивающего работу в условиях многолучевого распространения и при значительном уровне помех.

Модем решает задачи:

- передачи произвольных цифровых данных;
- разделения и изоляции абонентов;
- логической адресации;
- гарантированной доставки (получения подтверждения о получении и повторной передачи);
- определение азимута и дистанции до передающего модема (для версии uWave USBL).

Габариты и масса модемов uWave делают возможным в принципе оснащение такими средствами самых малых аппаратов, в особенности автономных необитаемых (АНПА), значительно расширяя тем самым их функционал и область применения.

Например, самый малый из устройств семейства uWave, являющийся на данный момент самым маленьким из подобных устройств в мире [1][2] при размере 45x42 мм обеспечивает связь на дальностях до 1000 метров (подтвержденная в естественном водоеме дальность - 1092 метра).

Таких выдающихся массогабаритных показателей удалось достичь при помощи запатентованного [3] решения, когда весь модем, включая аналоговые тракты приема и передачи и цифровой сигнальный процессор, располагаются внутри пьезокерамической антенны.

Навигационные задачи

На сегодняшний день использование цифровых сигналов в качестве навигационных стало стандартом де-факто, и в самом широком смысле навигационные задачи включают в себя задачи обеспечения связи.

Нами разработана и с 2015 года выпускается система т.н. подводного GPS [4][5], являющаяся на данный момент ближайшим аналогом глобальных спутниковых навигационных систем и реализует их ключевую особенность: четыре плавучих буя в акватории позволяют определять собственное географическое (абсолютное) местоположение неограниченному числу подводных объектов, оснащенных малогабаритными навигационными приемниками. При этом навигационные приемники эмулируют протокол обычных GNSS-приемников, что позволяет максимально упростить интеграцию.

Определение навигационных параметров управляемого объекта

Задача в большей степени актуальна для различных телеуправляемых аппаратов и осуществления поиска в аварийных случаях.

Телеуправляемый аппарат, как правило не содержит серьезной логики обеспечения собственного движения, в лучшем случае он может иметь систему стабилизации глубины, и, что значительно реже - курса. Телеуправление осуществляется по кабелю, а обратная связь организуется при помощи видеоизображения/звуковидения/ гидролокации.

На существенных для таких комплексов дистанций - более сотни метров, телеуправление без определения как минимум относительного (относительно судна обеспечения) положения аппарата затруднено и сопряжено с рисками, особенно в районах с активным судоходством и/или различными природными факторами (сложный донный ландшафт, течения, плохая видимость и т.п.).

В ООО «Лаборатория подводной связи и навигации» разработан целый ряд систем для решения обозначенной задачи.

В частности, нами разработана, производится и продается ультратяжелобазисная система Zima2 [6], которая позволяет осуществлять слежение за подводными объектами, оборудованными маяками-ответчиками, при помощи пеленгационной антенны, устанавливаемой на опускной штанге на судне обеспечения.

Литература

1. Zia, M.Y.I., Poncela, J. & Otero, P. State-of-the-Art Underwater Acoustic Communication Modems: Classifications, Analyses and Design

Challenges. *Wireless Pers Commun* 116, 1325–1360 (2021)

2. Quraishi, Anwar Ahmad, *Cooperative Multi-Robot Systems for Aquatic Environmental Sensing: pour l'obtention du grade de Docteur es Sciences*, EPFL, Lausanne, 170p, (2021)

3. Патент RU2659299C1

4. https://docs.unavlab.com/documentation/RU/RedWAVE/Red-WAVE_DataBrief_ru.html

5. Патенты US10989815B2, WO2017044012A1, EP3349040A4, RU2599902C1

6. https://docs.unavlab.com/navigation_and_tracking_systems_ru.html#zima2

Телевизионная система телеуправляемого необитаемого подводного аппарата

В.В. Сергеев, С.И. Косьянчук, Ю.С. Прибылов
АО «НИИ телевидения», Санкт-Петербург, Россия, npk62ypr@niitv.ru

Remotely operated underwater vehicle television system

Vladimir V. Sergeev, Sergey I. Kosjanchuk, Yuriy S. Pribylov
*JSC «Television Scientific Research Institute», St. Petersburg, Russia,
npk62ypr@niitv.ru*

В настоящее время телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА), оснащенные системами подводного видения, широко используются при выполнении поисковых работ затонувших объектов, осмотровых работ контроля технического состояния установок нефтегазового комплекса, при 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 рассмотрены основные требования, предъявляемые к современным ТВ системам ТНПА:

- формирование изображений при низких отношениях сигнал/шум с цифровой обработкой для повышения качества получаемых изображений;
- формирование и передача ТВ изображений в реальном времени без задержки с частотой кадров не менее 25 Гц;

– формирование ТВ изображений с разрешением не менее 1920×1080.

Кроме того, ТВ система должна обеспечивать необходимые условия наблюдения для комфортной работы оператора, быть простой и надежной в эксплуатации, поддерживать режим Plug and Play.

В настоящее время в ТВ системах ТНПА при формировании и передаче изображений разрешением 1920×1080 без сжатия и задержки с частотой 25 Гц, с поддержкой режима Plug and Play используются ТВ камеры и оборудование для передачи и приема изображений на судне-носителе стандарта HD-SDI.

В докладе приведена структурная схема 4-х канальной ТВ системы ТНПА с возможностью увеличения, при необходимости, до 8 зон наблюдения.

В качестве альтернативы стандарту HD-SDI, в докладе предлагается применить аналоговый интерфейс высокой четкости формата AHD 2.0 (Analog High Definition) для ТВ камер и оборудования для его передачи на судно-носитель, которое обеспечивает формирование и передачу изображений разрешением 1920×1080 (Full HD) без сжатия и задержки с частотой до 30 Гц и поддерживает режим Plug and Play.

В докладе описана структура, работа, типовой состав и размещение оборудования ТВ системы на ТНПА, приводятся основные технические параметры ТВ камер формата AHD 2.0 и светодиодных светильников разработки АО «НИИ телевидения»:

– для наблюдения за кабель-тросом используется мини телекамера на КМОП матрице IMX327 с фиксированным полем зрения в воде;

– для эффективной работы оператора с манипулятором предлагается использовать стереокамеру и анаглифные очки. Приводится описание программного обеспечения для программной юстировки телекамер для получения надежного стереоэффекта;

– при необходимости видеонаблюдения в широком угле зрения в воде (до 180°), предлагается использовать пару мини телекамер в одном корпусе с программной сшивкой изображений, что позволит получать качественные изображения в высоком разрешении по сравнению с телекамерами типа «Рыбий глаз»;

– для оперативного просмотра пространства (без изменения положения ТНПА в вертикальной плоскости), целеуказания с возможностью видеонаблюдения объектов в увеличенном масштабе, предлагается применить поворотную на ±45° варифокальную телекамеру.

Для обеспечения требуемого уровня освещенности установлены конструктивно одинаковые светодиодные светильники с возможностью плавной регулировки мощности излучения. Все оборудование исполнено в герметичных корпусах на рабочее давление 6 МПа.

В докладе показано, что реализация ТВ системы ТНПА с применением оборудования формата UHD 2.0 по сравнению со стандартом HD-SDI имеет меньшие габариты и на порядок дешевле при одинаковом качестве получаемых изображений.

Опыт и перспективы применения групп морских робототехнических комплексов глайдерного типа для решения задач мониторинга и патрулирования акваторий

А.М. Маевский^{1,2}, И.А. Печайко²

¹ФГБОУ ВО СПбГМТУ, Санкт-Петербург, Россия,
maevskiy_andrey@mail.ru

²АО «НПП ПТ «Океанос», Санкт-Петербург, Россия

Experience and prospects for using groups of glider-type marine robotic systems to solve problems of monitoring and patrolling water areas

Andrey M. Maevskiy^{1,2}, Ivan A. Pechaiko²

¹*Saint-Petersburg Marine Technical University, St. Petersburg, Russia,*
maevskiy_andrey@mail.ru

²*JSC «Oceanos», St. Petersburg, Russia*

Последние тенденции в применении подводных и волновых глайдеров в мире свидетельствуют о растущей роли данных робототехнических средств в различных сферах, связанных с морскими исследованиями, мониторингом, безопасностью и экологическим контролем. Вот несколько ключевых областей, где глайдеры находят свое применение:

- Оперативная океанология [1].
- Мониторинг и патрулирование акваторий [2].
- Формирование быстроразворачиваемых мобильных рубежей охраны подводных объектов [3].
- Ликвидация чрезвычайных ситуаций [4].
- Мониторинг подводных объектов [5].
- Глобальная система мониторинга океана [6].

– Морская геологоразведка.

Все эти применения глайдеров подчеркивают их значимость для научных исследований, безопасности на море и экологической охраны океана.

С 2012 года ФГБОУ ВО СПбГМТУ совместно с АО «НПП ПТ «Океанос» ведет разработку целого ряда МРТК глайдерного типа [7]. На рисунке 1 представлена структурная схема программно-аппаратного комплекса подводного глайдера и разработанные экспериментальные образцы гетерогенной группы МРТК

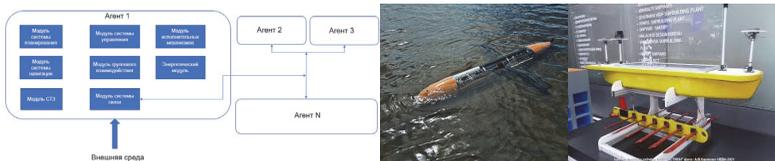


Рисунок 1 — Структурная схема программно-аппаратного комплекса подводного глайдера и разработанные экспериментальные образцы гетерогенной группы МРТК

В 2023 году разработчиками ФГБОУ ВО СПбГМТУ совместно с АО «НПП ПТ «Океанос» был проведен ряд натурных работ направленных на верификацию расчетных моделей применения МРТК, в том числе для решения задач мониторинга и патрулирования ППОО, задач морской геологоразведки, океанологических и экологических исследований.

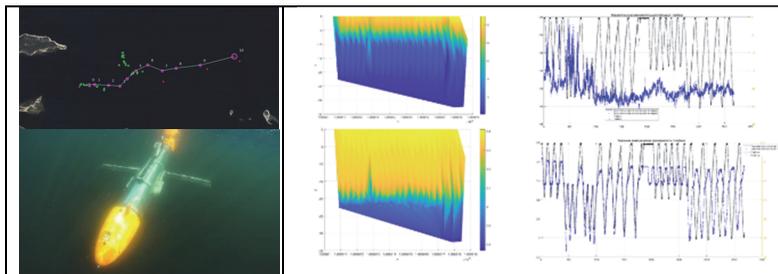


Рисунок 2 — Решение задач морской геологоразведки, экологических исследований и мониторинга

Пример решения задач обеспечения морской геологоразведки, океанологических, экологических исследований и мониторинга сов-

местно с сотрудниками МГУ им. М.В. Ломоносова в районе Беломорской биологической станции (ББС) МГУ имени Н.А. Перцева в п. Приморский представлен на рис. 2.

Литература

1. Wagawa, T.; Igeta, Y.; Honda, N.; Abe, S.; Ito, M.; Okunishi, T.; Hasegawa, D.; Kakehi, S.; Setou, T.; Shimizu, Y. Hydrographic 337 observations in the Japan Sea with an underwater glider. In Proceedings of the 2016 Techno-Ocean (Techno-Ocean), 2016, pp. 595–598. <https://doi.org/10.1109/Techno-Ocean.2016.7890725>.
2. Chang, D.; Zhang, F.; Edwards, C. Real-Time Guidance of Underwater Gliders Assisted by Predictive Ocean Models. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 2015, 32, 562–578. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-14-00098.1>.
3. Dassatti, A.; Schaar, M.; Guerrini, P.; Zaugg, S.; Houegnigan, L.; Maguer, A.; André, M. On-board underwater glider real-time acoustic environment sensing. 2011, pp. 1 – 8. <https://doi.org/10.1109/Oceans-Spain.2011.6003482>.
4. Berenshtein I, Paris CB, Perlin N, Alloy MM, Joye SB, Murawski S. Invisible oil beyond the Deepwater Horizon satellite footprint. *Sci Adv.* 2020 Feb 12;6(7):eaaw8863. doi: 10.1126/sciadv.aaw8863. PMID: 32095516; PMCID: PMC7015680.
5. Glenn, S.; Jones, C.; Twardowski, M.; Bowers, L.; Kerfoot, J.; Kohut, J.; Webb, D.; Schofield, O. Glider Observations of Sediment Resuspension in a Middle Atlantic Bight Fall Transition Storm. *Limnology and Oceanography* 2008, 53, 18. <https://doi.org/10.2307/40058377>. 365.
6. Perry, M.J.; Briggs, N.; Gray, A.; Lee, C.; Rehm, E.; D'Asaro, E.; Gudmundsson, K.; Kallin, E.; Lampitt, R.; Poulton, N.; et al. Optical observations of large diatoms and sinking particles during the North Atlantic Spring Bloom made from seagliders, floats and a ship. *Ocean Optics* 2008. 361
7. Maevskij, A.; Gajkovich, B. Development of hybrid autonomous uninhabited vehicles for the exploration of hydrocarbon deposits. *News of gas science* 2019, 2 (39), 29–40. 367

Гидроакустическая навигационная система с длинной базой для определения местоположения автономного необитаемого подводного аппарата

А.А. Тузова, А.Г. Кузнецов

*СПбГМТУ, Санкт-Петербург, Россия, tuzova.smtu@yandex.ru,
andky@inbox.ru*

Long baseline acoustic positioning system for locating an autonomous underwater vehicle

Anna A. Tuzova, Andrei G. Kuznetsov

*State Marine Technical University, Saint Petersburg, Russia,
tuzova.smtu@yandex.ru, andky@inbox.ru*

В работе рассмотрена актуальная задача навигационного сопровождения автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) и предложено решение этой задачи в виде гидроакустической (ГА) навигационной системы с длинной базой (ДБ), разрабатываемой в Санкт-Петербургском государственном морском техническом университете.

Для получения координат АНПА в системе с ДБ необходимо определить расстояния до нескольких пространственно-разнесенных ГА маяков с известными координатами и решить систему нелинейных уравнений [1], включающих также сдвиг по времени между часами ГА маяков и часами АНПА.

Для решения такой системы уравнений предлагается использовать алгоритм на основе расширенного фильтра Калмана (ЕКФ – Extended Kalman Filter) [2], который учитывает такие особенности навигации в системе с ДБ, как: автоматический выбор начального состояния фильтра, сохранение стабильности работы фильтра при неравномерном интервале поступления входных отсчетов измерений, обработка выбросов фильтрации, учет дрейфа ГА маяков на поверхности воды.

Предложенный алгоритм был отработан на модели системы с ДБ, а затем в ходе натурных испытаний. ГА маяк ДБ представлен на рис. 1. Маяк имеет ГНСС приемник в надводной части и ГА антенну на кабеле в подводной части, с помощью которой координаты маяка излучаются в воду.

На рис. 2 представлена одна из полученных с помощью системы с ДБ траекторий движения лодки, в которой находилась ГА система

связи и позиционирования, принимающая и обрабатывающая сигналы от ГА маяков.

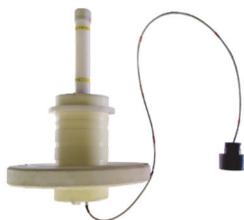


Рисунок 1 — Маяк ДБ

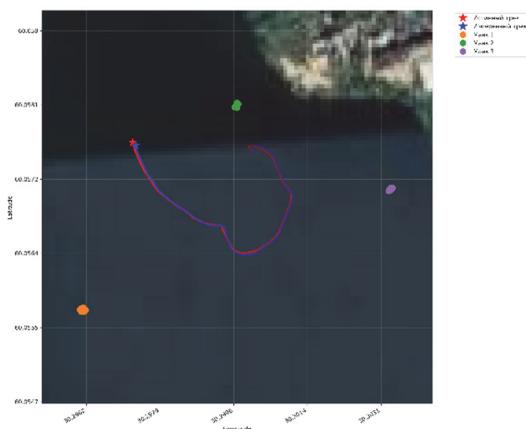


Рисунок 2 — истинный и измеренный трек
(средняя ошибка 1.779 м, СКО – 1.750 м)

В статье приведен анализ результатов модельных и натуральных испытаний, собрана статистика как по исходным измерениям маяков, так и по рассчитанным координатам, произведена оценка точности системы и сделаны выводы по качеству работы предложенного алгоритма на основе расширенного фильтра Калмана.

Литература

1. Агеев М.Д. и др. Автономные подводные роботы. Системы и технологии. – М.: Наука, 2005, - 400 с.
2. Wickert, Mark & Siddappa, Chiranth. (2018). Exploring the Extended Kalman Filter for GPS Positioning Using Simulated User and Satellite Track Data. 84-90.

О необходимости учета изменения тяги подруливающих устройств при исследовании динамики подводных аппаратов

А.В. Юрканский, И.И. Ремизов

АО «ЦКБ МТ «Рубин», Санкт-Петербург, Россия, neptun@ckb-rubin.ru

Necessity of taking into account changing thrust during the dynamics research of underwater vehicles thruster

Alexander V. Iurkansky, Ivan I. Remizov

Central design bureau for marine engineering «Rubin», St. Petersburg, Russia, neptun@ckb-rubin.ru

Большая часть миссий АНПА (патрулирование, поисковые операции, позиционирование, обследование, идентификация подводных объектов, подводная съемка) выполняются на малых скоростях хода, до 3-4 уз, на которых рули малоэффективны, основным средством активного управления АНПА являются подруливающие устройства (ПУ).

Однако, с увеличением скорости набегающего потока, даже при самых малых скоростях хода, эффективная тяга ПУ уменьшается. Гидродинамические факторы, приводящие к такому снижению тяги ПУ следующие [1, 2]:

1. Взаимодействие струй, создаваемых носовым ПУ, и потока, обтекающего корпус, приводит к понижению давления на борту АНПА, в зоне выходного канала ПУ и образованию силы засасывания на корпусе, существенно снижающей эффективную тягу носового ПУ;

2. Искривленная набегающим потоком струя примыкает к корпусу за ПУ и ускоряет поток в области пограничного слоя. Это приводит к дополнительному разрежению на корпусе и снижает эффективную тягу носового ПУ;

3. При относительно больших скоростях обтекания корпуса в сравнении с относительно маленькими скоростями струи, создаваемой ПУ, наблюдается эффект «запирания» потока, когда выброс струи из канала ПУ затруднен.

Исследования эффективности ПУ надводных судов при различных скоростях хода проводятся с 60-х годов XX века в опытовых бассейнах.

Сравнение результатов испытаний показывает, что характеристики работы ПУ надводных судов и подводных объектов значительно различаются между собой, особенно в области больших относительных скоростей, более 0,4.

По этой причине некорректно использовать зависимости, характерные для надводных судов, при проектировании ПУ АНПА, а также при математическом моделировании динамики АНПА с использованием ПУ.

Таким образом, очевидно, что при проектировании АНПА есть потребность в верифицированной характеристике падения тяги ПУ.

На основании результатов модельных и натурных испытаний, в том числе непосредственно полученных авторами статьи, была разработана зависимость для АНПА с формой корпуса, близкой к телу вращения «веретенообразной» формы.

Задача позиционирования и маневрирования на малых скоростях хода решается при помощи ПУ, задача управляемости на большой скорости хода решается при помощи рулей, или кормовых движителей. Таким образом, для АНПА оснащенного средствами управления на больших и на малых скоростях хода важной задачей является определение скорости хода, на которой необходимо переходить от одних средств управления к другим.

Представлена зависимость, позволяющая получить наглядное представление об эффективности ПУ при различных скоростях хода АНПА.

В соответствии с представленной зависимостью, проектант системы управления АНПА может назначить скорость хода, на которой происходит переключение между органами управления АНПА, например, между ПУ и рулями.

Литература

1. Афремов А.Ш., Мартиросов Г.Г., Немзер А.И., Русецкий А.А., Сергеев В.В., Шевцов С.П. Яковлев А.Ю. Средства активного управления судами: Монография / Под общей редакцией д.т.н., проф. А.А. Русецкого. – СПб.: ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2016. – 182 с.

2. Карликов В.П., Шоломович Г.И. Некоторые особенности силового взаимодействия тел с потоком при истечении из них поперечных струй // Механика жидкости и газа. 1998. №3. С. 18-24.

Моделирование течения внутри обтекателя типа «присоска Бернулли»

Н.А. Щур

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, koliambos@mail.ru

Flow modeling inside Bernoulli sucker

Nikolai A. Tschur

Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Peterburg, Russia, koliambos@mail.ru

В докладе представлены результаты гидродинамического моделирования течения внутри обтекателя типа «присоска Бернулли». Данный обтекатель представляет из себя полый толстостенный цилиндр с дискообразным расширением на одном конце (рис. 1). Диаметр отверстия обтекателя составляет 0.2 метра, а диаметр дискообразного расширения – 0.5 метра. Течение внутри обтекателя предполагается задавать при помощи четырёх лопастного винтового движителя диаметром 0.18 метра.

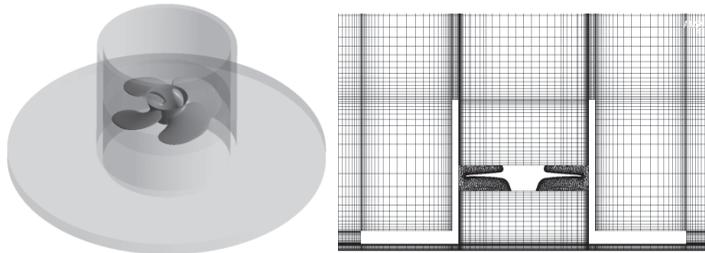


Рисунок 1 — Геометрия обтекателя типа «присоска Бернулли» и расчетная сетка в осевом сечении

Обтекатель обращен дискообразным расширением к твёрдой стенке. Таким образом, между твёрдой стенкой и дискообразным расширением имеется зазор постоянной толщины 1.5 см. Расчётная область имеет форму соосного с обтекателем цилиндра диаметром 4 метра и высотой 2.23 метра. Нижним торцом цилиндра является стенка, к которой обращён обтекатель, а на боковой поверхности и верхнем торце задано постоянное давление.

Частота оборотов винта составляет -1000 оборотов в минуту. Вращение винта гонит жидкость внутри обтекателя в сторону от

дискообразного расширения. Таким образом, в зазоре между диском и подстилающей поверхностью создаётся пониженное давление, что и должно привести к эффекту присоски.

Расчетная сетка состояла из двух блоков: цилиндрический блок вокруг винтового движителя, размерностью 930 тыс. ячеек, и внешний блок вокруг обтекателя типа «присоска Бернулли», размерностью 870 тыс. ячеек. Первоначальные попытки свести задачу в стационарной постановке оказались неудачными. Тогда задача была поставлена в нестационарной постановке с шагом 0.0005 секунды, что соответствует примерно 120 шагам на полный оборот винта.

В нестационарной постановке получены колебания упора на винте с частотой вчетверо выше, чем частота оборотов (рис. 2).

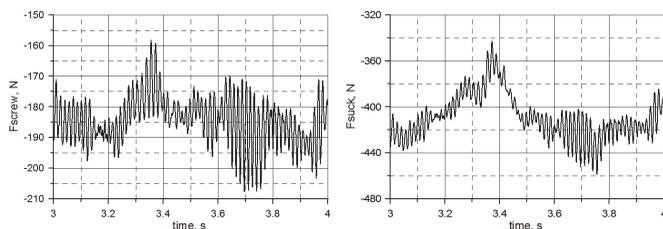


Рисунок 2 — Колебания упора на винте и силы, действующей на обтекатель

Данные колебания связаны, скорее всего, с пространственной несимметричностью потока, входящего в цилиндрическое отверстие обтекателя со стороны стенки. Также наблюдается низкочастотная составляющая изменения силы, действующей на винт. Аналогичная картина, но с ещё более выраженной низкочастотной составляющей, наблюдается для силы, действующей на обтекатель. Важно отметить, что уровень сил, действующих на обтекатель, более чем вдвое превосходит силы на винте. Таким образом, можно говорить об эффективности использования обтекателя, типа «присоска Бернулли».

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России на 2023 год № 075-01595-23-00 от 26.12.2022 FNRG-2022-0013, 1021060307689-7-1.2.1;2.2.2. «Исследование путей создания и областей возможного применения биоморфных подводных роботов».

Применение крыльчатых движителей на телеуправляемых подводных аппаратах

И.Б. Калинин

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, i.kalinin@rtc.ru

The use of Voit Schneder Propeller on remotely operated underwater vehicle

Ilya B. Kalinin

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, i.kalinin@rtc.ru*

Существующие движительные комплексы, применяемые на телеуправляемых подводных аппаратах, обладая простотой и широкими возможностями для создания различных компоновочных схем, при увеличении размеров и массы аппаратов, а также спектра выполняемых ими задач, ограничивают и усложняют проектирование таких аппаратов, требуя перехода на многомоторные схемы.

В ходе создания и последующего проведения натурных испытаний телеуправляемого необитаемого подводного аппарата проектанту и создателям НПА сталкивались с рядом технических проблем и основные из них – рациональное количество классических движителей импеллерного типа и оптимальное их размещение на аппарате. Известная компоновочная схема на восьми движителях обладает наилучшей маневренностью, поскольку позволяет осуществлять как движение по всем трем осям, так и вращение вокруг всех трех осей (дифферент, рыскание и крен). Такая схема упрощает балансировку аппарата по продольной оси, а также увеличивает динамические возможности аппарата вдоль вертикальной оси, что позволяет, например, поднимать более тяжелый груз.

Однако использование схемы с восемью импеллерами усложняет компоновку аппарата, ограничивает возможности по размещению и применению оборудования на борту аппарата. Основная сложность заключается в том, что каждому движителю необходимо обеспечить свободное пространство спереди и позади него для формирования струи.

Векторная схема размещения движителей в горизонтальной плоскости, давая преимущество в маневрировании, является энергетически неэффективной, как при движении вперед, так и при движе-

нии лагом, поскольку вектор тяги движителя не совпадает с направлением движения аппарата, т.к. ось движителя при такой компоновке образует с диаметральной плоскостью аппарата определенный угол, обычно 45° . При реверсе, КПД движительного комплекса падает еще больше по причине того, что профили гребных винтов оптимизированы на прямой ход и при переключке на реверс КПД снижается на 10..15%.

В качестве альтернативы рассматривается движительный комплекс, базирующийся на основе крыльчатого движителя Фойта-Шнайдера. Крыльчатый движитель классической конструкции широко применялся и применяется как в отечественном, так и в зарубежном судостроении. Однако попыток применить крыльчатый движитель на подводных аппаратах ранее не предпринималось. Единый крыльчатый движитель скомбинирован с соосным гребным винтом и размещен в центре аппарата, как показано на рисунке 1. При этом такой движитель в одном агрегате обеспечивает как перемещение аппарата по всем направлениям, так и вращение аппарата вокруг всех осей (по дифференту, по крену и по курсу)

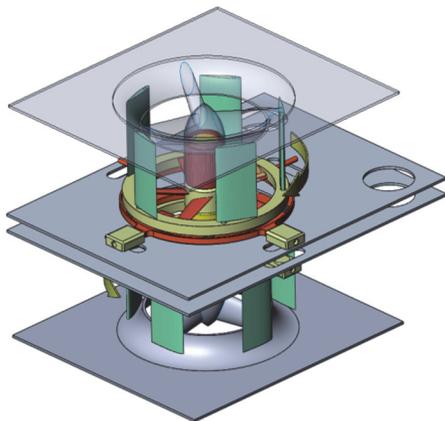


Рисунок 1 — Общий вид крыльчатого движителя

Применение крыльчатого движителя позволяет сконцентрировать всю энергетику аппарата в едином устройстве и реализовать в требуемом направлении всю мощность силовой установки, повысить эффективность движительного комплекса, упростит задачу размещения движителей путем перехода от многочисленных импеллеров к одному агрегату.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0025 1021101316168-7-2.2.2 «Алгоритмы группового управления автономными необитаемыми подводными аппаратами в условиях ограниченной пропускной способности гидроакустических каналов связи».

Перспективы развития морских робототехнических комплексов с учётом группового применения

А.С. Проценюк

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, a.procenyuk@rtc.ru

Prospects for the development of marine robotic complexes taking into account group applications

Alexey S. Procenyuk

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, a.procenyuk@rtc.ru*

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.
5. Обеспечение безопасности акваторий морских и прибрежных объектов.
6. Экологический мониторинг.
7. Ликвидация последствий аварийных ситуаций (аварийно-восстановительные работы).

Основными задачам морских робототехнических 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 видеoinформации 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.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 075-01623-22-01 1021101316168-7-2.2.2 «Алгоритмы группового управления автономными необитаемыми подводными аппаратами в условиях ограниченной пропускной способности гидроакустических каналов связи».

Опыт моделирования управляемого движения подводного аппарата с волнообразным движением плавников

К.К. Забелло, Н.А. Щур

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, kosnay@mail.ru,
koliambos@mail.ru

Experience in modeling the controlled movement of an underwater vehicle with undulating fin movement

Konstantin K. Zabello, Nikolai A. Shur

Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Peterburg, Russia, kosnay@mail.ru, koliambos@mail.ru

В данной работе рассматривается задача моделирования управляемого движения создаваемого крупномасштабной деформацией плоского бокового плавника, закрепленного на аппарате эллиптического сечения (рис. 1). Управление осуществлялось по курсу с использованием ПД регулятора. Линия крепления самого плавника неподвижна, а максимальная амплитуда деформации соответствует свободному краю плавника. Сама деформация задаётся в виде бегущей волны.

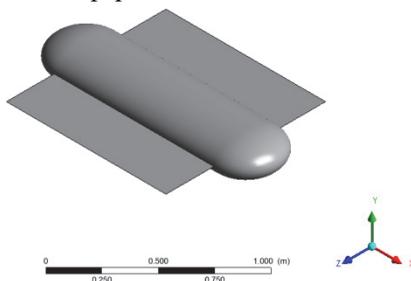


Рисунок 1 — Вид моделируемого объекта

Формула для вертикального смещения поверхности плавника при деформации:

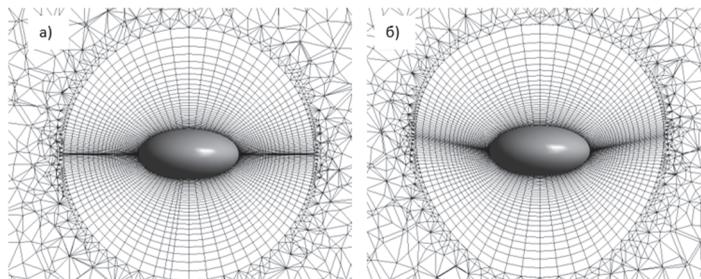
$$dY = A * (Z - Z_0) * \sin(Kx * X + Kt * time), \quad (1)$$

где Z_0 – боковая координата основания плавника (места крепления плавника к аппарату); Kt – частота колебаний плавника; Kx – определяет число волн на длину плавника; A – амплитуда колебаний плавника.

Аналогичная формула применяется для бокового смещения:

$$dZ = (Z - Z_0) * \left(\frac{2\pi s}{\text{atan} \left(A * \sin \left(\frac{K \text{time} * \text{time} +}{+K \text{dist} * x_0} \right) \right) - 1} \right) \quad (2)$$

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 $k-\omega$ SST Ментера. Использовался второй порядок аппроксимации по пространству и первый порядок аппроксимации по времени. Размерность расчетной сетки (рис. 2) составила 630 тысяч ячеек. Для исследуемого диапазона частот от 0.5 до 3 Гц, шаг по времени в расчёте составлял 0,01 сек.



**Рисунок 2 — Сетка в плоскости поперёк аппарата:
а) базовая; б) деформированная**

По результатам расчетов установлено, что предложенная движительная схема аппарата является плохо управляемой по курсу на маршевой скорости. Причина заключается в наличии препятствующем управлению гидродинамическом моменте, вызванным наличием поперечной составляющей тяги плавников.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России на 2023 год № 075-01595-23-00 от 26.12.2022 FNRG-2022-0013, 1021060307689-7-1.2.1;2.2.2. «Исследование путей создания и областей возможного применения био-морфных подводных роботов».

Сравнительное моделирование динамики подводного манипулятора на фиксированном и плавающем основаниях

В.А. Леонтьев

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, vleont@mail.ru

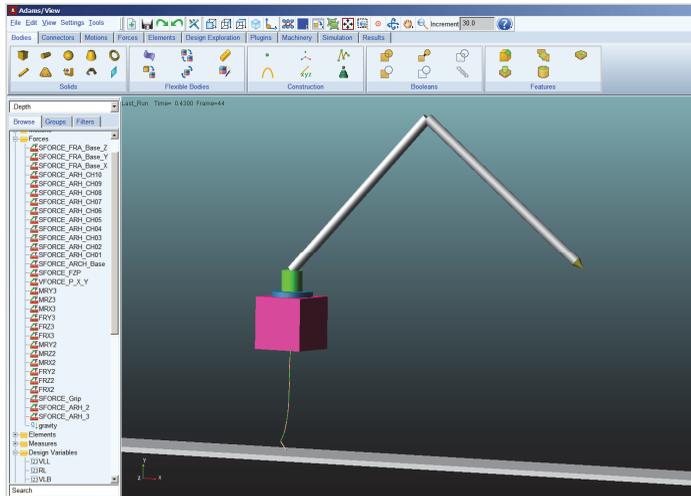
Comparative simulation of dynamics of the underwater manipulator on a fixed and floating base

Victor A. Leontev

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, vleont@mail.ru*

Исследована управляемость подводного манипулятора, расположенного на плавающем основании (в виде куба), прикрепленного цепями тем или иным способом ко дну, и произвести сравнение его динамики с движением манипулятора, расположенного на фиксированном основании относительно дна. Расчеты необходимо провести на модели, построенной в компьютерной программе MSC.ADAMS/View. Рассматривается режим управляемого подъема схвата манипулятора вверх. Управление осуществлялось с помощью модели ПИД регулятора с управлением как по скорости в шарнирах, так и по отработке положений шарниров манипулятора. Учитывались силы гравитации, выталкивающие силы Архимеда, силы сопротивления воды во всех направлениях, действующие как на манипулятор, так и на куб-основание и придерживающие его цепи.

Плавающее основание представляет собой куб, от центра нижней грани которого спускается цепь, прикрепленная ко дну. Модель подводного манипулятора состоит из трех звеньев цилиндрической формы с наконечником-схватом на конце третьего звена. Два последних звена представляют собой длинные цилиндры одинаковой длины и диаметра. Звенья связаны тремя вращательными шарнирами. Основная задача моделирования состояла в изучении влияния гидродинамических сил сопротивления и сил присоединенных масс воды на динамику манипулятора. В шарнирах манипулятора заданы управляющие моменты, реализованные по принципу работы ПИД регуляторов. При этом манипулятор обладает нулевой плавучестью. На рис. 1. показана расчетная модель, построенная в компьютерной программе MSC.ADAMS/View.



**Рисунок 1 — Расчетная модель манипулятора.
Крепление основания ко дну одной цепью**

В результате исследований можно сделать следующие выводы:

1. В случае простых цепей, придерживающих плавающее основание только снизу, не удастся обеспечить выполнения задач точного управления схватом подводного манипулятора.
2. Требуемая управляемость может быть обеспечена либо жестким стержневым закреплением плавающего основания манипулятора ко дну, либо расположением подводного манипулятора на более массивном подводном объекте.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России на 2023 год «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).

**Развитие методики совместного моделирования
динамики аппарата и гидродинамики жидкости
на деформируемых сетках для случая движения аппарата
в следе за препятствием**

Н.А. Щур, А.А. Пожилов
*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, koliambos@mail.ru
aapozhilov@mail.ru*

**Development of computational technique for simultaneous
modeling of device and flow dynamics using deforming
meshes for case of device motion in the wake of an obstacle**

Nikolai A. Tschur, Aleksei A. Pozhilov
*Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Peterburg, Russia, koliambos@mail.ru, aapozhilov@mail.ru*

При обтекании препятствия потоком жидкости, за ним часто образуется нестационарное течение с крупномасштабными структурами, которое оказывает заметное воздействие на движущийся в этой области аппарат. Развивающаяся в РТК методика совместного расчёта динамики аппарата и гидродинамики обтекающей его жидкости на деформируемых сетках позволяет детально моделировать движение аппарата в не загромождённом пространстве (вдали от других объектов).

В рамках текущей работы, эта методика была дополнена. В частности, предложена структура расчётной сетки и алгоритм её деформации для случая движения аппарата в следе за препятствием. Для примера, на рис. 1 показано центральное сечение расчётной сетки для задачи занятия и удержания аппаратом типа «Дельфин» точки с заданными координатами за препятствием. Вся расчётная сетка делится на 3 сеточных блока, которые стыкуются между собой с помощью сеточных интерфейсов.

Первый блок – внутренний сферический блок с тетраэдральной сеткой и призматическими слоями вокруг аппарата. В процессе моделирования сетка в этом блоке перемещается и поворачивается вместе с аппаратом по закону твёрдого тела, ячейки сетки при этом не растягиваются и форма их не меняется.

Второй блок состоит из сетки за препятствием, он содержит преимущественно прямоугольные гексагональные ячейки и стыкуется с первым блоком по сферическому интерфейсу. Внешние границы

этого блока неподвижны. При смещении внутреннего блока, например, в сторону правой границы, все ячейки, находящиеся правее внутреннего блока, сжимаются, а все ячейки левее внутреннего блока – растягиваются. Ячейки во втором блоке не поворачиваются.

Третий блок представляет собой неподвижную расчётную сетку перед и по бокам от препятствия. Он стыкуется со вторым блоком по плоскому интерфейсу.

Дополненная методика позволяет проводить моделирование движения аппарата в обширной области за препятствием, включая случаи как с заходом аппарата в след, так и с выходом из следа во внешний поток. Результаты таких расчётов могут быть использованы для анализа и улучшения работы алгоритмов системы управления аппарата при сильных нестационарных воздействиях потока на аппарат.

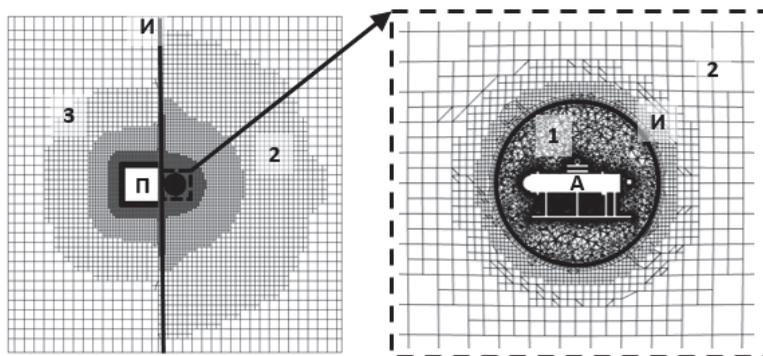


Рисунок 1 — Пример расчётной сетки для моделирования движения аппарата в следе за препятствием: П – препятствие, А – аппарат, И – сеточный интерфейс, 1,2,3 – сеточные блоки

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России на 2023 год № 075-01595-23-04 FNRG-2022-0008 1021051101732-4-1.2.1;2.2 «Исследование методов и разработка технологий создания отладочно-моделирующих комплексов для функционального и поведенческого моделирования РТК и групп РТК».

Синтез алгоритмов управления движением необитаемого подводного аппарата в условиях непрогнозируемых течений и прочих возмущающих воздействий

Д.К. Серов

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, d.serov@rtc.ru

Synthesis of algorithms for motion control of uninhabited underwater vehicle in the presence of unpredictable currents and other disturbances

Danila K. Serov

*Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Peterburg, Russia, d.serov@rtc.ru*

В настоящее время автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) находят активное применение при выполнении обзорно-поисковых и исследовательских миссий [1]. При этом одним из ключевых этапов проектирования таких аппаратов остается разработка системы управления, позволяющей обеспечивать успешное выполнение различного рода операций в условиях нестационарной внешней среды.

Несмотря на то, что для управления движением АНПА используются классические алгоритмы управления, такие как ПИД-регуляторы [2] и LQR [3], их применение осложняется нелинейным характером модели объекта управления, возможным наличием ненаблюдаемых внешних возмущающих воздействий, таких как течения и остаточная плавучесть, а также аппаратными ограничениями, приводящими к дискретности и задержкам управляющего сигнала. В связи с этим активно развиваются адаптивные алгоритмы управления, позволяющие компенсировать как неточности в аналитической модели подводного аппарата, так и переменные во времени возмущающие воздействия [4], [5].

В данном докладе представлен двухконтурный алгоритм управления линейными координатами аппарата при его динамическом позиционировании. Регулятор верхнего уровня на основании текущего вектора состояния объекта управления позволяет определять желаемый вектор скорости аппарата. Регулятор нижнего уровня обеспечивает управление скоростью аппарата, позволяя компенсировать влияние течений и остаточной плавучести при невозможности их прямого наблюдения.

По результатам моделирования с использованием различных алгоритмов управления выявлены критические значения комбинаций возмущающих факторов, при которых точность позиционирования АНПА соответствует допустимым значениям. Выполнен сравнительный анализ рассмотренных алгоритмов управления для позиционирования АНПА в условиях наличия возмущающих воздействий и аппаратных ограничений.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России на 2023 год № 075-01595-23-00 от 26.12.2022 FNRG-2022-0017 1021060307691-2-1.2.1;2.2.2 «Развитие теории синтеза оптимального управления гиперизбыточными роботами подводного базирования в условиях непрогнозируемых нестационарных течений и потоков».

Литература

1. Бахарев С.А., Карасев В.В., Карасев А.В. Использование автономных необитаемых подводных аппаратов в процессе изучения Мирового океана // Научные труды Дальрыбвтуза. – т. 26 – 2022 – С. 63-72.
2. 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. – Т. 8. - №4 – 2020. – С. 308-318.
3. S. Wang, H. Jin, L. Meng, G. Li Optimize motion energy of AUV based on LQR control strategy // 35th Chinese Control Conference (CCC) – 2016 – pp. 4615-4620.
4. L. Qiao and W. Zhang Trajectory Tracking Control of AUVs via Adaptive Fast Nonsingular Integral Terminal Sliding Mode Control // IEEE Transactions on Industrial Informatics – vol. 16 – no. 2 – 2020 – pp. 1248-1258.
5. K. Fang, H. Fang, J. Zhang, et al. Neural adaptive output feedback tracking control of underactuated AUVs // Ocean Engineering – vol. 234 – 2021 – pp. 1-11.

**Исследование алгоритмов распределения управляющих
воздействий для управления движением
гиперизбыточных необитаемых подводных аппаратов
с использованием переменного количества движителей**

С.А. Солнышкин

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, solnyshkinsa@rtc.ru

**Study of control allocation algorithms for over-actuated
underwater vehicle motion control using variable number
of thrusters**

Stanislav A. Solnyshkin

Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, solnyshkinsa@rtc.ru

Гиперизбыточность усложняет процесс синтеза системы управления (СУ), так как требует решения задачи распределения управляющих воздействий по компонентам движительно-рулевого комплекса (ДРК), сложность которой растет с числом компонентов ДРК. Введение конфигуратора в СУ дает возможность решать задачи управления движением гиперизбыточного необитаемого подводного аппарата (НПА) и распределения управляющих воздействий по компонентам ДРК независимо друг от друга. При этом конфигуратор с учетом состояния и особенностей компонентов ДРК позволяет осуществлять управление, как всеми сразу, так и отдельными группами компонентов ДРК.

В данной работе рассматривается управление движением двух гиперизбыточных НПА разной конфигурации с использованием переменного количества компонентов ДРК, что становится возможным благодаря гиперизбыточности и реализуется с помощью конфигуратора. Рассмотрены аналитические алгоритмы распределения управляющих воздействий, модифицированные для управления движением гиперизбыточных НПА с использованием переменного количества компонентов ДРК аналогично [1]. Модифицированные алгоритмы имеют вид (1), (2):

$$\begin{aligned} N &= [N_1 \dots N_l], \quad B_f = [B_{f_1} \dots B_{f_l}], \\ N_j &= \bar{B}_{f_j}^+ \bar{U}_{\text{рег}j}, \quad j = 1 \dots l, \\ U_{\text{рег}j} &= U_{\text{рег}j-1} - B_{f_{j-1}} \cdot N_{j-1}, \quad j = 2 \dots l, \\ U_{\text{рег}1} &= U_{\text{рег}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $N \in \mathbb{R}^{m \times 1}$ – вектор входных сигналов для ДРК; N_j – вектор входных сигналов -ой группы компонентов ДРК; B_f – матрица конфигурации компонентов ДРК с учетом их текущего вклада в управление; B_{f_j} – матрица конфигурации -ой группы компонентов ДРК с учетом их текущего вклада в управление; $U_{\text{per}} \in \mathbb{R}^{k \times 1}$ – вектор выходных значений регулятора базовых координат; U_{per_j} – нераспределенный остаток вектора выходных значений регулятора базовых координат на -ом шаге (для j -ой группы компонентов ДРК); m – количество компонентов ДРК; k – количество базовых координат; l – количество групп компонентов ДРК.

$$\begin{aligned} N_j &= -c_j + \bar{B}_{f_j}^+ \cdot (\bar{U}_{\text{per}} + \bar{B}_f \cdot c_j), \\ \bar{B}_{f_j} &= \bar{B}_f \cdot R_j, \quad R_j = \text{diag}\{r_{ij}\}, \quad i = 1 \dots m, \\ c_j &= [c_{1j} \dots c_{mj}]^T, \quad c_{ij} = \begin{cases} -N_{\text{max}} & |N_i| > N_{\text{max}}, \\ 0 & \text{иначе} \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

где N_j – вектор входных сигналов компонентов ДРК на -ом шаге; c_j – вектор насыщения входных сигналов компонентов ДРК на -ом шаге; \bar{B}_{f_j} – матрица конфигурации компонентов ДРК с учетом насыщения на -ом шаге; R_j – матрица насыщения компонентов ДРК на -ом шаге.

На примере кибернетической модели автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА), которая описывает динамику АНПА в базовых координатах типовыми динамическими звеньями [2], и кибернетической модели телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА) [3], параметры которой идентифицированы методом аналогичным рассматриваемому АНПА, проведены численные эксперименты. В экспериментах рассмотрены приведенные варианты конфигураторов. Исследована их применимость при использовании переменного количества компонентов ДРК.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России на 2023 год № 075-01595-23-00 от 26.12.2022 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»

Литература

1. Солнышкин С.А. Отказоустойчивое управление движением гиперизбыточного автономного необитаемого подводного аппарата с применением конфигулятора. //Сборник материалов конференции «Робототехника и Мехатроника – 2023. XVI-я Всероссийская Мультиконференция по проблемам управления».
2. 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.
3. Кавтрев С. С. и др. Опыт создания гиперизбыточного необитаемого подводного аппарата. – 2021.

Упрощенное моделирование струйных течений, создаваемых за счёт работы движителей

С.Т. Шекелашвили, Н.А. Щур
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия,
shekelashvili.st@edu.spbstu.ru

Experience in simplified modeling of jet flows generated by propulsors

Sergei T. Shekelashvili, Nikolai A. Shchur
*Russian State Scientific Centre for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Peterburg, Russia, shekelashvili.st@edu.spbstu.ru*

Одним из способов моделирования движения управляемых подводных аппаратов является проведение сопряженных расчётов с решением уравнений динамики жидкости и динамики абсолютно твёрдого тела. Используя данные о положении и ориентации аппарата, во время расчёта можно осуществлять управление за счёт добавления на каждом шаге по времени некоторой силы, например, задавая обороты на винтовых движителях и добавляя соответствующее воздействие с помощью кривой действия. Более сложная модель требует также учета влияния на динамику струйных течений, возникающих из-за работы движителей. В связи с этим требуется выбор оптимальной модели: именно этому вопросу посвящена настоящая работа.

Самой удачной с точки зрения вычислительных затрат и точности описания реальных эффектов оказалась упрощенная модель движителя в виде тонкого диска. На его основании задаётся условие дозвукового входа (причём на одном из них течение направлено внутрь диска), что позволяет учесть движение жидкости с обеих сторон от движителя, а на боковых границах – условие стенки с проскальзыванием. Установлено, что в расчётных пакетах ЛОГОС и ANSYS Fluent такая постановка задачи позволяет получить качественное решение и избежать многих вычислительных сложностей, таких как возникновение источника или стока массы из-за неравенства расходов с двух сторон диска. Так как граничное условие задается для нормальной компоненты скорости, такой подход не требует дополнительных корректировок направления струи при изменении ориентации аппарата.

При использовании схожих параметров солвера и сетки рассмотренный метод позволяет получить в двух примененных вычислительных пакетах численно идентичные результаты как по значениям расхода, так и по полям скорости (см. рис. 1).

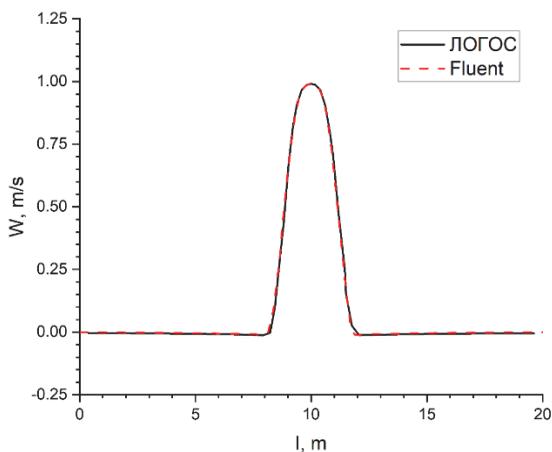


Рисунок 1 — Профиль скорости в сечении, расположенном на расстоянии 5 диаметров диска от движителя, Fluent и ЛОГОС

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России на 2023 год № 075-01595-23-00 от 26.12.2022 FNRG-2022-0013, 1021060307689-7-1.2.1;2.2.2. «Исследование путей создания и областей возможного применения био-морфных подводных роботов».

Обеспечение безопасности функционирования больших АНПА путем прогнозирования и контроля их энергоресурса

Л.А. Мартынова

*АО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», Санкт-Петербург, Россия,
martynowa999@bk.ru*

Ensuring the safe operation of large AUVs by predicting and controlling their energy resources

Lyubov A. Martynova

*JSC Concern Central Research Institute Elektropribor, St. Petersburg, Russia,
martynowa999@bk.ru*

В настоящее время ведущие морские державы разрабатывают большие автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) для преодоления расстояний свыше 10 000 км в течение нескольких месяцев без профилактического и внепланового обслуживания, экстренного ремонта и восполнения энергоресурса. Такие подводные аппараты способны обнаруживать подводные объекты, измерять параметры морской среды, вести сейсморазведку, видео- и фотосъемку, доставлять полезную нагрузку. При этом возникает опасность дефицита энергоресурса из-за преодоления большого расстояния в течение длительного времени, в связи с чем необходимо постоянно в ходе выполнения маршрутного задания прогнозировать энергорасход и контролировать остаток энергоресурса. Поскольку датчики расхода на каждом элементе оборудования отсутствуют, потребовалась разработка математических моделей расхода оборудования в различных режимах с целью контроля и прогнозирования.

Ввиду того, что большой АНПА и его гибридные системы энергообеспечения (СЭО) в России создаются впервые, ранее такая задача не рассматривалась. Существующие отечественные разработки по гибридным СЭО [1] не предназначены для больших АНПА, а в зарубежных источниках не раскрываются принятые технические и алгоритмические решения [2].

Целью работы явилось формирование имитационных моделей и разработки алгоритмов прогнозирования и контроля и энергоресурса больших АНПА.

Анализ потребления энергоресурса в ходе выполнения маршрутного задания выявил необходимость разработки математических мо-

делей лишь для потребителей с относительно большим объемом потребления. Остальным потребителям для функционирования требуется существенно меньше электроэнергии, и она была принята постоянной. При выборе математической модели указанных устройств среди альтернативных, отличающихся степенью детализации воспроизводимых процессов, учитывались параметры потребителя, влияние внешней среды и параметры движения большого АНПА на динамику энергопотребления.

При прогнозировании энергопотребления с использованием математических моделей были определены минимальный и максимальный пределы его изменения и срок прогнозирования – в зависимости от параметров работы.

При оценке текущего потребления и остатка энергоресурса происходит расчет совокупного удельного потребления электроэнергии по всем запитанным элементам оборудования в текущий момент времени, расчет совокупного остатка энергоресурса по всем задействованным источникам электроэнергии.

При проведении численного эксперимента рассмотрен маршрут, включающий в свой состав участки с изменением скорости движения АНПА от минимальной до максимальной и обратно с одновременным заглублением и всплытием и использованием дополнительного оборудования, соответствующего целям маршрутного задания.

Результаты расхода энергоресурса с течением времени отображались в виде диаграммы Ганта.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект 23-29-00803.

Литература

1. Бакуменко Л.Г., Дядик А.Н., Сурин С.Н. Использование электрохимических генераторов на автономных необитаемых подводных аппаратах // Системы управления и обработки информации. СПб. 2018. Вып 1(40). С. 50–55.

2. Swider-Lyons K.E. Hydrogen fuel cells for unmanned undersea vehicle propulsion. // ECS Transactions. September 2016. 75(14). pp.:479-489.

Моделирование расхождения и движения подводных аппаратов на базе тесно интегрированных одномерных и трехмерных моделей движения и моделей управления

С.А. Половко¹, Е.Ю. Смирнова¹, Н.А. Щур¹, А.А. Деулин²,
Е.В. Глазунова², Д.О. Козлов²

¹ГНЦ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, polovko@rtc.ru, eus@rtc.ru,
n.tschur@rtc.ru

²РФЯЦ ВНИИЭФ, г. Саров, Россия, aadeulin@vniief.ru,
evglazunova@vniief.ru, DmOKozlov@vniief.ru

Simulation of underwater vehicles divergence and movement, based on closely integrated one-dimensional and three-dimensional motion models and control models

Sergey A. Polovko¹, Ekaterina Yu. Smirnova¹,
Nikolai A. Tschur¹, Andrey A. Deulin², Elena V. Glasunova²,
Dmitriy O. Kozlov²

¹Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, polovko@rtc.ru, eus@rtc.ru, n.tschur@rtc.ru

²Russian federal nuclear center VNIIEF, Sarov, Russia, aadeulin@vniief.ru,
evglazunova@vniief.ru, DmOKozlov@vniief.ru

Актуальность развития современных технологий моделирования для сопровождения проектирования подводных управляемых объектов обусловлена расширением круга задач подводных аппаратов, особенно когда речь идёт о подводных робототехнических комплексах (РТК) повышенной степени автономности. Хотя при проектировании таких изделий учитываются опыт отработки и результаты исследований аппаратов-аналогов, этого опыта оказывается недостаточно при создании образцов, существенно отличающихся от предшествующих как по объёму, так и по уровню решаемых задач. С учетом цены возможных ошибок, экспериментальная проверка новых решений или функций должна начинаться одновременно с разработкой эскизного проекта.

Развитие цифровых технологий позволяет максимально использовать для экспериментальной отработки вычислительные эксперименты, основанные на использовании математических моделей. Однако, возможность заменить физический объект его математической моделью ограничивается ее сложностью. Моделирование расхожде-

ния и движения подводных аппаратов (ПА) с учетом гидродинамических свойств объекта выполняется на сетках с десятками миллионов узлов, а вычисления оказываются в сотни раз медленнее, чем выполнение соответствующего натурального эксперимента. Выходом из такой ситуации является создание иерархии моделей, в которой результаты предыдущей модели являются исходными данными для последующей, а конечная модель обладает приемлемой скоростью счета и позволяет решить заданные целевые задачи по анализу, синтезу и отработке алгоритмов обработки информации и управления.

В докладе рассматривается интеграция двух видов моделей:

- гидродинамические модели, отличающиеся высокой точностью моделирования движения в трёхмерном пространстве, но требующие значительного машинного времени, используются для определения минимального количества динамических характеристик объекта управления и итоговой проверки качества разработанного управления,

- кибернетические модели, отличающиеся высокой скоростью вычислений и минимальным количеством настраиваемых параметров, используются для синтеза управления базовыми координатами объекта в результате решения задач оптимизации и всестороннего анализа различного рода возмущающих воздействий и ограничений.

Для гидродинамического моделирования были использованы специализированные программные средства и отечественный пакет программ «Логос».

Приводятся примеры моделирования управления при выполнении подводными аппаратами простых и комплексных операций.

Уменьшение эффекта дисторсии при подводной съемке робототехническим комплексом с помощью алгоритмов преобразования графической перспективы

Ф.М. Бельченко¹, И.Л. Ермолов¹, Г.Н. Нагайцев^{1,2},
П.П. Остриков¹

¹ИИПМех РАН, Москва, Россия, ermolov@ipmnet.ru

²СПбГМТУ, Санкт-Петербург, Россия

Decrease of optic distortion effect in UMV telemetry systems

Filipp M. Belchenko¹, Ivan L. Ermolov¹,
Georgy N. Nagaytsev^{1,2}, Pavel P. Ostrikov¹

¹*Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy
of Sciences, Moscow, Russia, ermolov@ipmnet.ru*

²*St. Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia*

Морская робототехника является важным направлением робототехники в целом. Это касается как традиционных, свободно перемещающихся в водной среде РТК, так и новых решений в морской робототехнике, например шагающих роботов [4]. При этом активное применение роботов в водной среде осложняется особенностями воды, как среды применения роботов. Это касается, в том числе, вопроса передачи оператору изображений подводной среды.

Рассматриваемая проблема

Важной проблемой при погружении камеры морского РТК под воду является возникновение радиальной дисторсии изображения, которая зависит от ряда параметров воды. К таким свойствам относятся: соленость, плотность, наличие примесей, видимых частиц и присутствие планктона. Все эти факторы оказывают влияние на степень искажения изображения, что в контексте работы робототехнических систем подводной видеосъемки может приводить к ошибкам измерения и ухудшения восприятия видеопотока (рис. 1) [1].

Для решения этой проблемы классическим способом достаточно выполнить повторную калибровку камеры под водой, однако это достаточно трудоемко: требуется сначала сделать набор изображений калибровочного объекта с разных ракурсов, а затем выполнить автоматизированный поиск параметров исправления РД, качество которого определяется качеством собранного калибровочного набора изображений. Однако данная процедура длительна по времени и не

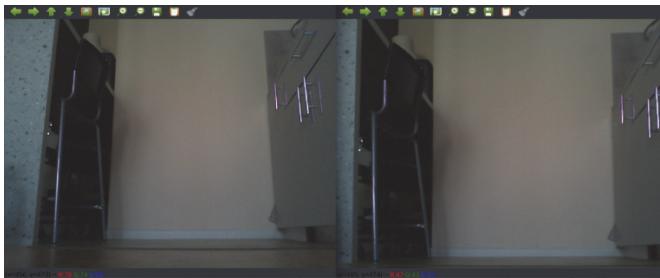
может оперативно использоваться при работе с робототехническими комплексами [1, 2].



**Рисунок 1 — Пример дисторсии при подводной съемке.
Стены и потолок искажены**

Предлагаемое решение

В настоящей работе предлагается использовать алгоритмы преобразования перспективы, испытанные при выполнении наземной съемки с мобильного робота, позволяющие исправлять искажения на отдельных областях изображения (рис. 2).



**Рисунок 2 — Исправление дисторсии при съемке
от поверхности земли в воздушной среде**

Преимуществом данного метода является возможность производить настройку выводимого изображения в процессе работы робототехнического комплекса. Это позволит быстро производить настройку системы телеметрии робота при смене водных сред с разными свойствами.

В настоящее время в ИПМех РАН на базе библиотеки PyGame реализуется программная оболочка для пульта управления на базе пульта управления оператора, обеспечивающая работу с различными методами обработки изображений совместно с технологией преобразования графической перспективы.

Благодарности

Работа над данным материалом выполнена в рамках НИР «Поисковые исследования для создания компонентов РТК для очистки корпусов судов от обрастаний» для реализации стратегического проекта 4 «Морская робототехника» в составе программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» и темы государственного задания (№ госрегистрации АААА-А20-120011690138-6).

Литература

1. Сеньшина Д. Д., Гликин А. А., Полевой Д. В., Кунина И. А., Ершов Е. И., Смагина А. А. Коррекция радиальной дисторсии при погружении камеры под воду. Сенсорные системы. 2020. Т. 34. № 3. С. 254-264.
2. Zhang Y., Zhou F., Deng P. Camera calibration approach based on adaptive active target. Fourth International Conference on Machine Vision (ICMV 2011). 2012. V. 8350, 83501G.
3. Бельченко Ф.М, Ермолов И. Л., Остриков П. П. Разработка программного модуля преобразования перспективы на видеоизображении для выбора и анализа элементов изображения. Известия Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград. 2023. №9. С. 11-15.
4. И. Л. Ермолов, М. М. Князьков, Е. А. Семенов, А. Н. Суханов, Перспективный мобильный робототехнический комплекс для проведения регламентных операций по очистке корпусов судов от обрастаний // Морские интеллектуальные технологии. — 2023. — Т. 1, № 2.

**Телеуправляемый подводный аппарат
с интегрированной трекинговой системой
позиционирования**

Н.Е. Капустин, М.С. Маршалов, А.К. Машков, И.А. Путинцев
ООО «Подводные дроны», Санкт-Петербург, Россия, info@trionix-lab.ru

**Remote operated vehicle with integrated
tracking positioning system**

Nikolay E. Kapustin, Maxim S. Marshalov,
Anton K. Mashkov, Ivan A. Putintsev
Podvodnye Drony LLC, Saint-Petersburg, Russia, info@trionix-lab.ru

В настоящее время на рынке отечественной и мировой подводной робототехники представлено большое количество малогабаритных подводных аппаратов, предназначенных в основном для осмотровых работ. На борту таких аппаратов имеется видекамера, с помощью которой осуществляется как запись и сохранение видеопотока (с целью последующей обработки и использования), так и его трансляция на береговой пульт управления. Оператор контролирует положение робота и осуществляет требуемое перемещение в подводном пространстве.

При выполнении подводных работ нет возможности определять географическое местоположение подводного робота, так как в водной среде радиосигнал быстро затухает.

На рынке гидроакустических систем навигации и позиционирования существуют комплексы, которые смогут решить задачу определения местоположения подводного аппарата с достаточной точностью. Практически все подобные системы являются полностью отдельным продуктом. Для работы с ними необходимо иметь отдельный пульт управления. Обмен данными с роботом не предусмотрен.

Описываемый подводный аппарат «Трионикс-4М» (см. рис.1) является малогабаритным и включает в себя интегрированную систему позиционирования. Термин интеграция в данном случае означает внедрение как аппаратной части системы позиционирования, так и программной.

Внедрение системы позволяет сильно уменьшить массив обрабатываемых оператором данных, а также использовать ряд полезных функций, таких как автопилот, построение маршрута движения, движение к сохраненным точкам маршрута.

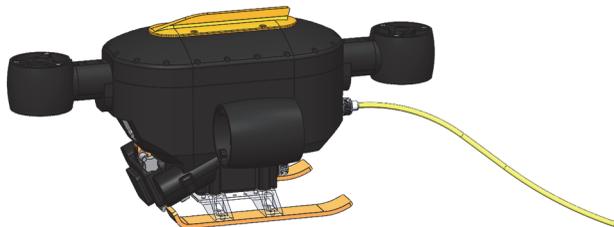


Рисунок 1 — Подводный аппарат «Трионикс-4М»

Проведен ряд испытаний робототехнического комплекса на открытой воде в Саперном озере в Ленинградской области.

Автономный надводный аппарат для мониторинга с солнечной панелью и повышенной автономностью

С.П. Голиков, С.Г. Черный, Б.А. Авдеев
ФГБОУ ВО «КГМТУ», г. Керчь, Россия, golosaa@mail.ru,
sergiiblack@gmail.com, dirigeant@mail.ru

Autonomous underwater monitoring vehicle with photovoltaic panel and increased autonomy

Sergei P. Golikov, Sergei G. Chernyi, Boris A. Avdeev
KGMTU, Kerch, Russia, golosaa@mail.ru, sergiiblack@gmail.com,
dirigeant@mail.ru

В настоящее время изыскательские, поисково-спасательные работы, а также экологический мониторинг осуществляются при помощи специализированных кораблей, стоимость одного рабочего дня которых достигает миллиона рублей, а район и выполняемый объем работы сильно ограничены. Использование массовых автономных надводных аппаратов позволит на порядок снизить стоимость выполняемых работ и повысить производительность. Данные устройства позволят обеспечить эффективную эксплуатацию морской инфраструктуры, производить исследования морского дна, а также осуществлять мониторинг. Помимо этого, можно решить ряд проблем, описанных в дорожной карте «Маринет», в том числе морских сервисов для обеспечения работ в любом районе океана [1]. Особая область применения автономных аппаратов – патрулирование

и обнаружение, правонарушителей, диверсантов или вражеских надводных дронов, что особо актуально в условиях СВО для защиты протяженных прибрежных территорий. Сложность данной реализации заключается в том, что аппараты должны работать в течении нескольких суток, а также обладать высокой надежностью и повышенной бесшумностью работы.

Для этих целей необходим массовый автономный надводный аппарат с солнечной панелью и повышенной автономностью, позволяющий производить обнаружение, идентификацию и передачу точного месторасположения, скорости и направления движения, а также преследование нарушителя охраняемой территории. Данный аппарат представляет собой надводный дрон с электродвижением, оборудованный солнечными панелями и площадкой для мультикоптерного дрона. Солнечные панели обеспечат автономную работу в режиме ожидания и визуального осмотра с помощью беспилотного летательного аппарата, а также зарядку дрона. Дрон поднимается на высоту, где производит фото или видео фиксацию заданного района наблюдения, передаёт информацию в вычислительный центр аппарата или оператору на берег, где происходит обнаружения и распознавания образов и в случае обнаружения аппарат получает сигнал о слежке за объектом до его перехвата. Если дрон не нашел подозрительных объектов, то он опускается на подзарядку и через некоторое время вновь поднимается для мониторинга. Аппарат может в течении суток мониторить заданную площадь как с помощью камеры высокого разрешения, так и при необходимости с помощью эхолотов, радаров и других приспособлений. Обладая низкой парусностью и возможностью менять свою дислокацию, автономный надводный аппарат сложен для обнаружения и уничтожения.

Основная сложность при разработке данного дрона заключается в обеспечении повышенной автономности [2]. Для этих целей на борту аппарата должны находиться аккумуляторы большой емкости, отвечающие за привод гребного электродвигателя и энергоснабжение прочих систем [3]. В связи с тем, что большую часть времени данный подводный аппарат находится в режиме мониторинга, то энергопотребление в этом режиме у него низкое и происходит заряд аккумуляторных батарей от солнечных панелей. Гребной электродвигатель, как самый мощный приёмник электроэнергии, работает в кратковременном режиме для того, чтобы компенсировать дрейф от заданной точки мониторинга, вызванный течением и ветрами. Наличие солнечной панели позволит пополнять запас энергии для преследования объекта или смены места дислокации.

Для повышения автономности работы требуется уделить особое внимание гребной электроустановки аппарата, т.к. она является самым большим потребителем электроэнергии. Для этих целей необходимо провести исследования различных типов гребных электродвигателей, работающих в типовых режимах для определения оптимального выбора, а также обеспечить надежность и экономичность работы преобразователя для гребного электродвигателя.

Литература

1. Тарадонов В.С., Блинков А.П., Кожемякин И.В., Шаманов Д.Н. Концептуальный облик робототехнического подводно-надводного аппарата повышенной автономности с изменяемой геометрией корпуса // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019. № 1 (203). С. 38-49.
2. Афанасьев А.С., Болдырев М.А., Жмуров Б.В., Петрушенко А.С. Анализ существующей номенклатуры химических источников тока для морских средств вооружения, военной и специальной техники // Морской вестник. 2018. № 2 (66). С. 53-57.
3. Авдеев Б.А., Вынгра А.В., Черный С.Г. Исследование работы системы управления гребного электропривода автономных подводных аппаратов // Информационные технологии и вычислительные системы. 2022. № 3. С. 108-121.

Автономная система спасения утопающих

Т.Д. Вафин, П.Ю. Ковальчук, А.В. Шкуров
ФГБОУ ВО «ПГТУ», г. Йошкар-Ола, Россия, Tim.716@yandex.ru,
bogomol190430@gmail.com, an.shkurov@mail.ru

Autonomous drowning rescue system

Timur D. Vafin, Pavel Y. Kovalchuk, Andrei V. Shkurov
Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia,
Tim.716@yandex.ru, bogomol190430@gmail.com, an.shkurov@mail.ru

Важнейшим показателем создаваемых автономных систем спасения утопающих (АССУ) является скорость реагирования, максимально возможное исключение человеческого фактора в процессе управления, длительность автономного дежурства.

На базе СКБ ПГТУ (Студенческого конструкторского бюро Поволжского государственного университета, г. Йошкар-Ола) разрабатывается АССУ с улучшенными показателями эффективности в сравнении с существующими аналогами.

Разрабатываемый проект представляет с собой беспилотную систему надводную транспортную платформу в виде катамарана с базирующимися на нём группировкой беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), обеспечивающих обнаружение терпящих бедствие и доставку к ним спасательных средств.

Катамаран будет выполнен на электротяге с аккумуляторным источником питания, зарядка которого обеспечивается от имеющихся на катамаране солнечных батарей или от бензогенератора в пасмурную погоду.

Катамаран также содержит средства связи, зарядную станцию для БПЛА, устройство подбора и подъёма терпящих бедствие из воды.

В рамках проекта выполнены патентные исследования, подтверждающие патентную чистоту новых технических решений, заложенных в проекте. На основе результатов патентных исследований выполнен анализ конкурентоспособности реализуемого проекта.

Разработана новая кинематика перспективного ластового электродвигателя катамарана. Разработана новая методика замеров фактических гидродинамических характеристик катамарана.

Перспектива проведения исследовательских испытаний прототипа БССУ – лето 2024 года на реке Кокшага (г. Йошкар-Ола).

СЕКЦИЯ «РОБОТИЗАЦИЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ»

Использование роботизированного гамма-комплекса в целях обнаружения и идентификации радиоактивных источников

А.И. Маджидов, В.В. Дмитренко, С.Е. Улин, К.Ф. Власик,
В.М. Грачев, Р.Р. Егоров, К.В. Кривова, З.М. Утешев,
И.В. Чернышева, А.Е. Шустов

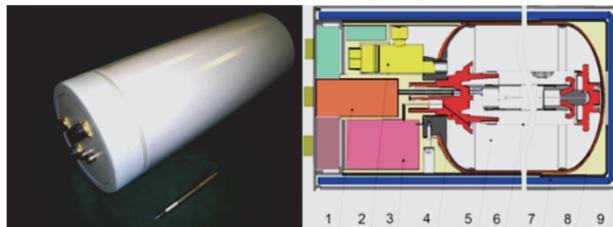
*Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»,
Москва, aimazhidov@mephi.ru*

Using the Robotic Gamma-complex to Detect and Identify Radioactive Sources

Azizbek I. Madzhidov, Valery V. Dmitrenko, Sergey E. Ulin,
Viktor M. Grachev, Konstantin F. Vlasik, Roman R. Egorov,
Mikhail G. Korotkov, Kira V. Krivova, Ziyaetdin M. Uteshev,
Irina V. Chernysheva, Alexander E. Shustov

*National Research Nuclear University MEPHI, Moscow, Russia,
aimazhidov@mephi.ru*

Дистанционно управляемые роботизированные измерительные гамма-комплексы все активнее входят в атомную отрасль и связанные с ней сферы, такие, например, как радиационная безопасность окружающей среды. Особенностью данного направления деятельности является своевременное обнаружение радиоактивных элементов и контроль за их нераспространением. К тому же при исследовании радиационно-опасных сред большое внимание обращается на безопасность рабочего персонала, который непосредственно подвергается облучению. Уже имеется опыт применения дистанционно управляемых систем при ликвидации последствий техногенных катастроф, таких, как аварии на Чернобыльской АЭС и АЭС Фукусима [1]. Дистанционно управляемые роботизированные комплексы для радиационно-разведывательных целей должны иметь на борту высокоточные измерительные приборы для оценки радиационного фона, определения и идентификации состава радионуклидов. Одним из таких предлагаемых научных приборов является ксеноновый гамма-спектрометр (КГС), представленный на рис.1, который применяется в различных фундаментальных и прикладных исследованиях [2].



- 1 – преусилитель ЗЧУ, 2 - кран для наполнения рабочим веществом,
3 – источник питания, 4 – керамический гермоввод, 5 – ионизационная камера, 6 – экранирующая сетка, 7 – тефлоновая изоляция,
8 – корпус с композитным покрытием, 9 – защитный кожух

Рисунок 1 — Фотография и схема КГС

КГС представляет собой импульсную ионизационную камеру, наполненную сжатым ксеноном ^{54}Xe под давлением порядка 45 атм. В таблице 1 представлены основные физико-технические характеристики ксенонового гамма-спектрометра.

Таблица 1 — Основные физико-технические характеристики КГС

Энергопотребление, Вт	20
Габариты, см	Ø15×45
Масса, кг	5
Рабочий объем, см ³	2000
Эффективность регистрации γ -квантов с энергией 662 кэВ, %	6
Энергетическое разрешение для энергии γ -квантов 662 кэВ, %	1,7 ± 0,3
Диапазон измеряемых энергий γ -квантов, МэВ	0,05–5
Плотность рабочего вещества (ксенона), г/см ³	0,3

В дальнейшем запланированы полевые испытания КГС на борту дистанционно управляемого роботизированного гамма-комплекса.

Благодарности

Данная работа была выполнена при поддержке программы «Приоритет 2030», реализуемой в НИЯУ МИФИ.

Литература

1. Маджидов А. И., и др. Перспективы использования ксенонового гамма-спектрометра в качестве регистрирующего устройства на

борту автоматизированного и роботизированного гамма-спектрометрического комплекса для вывода из эксплуатации ядерно-физических установок //Радиоактивные отходы . 2022 . № 2 (19) . С . 56-67 . DOI: 10.25283/2587-9707-2022-2-56-67.

2. Ulin S E et al. “Gamma Spectrometry System for Decommissioning Nuclear Facilities” //BULLETIN OF THE LEBEDEV PHYSICS INSTITUTE Vol. 47 No. 6 2020. pp. 176-180. DOI: 10.3103/S1068335620060081.

Анализ рынка робототехники в мире и в России

М.Н. Лысачев, А.Н. Прохоров
«КОНСИСТ-ОС», Москва, Россия, lysachev-mn@rosenergoatom.ru,
prokhorov-a@rosenergoatom.ru

Analysis of the robotics market in the world and in Russia

Mikhail N. Lysachev, Alexander N. Prokhorov
JSC «CONSYST-OS», Moscow, Russia, lysachev-mn@rosenergoatom.ru,
prokhorov-a@rosenergoatom.ru

Роботизацию называют очередной промышленной революцией. Уровень внедрения робототехники считается одним из важнейших показателей технического развития, промышленной зрелости страны.

Очевидно, что для управления робототехникой как отраслью, для понимания перспектив данной индустрии необходим ее количественный анализ. Необходимо понимание, каков объем финансирования отрасли? Каково количество продаж роботов в денежном выражении? Насколько велик объем мирового рынка этих машин и какова его сегментация?

Ответы на перечисленные вопросы, позволяют ранжировать компании, промышленные регионы, страны, оценивать перспективы развития индустрии в разных аспектах.

Также очевидно, что для того, чтобы анализировать обозначенные экономические параметры, необходимо договориться, что мы измеряем и как. А это, в свою очередь, возвращает нас к необходимости выработки единой таксономии, единой методики оценки рынка.

В мире существуют десятки компаний, выпускающих отчеты о рынке робототехники. Увы, источников информации так много, а разброс оценок столь велик, что без понимания различий в методах подсчета рынка невозможно опереться на эти данные.

В этой связи необходимо анализировать и обновлять существующую таксономию, отслеживать, как процесс эволюции меняет наполнение терминов.

Мы наблюдаем, как робототехника выходит за границы мехатроники, появляются и развиваются такие направления как мягкая робототехника, биогибридная робототехника, наноробототехника.

Сегментация современного рынка робототехники становится все более сложной. Привычные определения роботов входят в противоречие с реалиями рынка. Оценки разных аналитиков все более расходятся.

Большое влияние на трансформацию трактовки понятия «робототехника» влияет внедрение искусственного интеллекта. Термин «робот» из понятия, которое характеризовало определенный класс машин, постепенно становится понятием, которое характеризует стадию их развития. Множественные современные «машины» с появлением беспилотной автономности, дополнительных исполнительных механизмов и сенсоров, с возникновением системы автономного управления и элементов ИИ становятся роботами.

Даже если взять устоявшиеся термины такие как «промышленные роботы», «сервисные роботы» и «робототехнические устройства», то при ближайшем рассмотрении обнаруживается, что деление машин на эти категории ведущими организациями осуществляется по-разному.

Анализируя различные оценки рынка робототехники, авторы провели сравнительный анализ данных более десятка аналитических компаний (рис. 1), попытались выяснить, в чем причины существующих расхождений.

В процессе изучения вышеупомянутых вопросов было принято решение написать книгу «Робототехника. Анализ тренды мировой опыт», в которой существенная часть будет посвящена анализу современного описания и сегментации рынка.

Книга содержит не только анализ рынка, но также обсуждение ряда базовых технологий, необходимых для описания бизнеса, возникающего вокруг технологий робототехники. Существенное внимание в монографии уделено проектам в атомной отрасли.

Часть материалов, рассматриваемых в заявленной публикации, будет представлена в рамках доклада на конференции «Экстремальная робототехника».

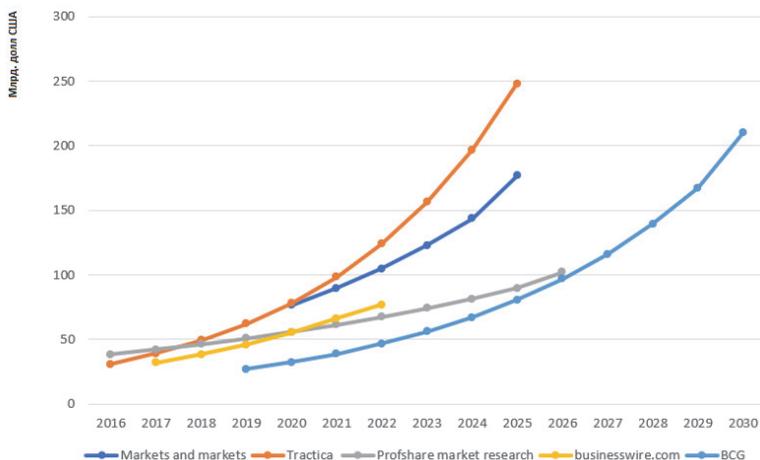


Рисунок 1 — Сравнительный анализ объемов глобального рынка робототехники в оценках разных международных аналитических компаний

В докладе планируется затронуть вопросы классификации типов роботизированных комплексов, используемых в атомной отрасли, привести примеры проектов выполняемых в Росатоме.

Сама книга готовится к изданию в 2024 году. Упомянутая монография является частью образовательного проекта Росэнергоатома, и будет доступна для бесплатного скачивания по адресу <https://digitalatom.ru/knowledge>, где уже размещены четыре предыдущие книги из серии публикаций, посвящённых цифровым технологиям.

**Исследование влияния состава подстилающей
поверхности, метеорологических параметров и энергии
источника гамма-излучения на результаты авиационного
радиационного мониторинга**

И.Э. Новиков

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, Novikov@rtc.ru

**Study of the influence of the underlying surface composition,
meteorological parameters and gamma radiation source
energy on the results of aviation radiation monitoring**

Igor E. Novikov

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, Novikov@rtc.ru*

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 пересчетных 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.

Измерение МПД на высоте полета может проводиться с помощью легких компактных блоков детектирования гамма-излучения на базе газоразрядных счетчиков, размещаемых на борту беспилотных летательных аппаратов легких классов самолетного типа способных обеспечить высокую производительность измерительных работ. Комбинированное использование газоразрядных счетчиков, работающих в различных диапазонах измерения по МПД, позволяет проводить измерения от уровня естественного фона до уровня, соответствующего крупным ядерным инцидентам.

Целью проводимой работы является исследование зависимости результатов АРМ местности от названных выше факторов в диапазоне высот от 1 до 500 м для повышения их достоверности.

Средства и методы исследований

Для расчета МПД в зависимости от высоты и других рассматриваемых параметров был использован разработанный в ЦНИИ РТК

специализированный программный комплекс математического моделирования процессов переноса и регистрации излучения для проектирования и градуировки спектрометрических систем АРМ. Программный комплекс позволяет учитывать весь диапазон возможных условий измерения и использовать специальные модификации метода Монте-Карло, разработанные с учетом специфики измерительных задач АРМ [1].

Описание проведенных расчетов

В проведенных расчетах источник гамма-излучения был аппроксимирован бесконечно тонкой пленкой на поверхности земли с заданной начальной энергией гамма-квантов. В результате расчетов были вычислены значения МПД и энергетически-угловые распределения потока гамма-квантов в области измерения. Пересчетные высотные коэффициенты для АРМ определялись как отношение значения МПД на высоте 1 м к значению МПД на высоте полета. Описание применённых моделей, схемы расчёта характеристик поля излучения и основные результаты изложены в [2,3].

Влияние подстилающей поверхности на результаты АРМ может быть полностью определено ее химическим составом. По результатам математического моделирования рассчитаны значения МПД для высот: 1, 2.5, 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500 и 1000 м; в качестве подстилающей сред были использованы воздух, вода, грунт и бетон, кварцевый песок, при энергии гамма-квантов 662 кэВ и плотности воздуха 1.275 кг/м³ [2].

Влияние метеорологических параметров на результаты АРМ может быть определено плотностью воздуха. В свою очередь плотность воздуха зависит от атмосферного давления, температуры и влагосодержания воздуха. По результатам математического моделирования рассчитаны значения МПД для высот: 1, 2.5, 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500 и 1000 м; энергий гамма-квантов 50, 100, 200, 500, 662, 1000, 1500, 2000, 3000 кэВ и плотностей воздуха: 0.9, 1.1, 1.225, 1.275, 1.29, 1.5, 1.8 кг/м³ [3].

Краткий анализ полученных результатов

В результате проведенных исследований установлено, что состав подстилающей поверхности в районе АРМ оказывает незначительное влияние на достоверность получаемых результатов. Также обоснована необходимость учета метеорологических параметров и энергетического состава гамма-излучения при осуществлении АРМ, получены значения высотных коэффициентов, использование которых

может обеспечить существенное повышение достоверности результатов АРМ [2,3].

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». Автор выражает благодарность сотруднику ФГБУ «33 ЦНИИИ» Минобороны России к.т.н. Д. А. Кожевникову помощь в работе.

Литература

1. Новиков, И.Э. Специальные методы, алгоритмическое и программное обеспечение математического моделирования процессов переноса и регистрации гамма-излучения для авиационного радиационного контроля поверхности Земли / И.Э. Новиков // Труды 32-й Международной научно-технической конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА» 2-4 июня 2021 года, Санкт-Петербург - 352 с. - С. 46-56.
2. Кожевников, Д. А. Оценка влияния состава подстилающей поверхности на результаты воздушной радиационной разведки [Текст] / Д. А. Кожевников, И. Э. Новиков // Аппаратура и новости радиационных измерений: научно-информационный журнал по радиационной безопасности / НИИ «Доза» - М., 2021. - № 1 (104). - С. 63 - 70. - ISSN 0236-2058.
3. Кожевников, Д. А. Оценка радиационной обстановки с воздуха при неизвестном изотопном составе загрязнения и изменяющихся метеорологических параметрах [Текст] / Д. А. Кожевников, И. Э. Новиков // принята к опубликованию в журнале «Гидрология и метеорология».

**Особенности управления приводными модулями
с изменяемым передаточным числом для экстремальных
условий применения мобильных робототехнических
комплексов**

П.С. Григорьев, П.А. Лошицкий, М.Ю. Гук, Д.А. Мисбаков,
А.А. Трутс
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, p.grigorev@rtc.ru

**The control features of drive modules with variable
gear ratios for mobile robotic systems in some
extreme conditions**

Pavel S. Grigorev, Petr A. Loshitskiy, Mikhail Yu. Guk,
Dmitriy A. Misbakov, Alexander A. Truts
*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, p.grigorev@rtc.ru*

Для решения различных задач всё чаще применяются мобильные робототехнические комплексы (далее – МРТК), оснащённым приводными модулями типа мотор-колесо. Требования к массе и габаритам МРТК, а также ограниченная мощность источников энергии на борту МРТК накладывают ограничения на механические характеристики приводных модулей. В то же время, для обеспечения динамических характеристик МРТК необходимо в широких пределах регулировать механические характеристики приводных модулей. Ранее динамика МРТК была рассмотрена в исследовании [1], где проанализированы причины их неустойчивого поведения на наклонной плоскости. Обеспечение устойчивости МРТК является задачей системы управления МРТК. Для построения системы управления движением МРТК необходимо сначала разработать систему управления отдельным приводным модулем.

В настоящей работе приведены результаты проектирования приводных модулей с изменяемым передаточным числом [2], предназначенных для применения в составе шасси МРТК. В материалах приведены сведения о конструкции приводных модулей. Представлено описание особенностей функционирования приводных модулей, учитывающее применение механизма изменения передаточного числа. Составлено математическое описание работы приводных модулей для отдельных режимов движения МРТК. Описаны функции

и компоненты системы управления приводным модулем. В результате работы сформулированы требования к ограничению характеристик приводных модулей, которые должны быть реализованы системой управления. Представлено математическое описание блоков, обеспечивающих учёт нелинейных свойств компонентов приводных модулей, для построения корректной имитационной модели.

Сформулированы предложения по оснащению мобильных робототехнических комплексов. Из расчёта энергии и мощности, выделяемых при торможении МРТК на заданном уклоне, в соответствии с (1) и (2), сделан вывод о необходимости оснащения МРТК системой сброса тормозной энергии.

$$\Delta E_{\text{торм}} = \frac{m \cdot (v_{\text{ном}}^2 - v_0^2)}{2}, \quad (1)$$

где $\Delta E_{\text{торм}}$ – энергия, выделяемая МРТК при торможении, Дж; $v_{\text{ном}}$ – номинальная скорость движения МРТК, м/с; v_0 – конечная скорость при торможении МРТК, принятая 0 м/с.

$$P_{\text{торм}} = \frac{\Delta E_{\text{торм}}}{\Delta t}, \quad (2)$$

где $P_{\text{торм}}$ – мощность, выделяемая МРТК при торможении, Вт; Δt – время торможения МРТК, принятое 2 с.

Расчёта режима работы приводного модуля (3 – 5) требует оснащения МРТК сенсорами типа инклинометр для вычисления угла α .

$$F_{\text{сц}} = \frac{M_{\text{по}}}{r} \leq F_{\text{тр}} , \quad (3)$$

$$M_{\text{по}} = 2 \cdot i \cdot \eta \cdot M_{\text{ном}} , \quad (4)$$

$$F_{\text{тр}} = -\mu \cdot N = -\mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha , \quad (5)$$

где $F_{\text{сц}}$ – сила сцепления мотор-колеса МРТК с поверхностью, Н; $F_{\text{тр}}$ – сила трения мотор-колеса МРТК с поверхностью, Н; $M_{\text{по}}$ – момент оси (двух приводных модулей) МРТК, Н*м; r – радиус мотор-колеса, м; i – передаточное число редуктора приводного модуля, о.е.; η – коэффициент полезного действия редуктора приводного модуля, о.е.; $M_{\text{ном}}$ – номинальный момент электродвигателя приводного модуля, Н*м; μ – коэффициент трения, о.е.; N – реакция опоры мотор-колеса МРТК, Н; m – масса МРТК, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; α – угол наклона поверхности к горизонту, градус.

Благодарности

Работа выполнена в рамках Государственного задания на 2023 год № 075-01595-23-04 «Разработка приводного модуля повышенной радиационной стойкости с изменяемым передаточным числом и использованием электромагнитной муфты» (FNRG-2022-0024, регистрационный номер 1021101316166-9-2.2.2).

Литература

1. Исследование возможных причин неустойчивого поведения колёсного РТК на наклонной поверхности с использованием компьютерной модели / А.Г. Почежерцев, А.В. Васильев, В.М. Копылов, И.В. Шардыко // Труды 31-й Международной научно-технической конференции ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА (28-29 сентября 2020 г.). – Санкт-Петербург, 2020. – С.63-72.
2. Костромин Д.С., Трутс А.А., Лошицкий П.А. Способы повышения локомоторных характеристик шасси мобильных роботов // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. - 2023. - Вып.1, Т.16. - С.63-80.

Распознавание изображений промышленных отходов с использованием нейронных сетей

В.Д. Матвеев^{1,2}, А.Е. Архипов¹, И.С. Фомин¹

¹ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, v.matveev@rtc.ru,
a.arkhipov@rtc.ru, i.fomin@rtc.ru

²СПБПУ, Санкт-Петербург, Россия, matveev.vd@edu.spbstu.ru

Industrial waste images recognition using neural networks

Viktor D. Matveev^{1,2}, Andrey E. Arkhipov¹, Ivan S. Fomin¹

¹Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, v.matveev@rtc.ru, a.arkhipov@rtc.ru, i.fomin@rtc.ru

²Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia,
matveev.vd@edu.spbstu.ru

Введение и мотивация

Сортировка отходов, как промышленных, так и бытовых – известная проблема в рамках улучшения экологической ситуации в мире за счет повышения процента переработки. В рамках задачи разработки установки для сортировки радиоактивных отходов была

рассмотрена задача сортировки промышленного мусора, так как типовые радиоактивные отходы представляют собой смесь бытового мусора и результатов разборки зданий. Для классификации типа отходов были применены нейронные сети как лучшее средство распознавания недетерминированных изображений на сегодняшний день.

Использованный набор данных и обучение сетей

Для исследования нейронных сетей был подготовлен набор данных, характеристики которого представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Распределение данных в наборе

Класс	Обучающий набор	Валидационный набор
Cardboard	4000	95
Glass	5828	95
Metal	7061	334
Paper	9776	48
Plastic	5169	315
Rock	9988	189
Textile	11329	46

Для подготовки обучающего набора были автоматически собраны и вручную отсортированы изображения из сети интернет. Валидационный набор получен непосредственно на установке путем съемки выбранных экспериментальных типовых объектов.

Для всех рассмотренных сетей обучение начиналось с весов, предобученных на ImageNet. Далее выполнялась тонкая настройка (finetuning) на обучающем наборе данных, и тестирование на тестовом наборе.

Результаты

Результаты обучения и тестирования некоторых избранных архитектур с использованием пакета OpenMMLab [1] представлены в таблице 2. Наилучшим образом показали себя две модификации сети ConvNext [2], которые и были выбраны в качестве основы для дальнейших работ по распознаванию РАО.

Таблица 2 — Качество работы различных сетей

Название	Количество парам. (млн)	Flops(G)	Точность на валидации
EfficientNet	30,39	0,24	0,45
Res2Net	25,06	4,22	0,47

Название	Количество парам. (млн)	Flops(G)	Точность на валидации
SwinTransformer	196,53	34,04	0,47
PoolFormer	73,47	11,80	0,49
ResNeXt	88,79	16,50	0,59
ConvMixer	21,11	19,62	0,64
ConvNeXt	50,22	8,69	0,68
ConvNeXt	197,77	34,37	0,77

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России «Исследование программных и аппаратных способов безопасной и эффективной сортировки радиоактивных отходов по морфологии и активности» FNRG-2022-0014, 1021051302488-7-2.2.2;2.3.5, № 075-01595-23-04

Литература

1. OpenMMLab // [Электронный ресурс] URL: <https://openmmlab.com/> (дата обращения: 2
2. Liu et al. A ConvNet for the 2020s. [Электронный ресурс]. – URL: <https://arxiv.org/pdf/2201.03545.pdf> (дата обращения: 23.09.2023)

Новые технологии проведения экспериментов на критических сборках

С.Ю. Касьянов, С.А. Андреев
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», г. Снежинск,
Челябинская обл., dep5@vniitf.ru

New 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.ru

Во всем мире роботизация и автоматизация производств являются одним из важнейших направлений развития, способствующие

снижению себестоимости товаров, повышению их качества и доступности. Замена человека в производстве на машины высвобождает человеческий потенциал, который возможно использовать для дальнейшей разработки еще более совершенных технологий производства. Такой труд носит, прежде всего, интеллектуальный характер и является более безопасным для человека.

За последние два десятилетия произошел качественный скачок в области роботостроения и автоматизации производств, стимулом к которому являются достижения в области искусственного интеллекта, машинного обучения и машинного зрения, нейронных сетей, развития аддитивных технологий и т.д. Сфера массового производства охвачена роботами: ответственные узлы, детали, сборки в авто-, авиастроении, микроэлектронике и многих других отраслях.

Ядерноопасные работы сопряжены с риском образования критической массы и возникновения ядерной аварии с тяжелыми последствиями для людей и окружающей среды. Имевшие место происшествия, связанные с образованием критической массы (criticality incidents), обусловлены преимущественно, человеческим фактором. Между тем, большая часть ядерноопасных операций, связанных, в том числе, с разработкой и изготовлением изделий оборонного назначения, производится вручную.

В докладе описаны новые направления развития технологии проведения критмассовых измерений с учетом современных возможностей робототехники и средств автоматизации:

- проведение сборки размножающихся систем (РС) с помощью роботизированных комплексов;
- использование для перемещения нижней части РС систему схожую по конструкции с промышленным манипулятором, при этом получая возможность не только перемещение нижней части относительно верхней части по вертикали, но и по горизонтали, тем самым повышая безопасность проведения работ;
- режим проведения критмассовых измерений, при котором выполняется автоматическое сближение частей СКС с учетом изменения нейтронного потока при проведения работ по измерению критического зазора и выхода на мощность.

**СЕКЦИЯ «ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
В ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ»**

**Шлагбаум, использующий функции компьютерного
зрения и глубокого обучения**

Т.Р. Тагиров, О.Г. Худасова, И.С. Фанин, А.С. Почкалов
*ФГАОУ ВО Белгородский государственный национальный
исследовательский университет, Белгород, Россия,
nudelmark121@gmail.com*

Barrier using computer vision and deep learning functions

Timur R. Tagirov, Olga G. Hudanova, Ivan S. Fanin,
Alexsandr S. Pochkalov
*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education,
«Belgorod National Research University, Belgorod, Russia,
nudelmark121@gmail.com*

Несоблюдение масочного режима во время пандемии COVID-19 влечёт за собой распространение вируса, увеличение числа заболевших и смертей, перегрузку системы здравоохранения, экономические потери, потерю доверия к официальным источникам информации, удлинение длительности пандемии и риск появления новых вариантов вируса. К самой главной причине можно отнести то, что люди в целом не верят в эффективность масочного режима, как результативного средства предотвращения распространения заболевания, ссылаясь на различные ресурсы в Интернете. К следующей причине мы бы отнесли тот факт, что большинство населения и вовсе не верят в данное заболевание или пренебрегают средствами индивидуальной защиты, ссылаясь на то, что это не более, чем просто сезонное заболевание. К сожалению, в основе этих проблем лежит неспособность определения достоверности источников информации.

В качестве решения нашей проблемы мы предлагаем модель глубокого обучения и компьютерного зрения, просчитывающая наличие медицинской маски в местах, где соблюдается масочный режим. Технологии глубокого обучения позволяют быстро и качественно выполнять эту задачу, автоматизирую весь процесс.

В качестве нашей модели обнаружения мы выбрали YOLOv5 – модель из семейства моделей компьютерного зрения You Only Look

Once, разработанный Ultralytics. Выбор модели мы обусловлен её высокими показателями точности.

Благодаря включению различных новых функций, усовершенствований и стратегий обучения, он превосходит большинство версий семейства YOLO по производительности.

Основные усовершенствования в YOLOv5 включают использование динамической архитектуры, широкий спектр методов увеличения объема данных, инновационные стратегии обучения, а также важные корректировки в вычислительных потерях и процессе построения целевых показателей. Все эти инновации значительно повышают точность и эффективность обнаружения объектов при сохранении высокой скорости, которая является отличительной чертой моделей YOLO.

Благодарности

Особую благодарность мы выражаем Нуделю Марку Ильясовичу за помощь в составлении набора данных и обучения модели.

Литература

1. Glenn Jocher Sergiu Wxmann Архитектура YOLOv5 - https://docs.ultralytics.com/yolov5/tutorials/architecture_description/
2. Причины нарушения масончного режима: Социально-психологический анализ - <https://cyberleninka.ru/article/n/prichiny-narusheniya-masochno-go-rezhima-sotsialno-psiologicheskiiy-analiz>

Автоматизация формирования наборов размеченных данных в интересах машинного обучения на основе имитационного моделирования

А.А. Смирнов, А.М. Кудрявцев

*Военная академия связи, Санкт-Петербург, Российская Федерация,
andrew_work@list.ru, alex.23.zauer@yandex.ru*

Automation of the marked-up data sets formation for machine learning based on simulation modeling

Andrei A. Smirnov, Alexander M. Kudriavtsev

*Military Telecommunications Academy, Saint-Petersburg, Russian Federation,
andrew_work@list.ru, alex.23.zauer@yandex.ru*

Технологии искусственного интеллекта, определенные в Национальной стратегии [1] по своей сути группируют проводимые исследования по перспективным направлениям применения искусственного интеллекта, но в своей основе опираются на классические задачи машинного обучения: классификация, восстановление регрессии, кластеризация и др. Применение большинства методов машинного обучения предполагает наличие обучающей выборки («учителя»), с помощью которой выбранная модель обучается, минимизируя функцию потерь при решении соответствующей задачи. В работе рассматриваются классические обучающие выборки в виде матриц «объект-признак» [2].

Практика построения и использования моделей машинного обучения показывает, что качество обучения и применения модели во многом зависит от состава набора признаков и вида выбранной модели. Ввиду того, что при функционировании системы в реальных условиях поступающие признаки характеризуются наличием пропусков, разнородностью, неточностью измерений и другими энтропийными свойствами, результативность реализованных в системе моделей снижается.

Анализ публикаций [3–5] и результаты исследований [6–8] позволили обосновать целесообразность создания на этапах проведения исследования и проектирования организационно-технической системы программного полигона, обеспечивающего:

генерацию обучающих и контрольных выборок с признаками объектов и ситуаций, характерными для предполагаемых условий функционирования системы;

проверку результативности различных моделей машинного обучения для решения задач классификации, кластеризации, восстановления регрессии и других, определение для каждой из них условий, в которых ее применение предпочтительнее;

формирование наборов информативных признаков среди возможных вариантов заполнения признакового пространства.

Для решения наиболее проблемного из перечисленных вопросов получения наборов размеченных данных для анализа, которые адекватно (с учетом введенных ограничений) отражали бы случайность, неполноту, разрозненность реальных данных с учетом динамики изменения этих характеристик во времени, предложено применять системы имитационного моделирования, реализующие агент-ориентированный подход к построению моделей.

Предложенный подход, изложен на примере важной народно-хозяйственной и оборонной задачи, заключающейся в оценке динамики изменения структурно-статических характеристик радиоэлектронной обстановки в крупных промышленных агломерациях, на геополитически значимых урбанизированных территориях, где наблюдается крайне высокая плотность населения, сосредоточены предприятия самых различных отраслей хозяйства, культурно-бытовых, образовательных и научных учреждений, где произошло скопление срастающихся населенных пунктов городского типа, объединенных интенсивными трудовыми, транспортными связями, реализуемыми с применением разнообразных радиоэлектронных средств и систем, число которых может измеряться тысячами и миллионами единиц на ограниченных площадях.

Осуществлена постановка задачи и приведены результаты построения имитационной модели радиоэлектронной обстановки. Предложен способ автоматического получения наборов размеченных данных необходимой структуры, учитывающий возможности среды имитационного моделирования *AnyLogic*. Представлены примеры полученных наборов размеченных данных.

Приведены некоторые результаты прикладных исследований эффективности методов анализа данных радиоэлектронной обстановки [9, 10], проведенных на основе синтезированных наборов данных.

Литература

1. Указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. № № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации».
2. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: Изд-во ИМ СО РАН, 1999. – 270 с.
3. Петровский, Д. В. Сравнение методов искусственной генерации данных для глубокого обучения системы мониторинга / Д. В. Петровский, В. А. Соболевский // Логистика и управление цепями поставок. – 2018. – № 3(86). – С. 86-93.
4. Волков, А. В. Имитационная модель для тестирования алгоритмов отбора признаков / А. В. Волков, Н. Н. Яцков, В. В. Гринев // Информационные технологии и системы 2018 (ИТС 2018) : материалы международной научной конференции, Минск, 25 октября 2018 года. – Минск: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2018. – С. 278-279.
5. Использование имитационного моделирования для генерации наборов данных для комплексного анализа и прогнозирования динамических процессов / В. В. Доенин, В. Н. Гридин, В. С. Панищев, И.

С. Разживайкин // Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов и обработки изображений. Распознавание - 2019 : сборник материалов XV Международной научно-технической конференции, Курск, 14–17 мая 2019 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. – С. 146-148.

6. Смирнов, А. А. Имитационное моделирование радиоэлектронной обстановки в районе действий воинских формирований / А. А. Смирнов, А. М. Кудрявцев, С. Ю. Галов // Электросвязь. – 2020. – № 10. – С. 36-41.

7. Удальцов, Н. П. Методика построения имитационной модели радиоэлектронной обстановки на основе агентного подхода / Н. П. Удальцов, А. М. Кудрявцев, А. А. Смирнов // Успехи современной радиоэлектроники. – 2021. – Т. 75, № 4. – С. 6-12.

8. Смирнов, А. А. Агент-ориентированное имитационное моделирование радиоэлектронной обстановки в интересах совершенствования информационно-аналитического обеспечения ее оценки / А. А. Смирнов, А. М. Кудрявцев, А. А. Иванов // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «АСУ, информационно-телекоммуникационные системы» : Сборник статей III Всероссийской научно-технической конференции, Анапа, 22–23 апреля 2021 года. Том 3. – Анапа: Федеральное государственное автономное учреждение "Военный инновационный технополис "ЭРА", 2021. – С. 5-14.

9. Смирнов, А. А. Применение метода динамической таксономии для построения решающих функций при автоматизации обработки данных радиомониторинга / А. А. Смирнов, А. М. Кудрявцев, А. А. Иванов // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «АСУ, информационно-телекоммуникационные системы» : сборник статей II Всероссийской научно-технической конференции, Анапа, 18 июня 2020 года / Военный инновационный технополис "ЭРА". Том 1. – Анапа: Федеральное государственное автономное учреждение "Военный инновационный технополис «ЭРА», 2020. – С. 81-88.

10. Способ «трассовой» обработки данных радиомониторинга среды со случайными параметрами / А. А. Иванов, А. М. Кудрявцев, А. А. Смирнов, Н. П. Удальцов // Информация и космос. – 2009. – № 4. – С. 10-14.

**Интерфейс мозг-компьютер виртуальной реальности
с биологической обратной связью для управления
искусственным интеллектом**

Ю.Н. Островский, С.С. Тихонов, Н.Л. Виткевич,
С.Л. Хомутовский

*Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного,
Санкт-Петербург, Россия, vas@mil.ru*

**Virtual reality brain-computer interface with biofeedback
for artificial intelligence control**

Yuri N. Ostrovsky, Sergey S. Tikhonov,
Natalia L. Vitkevich, Serge L. Khomutovsky

*Military Academy of Communications named after. Marshal of the Soviet Union
S. M. Budyonny, St. Petersburg, Russia, vas@mil.ru*

В статье рассматриваются вопросы, связанные с разработкой интерфейсов мозг-компьютер (ИМК) с биологической обратной связью (БОС) с использованием шлем-маски виртуальной реальности (ВР) для управления внешними устройствами и искусственным интеллектом, основанных на распознавании действий, мысленно представляемых военнослужащим, а также ответной реакции на визуальные раздражители (стимулы) определенной частоты. Приведена общая структура (алгоритм) ИМК с основными этапами сбора, обработки и классификации биоэлектрических сигналов с БОС.

Одним из перспективных направлений развития ВС РФ является создание нового поколения суперкомпьютеров и человеко-машинных интерфейсов на основе нейротехнологий и искусственного интеллекта (далее - ИИ) для прямого обмена информацией между мозгом и робототехническими устройствами. Эти разработки уже сегодня ведут к бурному развитию новых систем связи, робототехники, в частности, к использованию подобных интерфейсов в реабилитационной медицине, военной сфере в условиях цифровой трансформации экономики России. В свою очередь, глубокое понимание механизмов функционирования мозга позволяет корректировать его работу с помощью сквозных цифровых технологий и ИИ, обеспечивающих инвазивное и неинвазивное воздействие на соответствующие подсистемы мозга.

В результате развития данных технологий созданы современные мозг-машинные интерфейсы (далее – ИМК), нейрогибридные управляющие устройства и имплантаты, технологии восстановления специфических функций мозга, новые классификаторы и диагностические протоколы. Искусственные нейронные сети (далее – ИНС) глубокого обучения помогут не только расшифровать принципы деятельности мозга человека, но и наладить с ним постоянную связь (управление) [1].

Предлагается новый подход, ориентированный на взаимную коммуникацию между мозгом и компьютером [2]. Это вполне возможно, если коммуникационный канал будет строиться одновременно с двух сторон с обратной связью: от мозга на основе его умения «прислушиваться, подглядывать» к запросам внешней среды и от компьютера с модулями ИИ, способными научиться распознавать биоэлектрические команды мозга, в качестве которой предлагается использовать классификатор с маской виртуальной реальности [3].

Решение проблемы оперативности и точности распознавания связано с разработкой алгоритмов и методов адаптивной классификации сигналов мозга, реализованных прежде всего на основе ИНС.

Новизна данного научного подхода заключается в том, что результаты работы ИНС будут в каком-то виде сообщать мозгу (ЕНС), который в свою очередь станет перестраивать свою активность, чтобы становиться все более понятным для ПЭВМ. Подстройка данной системы и обучение ИНС будет происходить посредством биологической обратной связи путем зрительной стимуляции области нейронов ответственных за зрение. В результате свойств пластичности, между мозгом и компьютером без вмешательства исследователя будет вырабатываться специфический язык общения.

Гипотеза исследований состоит в том что, если дать возможность мозгу самостоятельно «договориться» с ИНС, какие именно признаки ЭЭГ могут быть использованы в качестве команд управления, то будет получен настоящий устойчивый канал связи, мост между двумя интеллектами, естественным и искусственным. При успешной реализации данного научного проекта удастся наладить прямой канал связи между ИНС и мозгом, перед испытуемым откроются совершенно новые возможности: к примеру, можно будет рассчитывать на очень точное управление различными роботизированными устройствами, такими как экзоскелеты, беспилотными летательными аппаратами, «умный дом», «нейро-чат» и др.

Литература

1. Островский Ю.Н., Гель В.Э., Ершов А.В., Карпенко В.С.

Нейрокомпьютерный интерфейс виртуальной реальности с биологической обратной связью в системе военного образования. / Развитие военной педагогики в XXI веке: Материалы V межвузовской научно-практической конференции / под ред. С.В. Костарева, И.И. Соколовой, Н.В. Ершова. – СПб.: ВАС, 2018.- с. 280-289.

2. Островский Ю.Н., Гель В.Э., Карпенко В.С. Исследование вопросов использования интерфейса мозг-компьютер в системе военного образования./ Сборник научных трудов ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» Выпуск 2018 г. – Санкт-Петербург, с. 169-175.

3. Островский Ю.Н., Винограденко А.М. Исследование применения нейрокомпьютерных интерфейсов в системе военного образования. Сборник: Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях. Труды III Межвузовской научно-практической конференции. 2018. С. 225-229.

Проблемы использования искусственного интеллекта в образовании

П.Н. Балахонов, В.И. Бегун, С.Л. Емельдяжева
*ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Санкт-Петербург, Россия,
pumba03@rambler.ru*

Problems of using artificial intelligence in education

Pavel N. Balakhonov, Vladimir I. Begun,
Svetlana L. Emeldyazheva
VUNC Navy «Naval Academy», St. Petersburg, Russia, pumba03@rambler.ru

В Указе Президента Российской Федерации от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» [1] одной из национальных целей развития нашей страны значится цифровая трансформация.

На текущий момент вектор развития нашей страны требует повсеместного развития цифровых технологий. Образование – одно из шести направлений цифровой трансформации нашего общества. Кроме образования в этот перечень вошли здравоохранение, социальная сфера, государственное управление, транспорт и развитие городской среды [2].

В ближайшем будущем искусственный интеллект должен будет заменить человека в технически сложных профессиях так же, как механизмы в своё время заменили физическую (мускульную) силу человека в простых. В этих условиях стоит разобраться, все ли профессии возможно заменить с помощью искусственного интеллекта?

В соответствии с ФЗ-273 «Об образовании в РФ» [3] образование – это единый целенаправленный процесс воспитания и обучения. Как мы видим из определения в связке воспитание-обучение воспитание стоит на первом месте, так как оно и определяет цели этого процесса. А так как заказчиком образования всегда является общество, то и цели образования – это всегда цели общества. В нашем случае – цели страны. Через воспитание эти цели доводятся до обучающегося и закрепляются в нём. В настоящее время в образовании применяется компетентностный подход. В соответствии с ним целями образования являются компетенции. Компетенция – это готовность (мотивация и личные качества) проявить способности (знания, умения и навыки). При этом за развитие способностей отвечает обучение, а за готовность применить способности – воспитание, как указано на рис. 1.

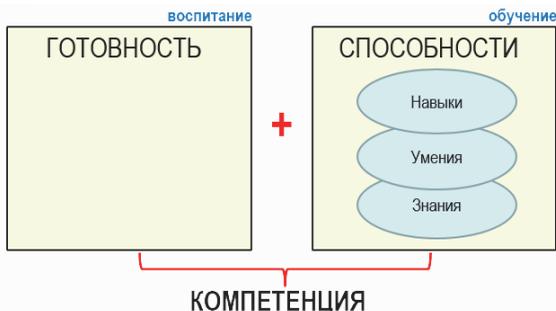


Рисунок 1 — Структура компетенции

С учётом этого выдвинуто предположение, что искусственный интеллект не в состоянии полностью заменить преподавателя, т.к. способен только обучать, но не воспитывать. И при попытке воспитания обучающегося искусственным интеллект в результате образования получится «робот», а не человек или новый вид человека – человек служебный, вместо человека разумного.

В представленной статье рассмотрены различные аспекты возможного применения искусственного интеллекта в образовательном процессе, которые не повлекут существенных искажений целей образования.

Литература

1. Стратегия цифровой трансформации отрасли науки и высшего образования утв. Минобрнауки РФ 14.07.2021г. – М.: 2021.
2. Стратегия цифровой трансформации: написать, чтобы выполнить / С83 под ред. Е. Г. Потаповой, П. М. Потеева, М. С. Шклярук. — М.: РАНХиГС, 2021. — 184 с
3. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 N 273-ФЗ (последняя редакция) // [Электронный ресурс] — URL: <https://base.garant.ru/70291362/>

Подготовка специалистов к работе со сложной техникой

В.И. Бегун, П.Н. Балахонov

*ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Санкт-Петербург, Россия,
pumba03@rambler.ru*

Training of specialists to work with the 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 Петербургском экономическом форуме в 2023 году проходила секция «ИИ в высшем образовании – прорыв или деградация?», где было отмечено важность исследований в этом направлении.

Специалисты в данной области разрабатывают индивидуальные образовательные траектории с учётом особенностей и потенциала обучающихся, и алгоритмы машинного обучения без педагога, которые очень удобны для обучающихся и при этом учитывают индивидуальный уровень знаний и специфику подготовки каждого человека.

Одним из важных и перспективных направлений является построение индивидуальных образовательных технологий с учётом особенностей и индивидуальных характеристик обучающихся.

При подготовке специалистов на работе со сложной техникой, применение ИИ с датчиками, анализирующими состояние обучающихся, позволяет.

1. Осуществлять замер и анализ напряжённости работы операторов сложной техники, не допуская сбоев в характеристиках их работоспособности.

2. Получать информацию о заинтересованности обучающихся в освоении операторской специальности, стабильности и настойчивости при её изучении и отработке необходимых умений и навыков.

3. Осуществлять анализ подготовки обучающихся, для прогнозирования будущей успешной работы одних обучающихся, и нецелесообразности принятия на конкретную операторскую должность других обучающихся.

4. Обоснование периодичности контрольных замеров успешности (безаварийности) работы операторов, выявление условий предшествующих стрессу и сбоев в работе.

5. Обоснование необходимости индивидуальной подготовки оператора после болезни, отпуска, конфликтов в семье или на работе (для обеспечения необходимых характеристик успешной и безаварийной работы).

6. Обоснование наиболее эффективного (и наименее эффективного) времени суток, для его успешного дежурства в первую, вторую, или третью смену.

7. Выявление факторов, влияющих на безошибочность работы обучающихся, и учёт их при необходимости увеличения времени работы (и сокращения времени отдыха) из-за внезапной болезни операторов следующей смены, или напарников из своей смены (и необходимости выполнения большего количества функций).

8. Установление результативности работы оператора по обнаружению и классификации объектов с различным количеством информации, появляющихся в короткие промежутки времени.

9. Выявление длительности восприятия информации оператором от различных датчиков и источников, времени обработки данных, времени анализа ситуации и принятия решения.

10. Анализ изменения успешности работы оператора в зависимости от стажа работы, возраста, и других влияющих факторов.

11. Накопление анализированных данных, и предоставления аналитической службе для выработки выводов и практических рекомендаций.

12. Дублирование деятельности оператора в горячем режиме с возможностью перехода управления к искусственному интеллекту в случае кризиса здоровья (гибели) оператора.

Литература

1. Информация о проведении секции «Искусственный интеллект в высшем образовании – прорыв или деградация?» на Петербургском экономическом форуме в 2023 году. – СПб: 2023.

**Метод для выделения сигнальных зон автомобилей
в сложном потоке и для распознавания и отсеивания
похожих объектов**

К.И. Кий

*ИПМ им. Келдыша РАН, Москва, Российская Федерация,
konst.i.kiy@gmail.com*

**A method for detecting signal zones of vehicles in heavy
traffic and for recognizing and eliminating similar objects**

Konstantin I. Kiy

*Keldysh institute of applied mathematics of Russian academy of sciences,
Moscow, Russian Federation, konst.i.kiy@gmail.com*

В предыдущих работах автора [1, 2] были разработаны методы выделения сигнальных зон автомобилей и реализованы соответствующие программные комплексы, которые хорошо работали в достаточно простых дорожных ситуациях (отдельные впереди идущие автомобили при малоинтенсивном движении). Переход к реальным дорожным сценам плотного движения на автострадах потребовал их существенной доработки. Так как ввиду заслонений может быть видна только одна половина автомобиля, то для принятия решений требуется принимать во внимание более детальный анализ сегментации дорожной сцены. Кроме того, могут иметься окрашенные объекты на автомобиле (рисунки на кузове) и вне его (например, знаки на отбойниках, реклама, окрашенные объекты рядом с дорогой и т.д.), которые необходимо отсеять на предварительной стадии анализа. Так как необходимо разработать программную систему, работающую в реальном времени, то приходится работать с некоторым сжатым описанием сцены и ограниченным числом признаков. Требуется обеспечить достаточную надежность различия сигнальных зон автомобилей от объектов похожих на них в данной системе признаков, не прибегая к локальному пиксельному анализу объектов. Работа основана на методе геометризованных гистограмм для сжатого описания и сегментации изображений в реальном времени [3]. В следующем разделе будут кратко описаны основные идеи, которые позволяют расширить разработанные методы с тем, чтобы сделать их применимыми к дорожным сценам, снятым в реальном загруженном трафике с реальным окружением дороги.

В предыдущем подходе использовалось описание изображения с помощью графа цветowych сгустков [3]. В качестве основных инструментов использовалась решетка поиска на изображении SearchLat (STG), построенная из цветowych сгустков STG, которые в некотором смысле покрывают изображение и в существенных моментах дают его описание [3], и почти вертикальные контуры, построенные на этой решетке [1–3]. Выводы о наличии сигнальной зоны в данном месте изображения делались на основе связи почти вертикальных контуров (предполагаемых границ автомобиля) и наборов сгустков–кандидатов. При плотном трафике и заслонениях такие аргументы не всегда приводят к правильному результату. Фактически не было более аргументированного подтверждения, что рассматриваемые кандидаты принадлежат к некоторому автомобилю. Чтобы восполнить этот пробел, дополнительно принимаются во внимание результаты сегментации на графе цветowych сгустков [3]. Предварительная сегментации на графе цветowych сгустков [3] выполняется в виде построения непрерывных систем цветowych сгустков на графе STG. Граф STG строится для разбиения изображения на параллельные одинаковые горизонтальные полосы. Непрерывные системы (в терминологии [3] – сечения) строятся снизу вверх и в них соседние цветowych сгустки имеют близкие цветowych параметры [3]. Эти сечения определяют части реальных объектов на изображении. Реальные части автомобиля вызывают их границы и либо накрывают сигнальные зоны (для грузовых автомобилей), либо находятся под ними (для легковых автомобилей). Изучение связей между вертикальными контурами на SearchLat (STG), непрерывными сечениями на графе и наборами сгустков–кандидатов позволяет проводить более точный анализ с удалением фальшивых кандидатов на сигнальные зоны.

Литература

1. К.И. Кий, Алгоритмы компьютерного зрения для анализа сигнальных объектов в дорожной сцене, // Робототехника и техническая кибернетика, 2018, 1(18), с. 26-33.
2. Д.А. Анохин, К.И. Кий, Анализ намерений соседних водителей на основе компьютерного зрения, // Сборник трудов конференции «Экстремальная робототехника-2022», с. 380-387.
3. К.И. Кий, Д.А. Анохин, А.В. Подопросветов, Программная система обработки изображений с параллельными вычислениями, // Программирование. 2020. № 6. 38-50.

Исследование возможности применения современных алгоритмов замыкания петель в биоморфной системе визуальной навигации RatSLAM

Ю.А. Малышев

ИПФ РАН, Нижний Новгород, Россия, smmalisheva@gmail.com

Study of the possibility of using modern loop closure algorithms in the biomorphic visual navigation system RatSLAM

Yuriy A. Malishev

IPF RAN, Nizhni Novgorod, Russia, smmalisheva@gmail.com

В данной работе рассматривается система визуальной навигации, являющаяся подвидом систем одновременного определения местоположения и построения карты (Simultaneous Localization And Mapping, SLAM). Целью функционирования данных систем является определение текущего местоположения субъекта в пространстве относительно окружения и своих предыдущих местоположений, а также составление карты. Подобные алгоритмы используют информацию, получаемую от различных сенсоров, установленных на субъекте, а на выходе выдают текущее местоположение субъекта. Это достигается при совместной работе интегрирования пути (интегрирование одометрии – сигналов собственной скорости субъекта) и замыкания петель (восстановления «запомненных» пространственных координат при попадании субъекта в знакомые области пространства).

Система RatSLAM построена на основе биорелевантной модели визуальной навигации в гиппокампе грызунов. Интегрирование пути происходит в сети клеток позы – многослойной рекуррентной нейронной сети с непрерывным аттрактором, функционально подобной сетям решетчатых нейронов и нейронов направления головы. Данная сеть имеет конфигурацию полносвязного куба, измерения которого соответствуют двум координатам (x,y) точек маршрута на плоской карте и направлению взгляда (вращение вокруг вертикальной оси). Центроид пакета наиболее активных в данный момент клеток позы соответствует текущему местоположению, а сигналы одометрии вызывают сдвиг активности в сети клеток позы. Замыкание петель выполняется методом создания набора локальных видов – изображений, «привязанных» к областям пространства, в которых

они были получены, при помощи возбуждающих связей с соответствующим нейроном в сети клеток позы. Если новое изображение, поступившее на вход системы, похоже на одно из изображений в коллекции локальных видов (метрика разницы изображений ниже порога), с помощью возбуждающей связи активируется клетка позы, связанную с данным изображением. Карта пространства представляет из себя последовательность изображений, «нанизанных» на траекторию движения субъекта. [1,2]

Данная система принимает на вход информацию от внешнего блока одометрии, определяющего движения субъекта по изменению профиля интенсивности изображения, что, по-видимому, обуславливает низкую точность одометрии, однако нейронная обработка данных в системе, строящая гипотезы о местоположении путем накопления данных, позволяет ей функционировать даже при неоднозначности трактовок внешних сигналов.

В предыдущих работах была произведена модификация системы RatSLAM – замена исходного блока визуальной одометрии на модуль, работающий на основе изменений положений выделенных на изображении особых точек. В качестве основы для данной системы послужила система визуальной навигации OrbSLAM[3]. Данная модификация позволила существенно улучшить точность работы системы. Однако модуль замыкания петель, работающий на основе суммы абсолютных разностей интенсивностей пикселей изображений, остался без изменений.

В данной работе была проведена проверка возможности использования более современных методов сопоставления изображений, в том числе методов на основе нейронных сетей.

Литература

1. Milford, Michael et al. RatSLAM: A hippocampal model for simultaneous localization and mapping // IEEE Int. Conf. Rob. Autom. 1. 403 - 408 Vol.1. 10.1109/ROBOT.2004.1307183.
2. Ball, David et al. OpenRatSLAM: an open source brain-based SLAM system // Autonomous Robots, 2013, 34. 1-28. 10.1007/s10514-012-9317-9.
3. Mur-Artal, Raul et al. ORB-SLAM: a versatile and accurate monocular SLAM system // IEEE Transactions on Robotics. 31. 1147 - 1163. 10.1109/TRO.2015.2463671.

Система биомониторинга состояния здоровья оператора системы взаимодействия робот-человек

Д.Е. Чикрин, Д.М. Пашин, А.А. Егорчев, А.Ф. Фахрутдинов
*ФГАОУ ВО КФУ, Казань, Россия, dmitry.kfu@ya.ru,
dmitry.m.pashin@gmail.com, eanton090@gmail.com, timvaz@yandex.ru*

Biomonitoring system of the health condition of the operator of the robot-human interaction system

Dmitry E. Chickrin, Dmitry M. Pashin, Anton A. Egorchev,
Adel F. Fakhrutdinov
*Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia, dmitry.kfu@ya.ru,
dmitry.m.pashin@gmail.com, eanton090@gmail.com, timvaz@yandex.ru*

В современных системах взаимодействия робот-человек операторы играют ключевую роль в контроле и управлении роботами, в частности, коботами. Однако, операторы могут сталкиваться с физическими недугами и психологическим напряжением, что может негативно сказываться на их работе и состоянии здоровья. Система биомониторинга состояния здоровья оператора предлагает решение для наблюдения и анализа физиологических параметров оператора, используя доступное практически у всех такое устройство как смартфон.

Для построения системы была разработана клиент-серверная архитектура. Система была разработана для ОС Android, ОС Ubuntu. Серверная часть выполняет обработку части данных, предоставляемых устройствами, а именно: обработка данных микрофона, трехосевого акселерометра, гироскопа, а также выполняет хранение полученных результатов показателей биомониторинга операторов интегрированных в систему с помощью СУБД PostgreSQL. Устройства, выполняющие роль клиентской части выполняют задачу сбора данных неинвазивным путем используя сенсорiku смартфона, обработки данных сенсорики, а также визуальным представлением результатов проведенного биомониторинга (см. рис. 1). В перечень данных получаемых от сенсорики входит: видеоданные камер, аудиоданные микрофона, показания акселерометра и гироскопа.

Полученные данные используются для определения следующих показателей используя разработанные алгоритмы: обнаружения кашля и чихания, частоты и поверхности дыхания, состояния шока, частоты сердечных сокращений, уровня оксигенации, артериального

давления, тремора; наличия неврологических расстройств, расстройств моторики, мускульной усталости; определения падений и сильных ударов; определение эмоций.



Рисунок 1 — Клиентская часть

Алгоритмы определения биомедицинских показателей включают в себя следующие методы [1-5]: Спектральный анализ, кепстральный анализ, использование нейросетевых моделей, цифровая фильтрация, фотоплетизмография.

В испытаниях системы принимали участие 20 человек, которые являлись сотрудниками и студентами университета. Пример результатов испытаний показан на рис. 2.

Таким образом, была разработана система биомониторинга операторов системы взаимодействия робот-человек. Были проведены успешные испытания на проверку работоспособности системы. На основе полученного решения планируется расширение методов диагностики и так же применение собственных аппаратных датчиков.

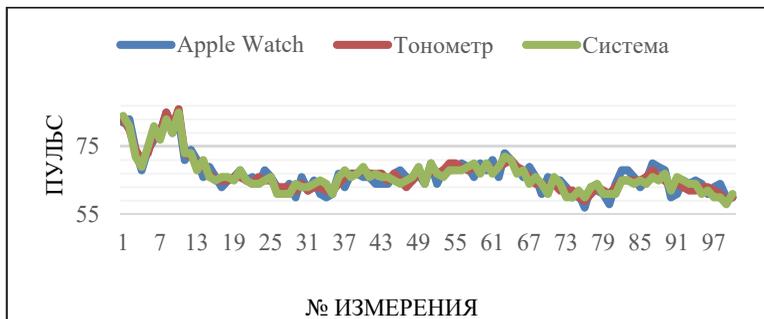


Рисунок 2 — Испытания измерения пульса

Благодарности

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета ("ПРИОРИТЕТ-2030").

Литература

1. Abay T., Kyriacou P. Photoplethysmography for blood volumes and oxygenation changes during intermittent vascular occlusions // *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. - 2017. - №32. - С. 447-455. Xu C., Yang Y., Gao W. Skin-Interfaced Sensors in Digital Medicine: from Materials to Applications // *Matter*. - 2020. - №2. - С. 1414-1445.
2. Kanwa A., Sharma C., Deb S Determination of SpO2 and Heart-rate using Smartphone Camera // *Proceedings of the 2014 International Conference on Control, Instrumentation, Energy and Communication (CIEC)*. - 2014. - С. 40-49.
3. Simantiraki O., Giannakakis G., Pampouchidou A., Tsiknakis M. Stress Detection from Speech Using Spectral Slope Measurements // *International Conference on Future Access Enablers of Ubiquitous and Intelligent Infrastructures*. - Крит: Springer, 2016. - С. 41-50.
4. Audio-based cough counting using independent subspace analysis / П. Лими, Т. Бурк, Д. Барри, Д. Дорран. — Текст : непосредственный // *43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*. — 2021. — № 1. — С. 1026-1030.
5. ML Kit. — Текст: электронный // *Google Developers: [сайт]*. — URL: <https://developers.google.com/ml-kit> (дата обращения: 05.02.2023).

Основные риски взаимодействия робот-человек и способы их минимизации

Д.Е. Чикрин, К.Р. Смольникова
ФГАОУ ВО КФУ, г. Казань, Российская Федерация, dmitry.kfu@ya.ru,
krsmolnikova@mail.ru

Main risks of cobot-human interaction and ways to minimize them

Dmitry E. Chickrin, Kamilla R. Smolnikova
Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia, dmitry.kfu@ya.ru,
krsmolnikova@mail.ru

Деятельность оператора в процессе взаимодействия с коллаборативной робототехникой преследует множество рисков, один из которых заключается в операторских ошибках при совместной работе с роботом.

В данной работе в табличной форме рассматриваются возможные риски при взаимодействии оператора с роботом и способы их минимизации в системе «робот-человек».

Ключевые слова: роботы, коллаборативные роботы, взаимодействие робота и оператора, риски.

В целях оценки рисков взаимодействия в системе робот-человек в табличной форме (см. табл. 1) продемонстрированы возможные операторские ошибки и способы их минимизации при работе с роботом в каждом сценарии взаимодействия. Оценка рисков и способы их минимизации в целом позволит эффективнее взаимодействовать с роботами и как следствие снизить/устранить операторские ошибки.

Таблица 1 — Операторские ошибки и способы их минимизации
в сценариях взаимодействия с роботом

Критерий	Сценарии взаимодействия [2]			
	I. Контролируемая остановка с учетом требований безопасности	II. Ручное управление	III. Контроль скорости и распределения зон	IV. Ограничение мощности и усилия
Участие оператора	Ограничено во время работы робота.	Контроль во время обучения.	Нет контроля в совместной рабочей зоне.	Зависит от применения.

	Не имеет контроля.		Работа кобота зависит от заранее настроенных в его управляющей программе зон.	Оператор работает одновременно. Контролируется сила и мощность при контакте.
Техника кобота	Остановка обеспечивается без потери мощности двигателей. Кобот не двигается в случае остановки. Несовместная работа кобота, в случае отсутствия оператора в совместной зоне.	Ввод данных и управление движением осуществляет оператор. Кобот не обучается – работает в режиме манипулятора. Обучается – не работает в автоматическом режиме.	Одновременная работа. Минимальное раздельное расстояние для выполнения задач. Свободное передвижение, в случае близкого расстояния, кобот останавливается и не двигается.	Не может превысить мощность чрезвычайной силы. Свободное передвижение в совместном рабочем пространстве. Одновременная работа, возможен намеренный и непреднамеренный прямой контакт.
Операторская ошибка	Вход в запретное пространство во время работы кобота.	Неверный ввод данных или управление движением	Неверно настроена система в управляющей программе.	Неверный выбор приложения
Способ минимизации операторской ошибки [4]	Эвристика аффекта	Эвристика доступности	Эффект привязки	Ошибка планирования

Одним из ключевых способов минимизации операторских ошибок заключается в исследовании когнитивных искажений при принятии решений оператором во время взаимодействия с коботом. При

данных условиях (см. таб. 1) рассмотрим каждый способ минимизации операторской ошибки применительно к каждому методу взаимодействия.

I. В первом методе взаимодействия операторская ошибка основывается на модели принятия решения, предполагающая отсутствие рационального анализа всех возможных вариантов, т.е. операторское решение принимается на основе своих эмоций и чувств. Иными словами, оператору необходимо оценивать свои эмоции и чувства, чтобы не принимать ошибочные решения на основе «Эвристики аффекта».

II. Во втором методе взаимодействия операторская ошибка может приводить к систематическим ошибкам в принятии неверных решений. В данной ситуации оператор оценивает вероятность событий на основе того, насколько легко это событие приходит на ум, т.е. происходит интуитивный процесс без проверки информации и оценивания ее критически.

III. В третьем методе взаимодействия действия оператора приводят к ошибке из-за того, что оператор изначально полагался на первоначальную информацию при принятии решения. В данном случае для минимизации ошибок необходимо не только делать процесс более понятным и использовать систему обратной связи для коррекции действий, а также использовать логические рассуждения и анализ данных.

IV. В четвертом методе взаимодействия оператор работает одновременно с роботом, в том числе возможен намеренный и непреднамеренный прямой контакт. Именно поэтому в данном методе необходимо минимизировать всевозможные риски и ошибки. Для этого необходимо разрабатывать четкий план работы с роботом, оценивать операторские возможности и ресурсы еще до начала взаимодействия с роботом, при этом учитывая трудности и проблемы, которые могут возникнуть в процессе коллаборации. Также необходимо постоянно контролировать выполнение плана и корректировать его при необходимости.

Исследование человеко-машинных систем в долгосрочной перспективе приобретает особую актуальность и является важным направлением государственной политики в рамках стратегии научно-технологического развития России.

Ошибка – это неизбежный аспект, а ошибки, допущенные оператором – исследование в полной мере неразработанное в современной науке. Следовательно, недооценка рисков оператором может привести к авариям и причинению вреда здоровью.

В данной работе приведен способ минимизации операторских ошибок в целях избежания принятия неверных решений оператором во время взаимодействия с роботом через понимание когнитивных искажений.

Благодарности

Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета («ПРИОРИТЕТ-2030»).

Литература

1. ГОСТ Р 60.1.2.3-2021/ISO/TS 15066:2016. Национальный стандарт Российской Федерации. Роботы и робототехнические устройства. Требования безопасности для роботов, работающих совместно с человеком // СПС «КонсультантПлюс».
2. Daniel Kahneman. Thinking, Fast and Slow. Macmillan. ISBN 978-1-4299-6935-2. Retrieved April 8, 2012. – 499 с.

Реализация задачи сборки коллаборативной робототехнической ячейки с применением системы визуального контроля действий человека

У Го, В.В. Серебряный, М.А. Шереужев
*МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия, ug@student.bmstu.ru,
vsereb@bmstu.ru, shereuzhev@bmstu.ru*

Implementation of the task of assembling a collaborative robotic cell using a visual control system for human actions

Guo Wu, Vladimir V. Serebrenny, Madin A. Shereuzhev
*Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia,
ug@student.bmstu.ru, vsereb@bmstu.ru, shereuzhev@bmstu.ru*

Система визуального контроля действий человека, прежде всего, необходима для обеспечения безопасного взаимодействия между человеком и роботом. В данной работе была разработана визуальная супервизорная система для коллаборативной робототехнической ячейки при задаче сборки. Понимание сцены сборки включает в себя идентификацию объектов сборки и распознавание действий, выполняемых человеком. С использованием системы компьютерного зрения (СТЗ), объекты, предназначенные для сборки, могут быть точно идентифицированы и позиционированы. В данной работе был рассмотрен процесс сборки ручки ящика. Детектор YOLOv5 был обучен

для идентификации ручки ящика, деревянных пластин, винтов и других деталей. Для обнаружения отверстий в пластинах был применен детектор SimpleBlob из библиотеки OpenCV, и параметры были настроены эмпирическим путем с целью достижения оптимальных результатов в области детектирования.

В работе [1] в СТЗ интегрирован фреймворк OpenPose, который способен определять положение человека и извлекать ключевые точки тела человека. В данной работе был выбран фреймворк MediaPipe для определения положения рук человека. Этот выбор обоснован тем, что детекторы рук и детекторы тела были разделены, что позволяет эффективно определять ключевые точки рук, даже если полное изображение тела не может быть обнаружено из-за расположения камеры. Чтобы определить выполняемое действия человеком, необходимо проводить анализ жестов, а также распознавать наличие инструментов или деталей в руках рабочего. В данной работе было внедрено два основных жеста: «старт» и «стоп», которые служат для контроля работы манипулятора. Для распознавания указанных жестов был применен простой алгоритм, основанный на анализе данных о сегментированном скелете рук и вычислении общего угла между суставами нескольких пальцев. Для обеспечения безопасной работы манипулятора в данном исследовании, его активация осуществляется только после успешного распознавания правильного типа инструмента, что представляет собой важное требование. Однако возникает серьезная проблема, связанная с окклюзией в процессе взаимодействия руки человека с объектами. В работе [2] предлагаются модифицированные модели, которые внедряют модули внимания Criss-Cross и SimAM на основе архитектуры YOLOv5. Эти модифицированные модели были обучены для распознавания инструментов, таких как дрель, отвертка и винты, с целью повышения эффективности системы и преодоления проблемы окклюзии.

На логическом уровне системы управления и принятия решений использована машина состояний и онтология. Были выделены следующие базовые операции: установка пластины, сверловка пластины, фиксация ручки ящика, проверка положения отверстий и затяжка винтов. В рамках исследования [3] было проведено качественное распределение задач в процессе сварки. Согласно этой методологии, была разработана диаграмма действий. Таким образом, в данном случае были применены конечные автоматы, которые основаны на пакете ROS2 SMASH. Перед входом в начальное состояние визуальной системы предполагается ожидание сигнала, свидетельствующего о распознавании рук человека. С использованием координат руки, область

руки сегментируется, что позволяет визуальной системе непрерывно отслеживать и распознавать жесты руки рабочего, такие как «стоп» или «старт». Аналогично, визуальная система способна распознавать механические инструменты, находящиеся в руках рабочего. Если рабочий держит дрель, то робот ожидает. В случае, если рабочий держит отвертку, система переходит в состояние «place screws». Начиная из исходного состояния, манипулятор выполняет следующие шаги: схватывает винт и достигает положения отверстий. После завершения затяжки винтов отверткой, рабочий совершает жест «старт», и система переходит в состояние «fix drawer handle». Манипулятор схватывает ручку ящика и достигает положения винта. При этом рабочий продолжает затягивать винты, и коллаборативно завершает сборку. Во время выполнения операций манипулятор приостанавливается, если рабочий проявляет жест «стоп».

Эксперимент был проведен с использованием реального коллаборативного манипулятора FANUC CR-7iA/L. Планирование движений манипулятора было осуществлено с применением пакета ROS Fanuc. На основе результатов проведенных экспериментов был сделан вывод о перспективности и эффективности применения системы визуального контроля действий человека для коллаборативной робототехнической ячейки при выполнении задач сборки.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения государственного задания (FSFS-2021-0004).

Литература

1. Wu G, Pak L, Shereuzhev M, Serebrenny V. Supervisory System for a Collaborative Robotic Cell Based on RGBD Camera. In International Conference on Interactive Collaborative Robotics 2022 Oct 3 (pp. 12-24).
2. Wu G, Shen X, Serebrenny V. Attention Guided In-hand Mechanical Tools Recognition in Human-Robot Collaborative Process. In International Conference on Interactive Collaborative Robotics 2023 Sep 5 (pp. 1-12).
3. Antonelli D., Bruno G. Dynamic Distribution of Assembly Tasks in a Collaborative Workcell of Humans and Robots, FME Transactions. 47(4). 2019. Pp. 725–728.

Применение технологий компьютерного зрения в промышленной и сервисной робототехнике

А.Н. Хуснутдинов¹, М.В. Винокуров²

¹ООО «АИМ», г. Дубна, Московской обл., Россия,

ANKhusnutdinov@rosatom.ru

²АО «Русатом Сервис», Москва, Россия, *MaVVinokurov@rusatomservice.ru*

Application of computer vision technologies in industrial and service robotics

Amir N. Khusnutdinov¹, Maksim V. Vinokurov²

¹General Director of LLC AIM, Dubna, Moscow region, Russia,

ANKhusnutdinov@rosatom.ru

²General Director for Business Development and Strategy of JSC Rusatom
Service, Moscow, Russia, *MaVVinokurov@rusatomservice.ru*

Роботизация и автоматизация производства являются ключевыми технологиями в процессе перехода к концепции «Индустрия 4.0».

Применение промышленных роботов позволяет осуществить качественный скачок в росте производительности труда и ведения эффективных технологических процессов.

Промышленные роботы. В России промышленная робототехника находится на крайне низком уровне, как в области производства отечественных роботов, разработки программного обеспечения, так и по показателям внедрения робототехнических решений на промышленных производствах. Своим размером рынок робототехники России с трудом может обеспечить образование и развитие отечественных компаний с полноразмерным рядом промышленных роботов без государственной поддержки. На сегодняшний день стоит острая задача по вопросу организации поддержки отечественных производств промышленных роботов полного ЖЦ с качеством и с ассортиментом, соответствующим мировому уровню.

Очевидно, что необходимо одновременно решить несколько задач:

- Обеспечить локализацию производства редукторов, основных механических компонентов и силовой электроники для промышленных роботов;
- Способствовать внедрению промышленных роботов во всех отраслях промышленности РФ, через разработку механизмов экономического стимулирования.

Все это окажет благотворное влияние на эффективность производств, рост производительности труда, конкурентоспособность продукции на мировых рынках за счет повышения качества продукции.

Основной тренд развития робототехники. Эффективное внедрение и эксплуатация промышленных роботов является до сих пор не до конца решенной задачей. К данным аспектам можно отнести применение автоматизированных средств проектирования и программирования роботов, внедрения адаптивных самонастраивающихся систем, применение технологий компьютерного зрения.

Технологии компьютерного зрения в робототехнике являются ключевыми. Однако сейчас они не могут составить конкуренцию человеку. Прорыв именно в этих технологиях обеспечит повышение эффективности применения промышленных роботов и приведет к качественному скачку в сервисной робототехнике. В этом направлении в России есть хороший потенциал в виде ИТ-компаний и отечественных традиций технического образования.

Следует выделить следующие секторы развития компьютерного зрения, которые необходимо целенаправленно развивать:

Bin-picking. Развитие ПО для скоростного управления роботами с помощью машинного зрения в металлообработке, так называемая задача Bin-picking - автоматизированный захват деталей. Задача – обеспечить промышленность быстрыми, точными и конкурентными техническими решениями. В этом направлении необходимо провести исследования с целью выявления наиболее актуальных задач, чтобы сформулировать направления для стимулирующей поддержки.

БПЛА и обработка видеoinформации. Развитие отрасли БПЛА, автономных неземных, водных и подводных роботов (далее- автономные роботы) так же относится к приоритетным направлениям робототехники в РФ. БПЛА (каптеры и самолетного типа) нашли промышленное применение в оперативном контроле состояния с/х угодий, лесных хозяйств, картографировании, мониторинге линейных объектов (автодорог, РЖД, трубопроводов, ЛЭП), инженерии и т.д.

Ценность применения БПЛА для государства заключается в обеспечении субъектов экономической деятельности объективной информацией для решения технологических задач, принятия инвестиционных решений, выполнения контрольно-надзорных функций органов государственной власти.

Для этого направления ключевыми технологиями являются компьютерное зрение, распределенная обработка и анализ больших массивов информации.

Онтологоориентированная методика зонирования местности и размещения сейсмических модулей робототехническими средствами

М.А. Астапова¹, М.Ю. Уздяев¹, В.М. Агафонов²,
В.М. Брыксин³

¹*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр
Российской академии наук», Санкт-Петербург, Россия,
astapova.m@iias.spb.su*

²*ООО «Р-Сенсор», г. Долгопрудный, Россия, agvadim@yandex.ru*

³*Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград,
Россия, gerokhin@kantiana.ru*

Ontology oriented methodology of remote sensing of the terrain for seismic modules installation using robotics

Marina A. Astapova¹, Mikhail I. Uzdiaev¹, Vadim M. Agafonov²,
Vitaliy M. Bryksin³

¹*St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences
(SPC RAS), St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the
Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, astapova.m@iias.spb.su*

²*LLC «R-Sensor», Moscow region, Dolgoprudny, Russia, agvadim@yandex.ru*

³*Research Institute of Applied Informatics and Mathematical Geophysics,
Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia,
gerokhin@kantiana.ru*

Использование робототехнических средств в сейсморазведке позволяет повысить её эффективность: снизить временные, трудовые и финансовые затраты. Важной проблемой в этой области является определение зон, пригодных для размещения сейсмических модулей. Для решения данной проблемы используется информация в различных диапазонах электромагнитного излучения о состоянии земной поверхности, полученная с наземных роботов, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), спутников дистанционного зондирования Земли. Анализ этих данных позволяет определить интервалы значений признаков и другие представления, соответствующие определённому классу поверхности.

Онтологические модели позволяют представить признаки классов поверхностей, пригодных для установки сейсмодатчиков. Для различения поверхностей рассматриваются различные индексы, получаемые из мульти- и гиперспектральных спутниковых и аэрофотоснимков.

При этом, определенные в литературе диапазоны индексов требуют дополнительного уточнения, т.к. конкретные значения индексов для поверхностей той или иной местности могут зависеть от множества искажающих факторов, а для широкого класса поверхностей диапазоны значений спектральных индексов не определены.

В рамках данной работы рассматривается ряд распространенных признаков, отражающих свойства поверхностей: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index); NDWI (Normalized Difference Water Index); NDBI (Normalized Difference Building Index); SAVI – Soil Adjusted Vegetation Index; NDMI (Normalized Difference Moisture Index); коэффициент спектральной яркости (КСЯ) гиперспектрального снимка местности.

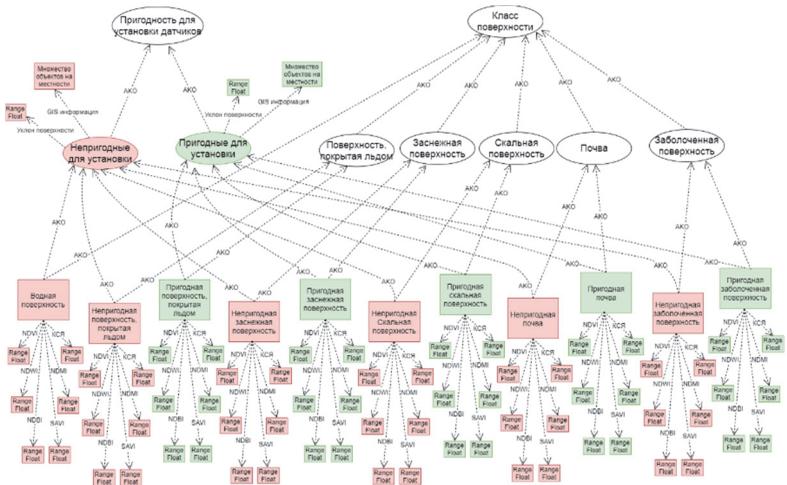


Рисунок 1 — Онтологическая модель классов поверхностей, в разрезе их пригодности к установке сейсмотатчиков

Рассмотрим представление классов поверхностей и визуальных признаков, которые должны определять каждый из классов онтологии: класс «пригодность для установки датчиков поверхности», характеризующий возможность установки датчика на поверхность; класс «поверхность», включающий в себя виды подстилающих поверхностей: почва, скалы, болота, лед, снег, вода. Отношения, вводимые между классами поверхностей: наследования (A Kind of – AKO); GIS данные; информация об уклоне рельефа; спектральные индексы. Онтологическая модель, отражающая все классы и отношения приведены на рис. 1.

Приведенная онтология является обоснованной формальной моделью предметной области поверхностей, пригодных для установки сейсмодатчиков, на спутниковых и аэрофотоснимках, которая содержит значимые признаки и отношения между ними.

Благодарности

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-69-00231, <https://rscf.ru/project/22-69-00231/>.

Решение задачи детекции паттерна кривой с использованием сегментной спайковой модели нейрона (CSNM)

Д.А. Беркман^{1,2}, В.В. Иванова^{1,3}, А.М. Корсаков¹,
Л.А. Станкевич^{1,2}, А.В. Бахшиев²

¹ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия

²СПбПУ Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

³СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

*danulea2001@mail.ru, overtpace@gmail.com, a.korsakov@rtc.ru,
stankevich_lev@inbox.ru, palexab@gmail.com*

Solving the problem of curve pattern detection using the compartmental spiking model of a neuron (CSNM)

Daniela A. Berkman^{1,2}, Viktoria V. Ivanova^{1,3},
Anton M. Korsakov¹, Lev A. Stankevich^{1,2},
Alexander V. Bakhshiev²

¹*Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics,
St. Petersburg, Russia*

²*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU), St. Petersburg,
Russia*

³*Electrotechnical University «LETI», St. Petersburg, Russia,
danulea2001@mail.ru, overtpace@gmail.com, a.korsakov@rtc.ru,
stankevich_lev@inbox.ru, palexab@gmail.com*

В настоящее время при решении задач классификации широко используются свёрточные нейронные сети. Одним из их недостатков является низкая обобщающая способность, что приводит к ухудшению качества работы таких сетей при изменении условий во входных данных. Эта проблема раскрыта, например, в работе [1].

Для преодоления подобной проблемы представляется перспективным развить нейроморфный подход. Использование принципов нервной системы для существенного повышения адаптивности пластичности технических решений, приведет к тому, что эти разработки откроют возможность для создания интеллектуальных систем, сохраняющих работоспособность при качественном изменении характеристик среды.

Настоящая работа посвящена детекции сигналов на данных типа кривых различного характера с использованием сегментной спайковой модели нейрона (CSNM) [2].

Для формирования признаков применялся медианный фильтр и метод главных компонент. Для разных типов данных необходимо было применять свой метод формирования признаков по причине их характерных различий.

С помощью медианного фильтра, примененного к ЭЭГ-данным, удалось увеличить соотношение сигнал-шум и сократить количество признаков с 200 до 20. Также, с помощью метода главных компонент, примененного к синтетическим данным, удалось сократить размерность примера с 21 до 5 признаков и до 2 впоследствии ввиду незначительности трех других для детекции.

Точность детекции CSNM, обученного на единственном усредненном примере возникновений сигнала P300 на ЭЭГ-волне, достигла 100%. Точность детекции CSNM, обучаемого на одном из примеров возникновения сигнала на синтетических данных достигала 100% на чистых данных и с синусоидальным шумом и 90% на данных со случайным шумом.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-21-00287, <https://rscf.ru/project/23-21-00287>.

Литература

1. Фомин И.С., Архипов А.Е. Исследование влияния погодных условий в задаче классификации изображений нейронными сетями // Сборник XIII всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Робототехника и искусственный интеллект», Красноярск, 27 ноября 2021 года. – С. 141-146.
2. Bakhshiev A.V., Gundelakh. F.V. Mathematical Model of the Impulses Transformation Processes in Natural Neurons for Biologically Inspired Control Systems Development // CEUR Workshop Proceedings. – 2015. – Vol. 1452. – P. 1-12.

Распараллеливание процессов при решении задачи классификации сегментной спайковой моделью нейрона на GPU

В.В. Иванова^{1,2}, И.С. Фомин^{1,3}, А.М. Корсаков¹,
А.В. Бахшиев³

¹ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия

²СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский политехнический университет

им. Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия, overpace@gmail.com;

a.korsakov@rtc.ru, i.fomin@rtc.ru, palexab@gmail.com

Parallelization of processes using GPU during CSNM training and subsequent classification on a test sample

Viktoria V. Ivanova^{1,2}, Ivan S. Fomin^{1,3}, Anton M. Korsakov¹,
Alexander V. Bakhshiev³

¹Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics,
St. Petersburg, Russia

²Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», St. Petersburg, Russia

³St. Petersburg Polytechnic University named after Peter the Great,
St. Petersburg, Russia, overpace@gmail.com, a.korsakov@rtc.ru,
i.fomin@rtc.ru; palexab@gmail.com

Сегментная спайковая модель нейрона с возможностью структурной адаптации (CSNM – Compartmental Spiking Neuron Model) [1] способна решать задачу классификации [2], однако при реализации данной модели на CPU задача классификации входных паттернов импульсов требует больших временных затрат. Данная статья посвящена решению задачи ускорения процесса обучения CSNM и решения задачи классификации с использованием GPU.

В режиме обучения модель нейрона меняет свою конфигурацию, приобретая способность откликаться на паттерн импульсов, которому она обучается. В результате обучения происходит настройка таких гиперпараметров модели, как число дендритов (N_d), число сегментов каждого из дендритов (вектор N_{seg}) и количество синапсов на конечном сегменте каждого из дендритов (вектор N_{syn}), которое с целью удобства аппаратной реализации в настоящей работе было преобразовано в вектор весовых значений на входном сегменте каждого из дендритов.

При решении задачи классификации на входы нейрона (дендриты) с определенной частотой подавались считанные из файла паттерны импульсов, которые необходимо было отнести к одному из

определённых классов (либо не отнести ни к одному из них). Количество дендритов в рассматриваемой схеме [2] соответствует количеству признаков. Наличие выходного сигнала на нейроне, соответствующему данному классу, означает отнесение системой текущего паттерна импульсов к данному классу.

В результате работы был проведен перенос кода классификатора с C++ на Python. Кроме того, для увеличения быстродействия системы было произведено распараллеливание расчетов (рис. 1), как при решении задачи обучения CSNM, так и при решении задачи классификации. Результатом работы стало точное воспроизведение работы основных блоков классификатора при значительном увеличении быстродействия системы.

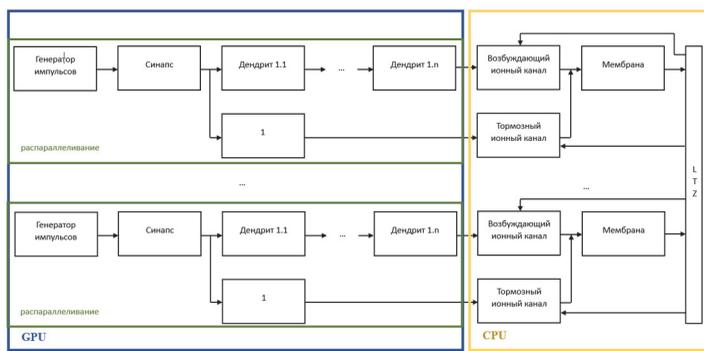


Рисунок 1 — Распараллеливание вычислений с помощью GPU

Программа тестировалась на общедоступных наборах данных MNIST [3] и Iris [4]. В результате по сравнению с реализацией на CPU, скорость обучения и классификации возросла в 12,5 раз (17 минут 36 секунд вместо 3 часов 51 минуты для MNIST и 33 секунды вместо 7 минут 45 секунд для Iris). Результаты обучения и классификации представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Время вычислений на GPU

Датасет	Обучение	Классификация
MNIST	4 сек	17 мин 32 сек
IRIS	4 сек	29 сек

Благодарности

Работа проводилась в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0016 1021060307690-3-

1.2.1; 2.2.2 № № 075-01595-23-01 «Исследование и разработка биоподобной системы управления поведением мобильных роботов на базе энергоэффективных программно-аппаратных нейроморфных средств».

Литература

1. Bakhshiev A. V., Demcheva A. A. Compartmental spiking neuron model CSNM. *Izvestiya VUZ. Applied Nonlinear Dynamics*, 2022, vol. 30, iss. 3, pp. 299-310
2. Корсаков, А. М., Астапова, Л. А., Бахшиев, А. В. (2022). Применение сегментной спайковой модели нейрона со структурной адаптацией для решения задач классификации. *Информатика и автоматизация*, 21(3), 493-520
2. MNIST handwritten digit database, Yann LeCun, Corinna Cortes and Chris Burges [Electronic resource]. URL: <http://yann.lecun.com/exdb/mnist/> (дата обращения: 12.17.2023)
3. UCI Machine Learning Repository: Iris Data Set [Electronic resource]. URL: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/iris> (дата обращения: 12.07.2023).

Формирование виртуальной физической среды в режиме реального времени для отладки решений и обучения систем управления робототехнических комплексов

А.И. Медведкин, М.И. Астахов, И.С. Бунар,
А.С. Островский, А.В. Скорпион

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, a.medvedkin@rtc.ru,
m.astahov@rtc.ru, i.bunar@rtc.ru, a.ostrovskii@rtc.ru, a.skorpion@rtc.ru*

Real-time virtual physical environment formation, solution debugging and training of robotic control systems

Alexey I. Medvedkin, Maxim I. Astakhov, Ilona S. Bunar,
Artyom S. Ostrovsky, Alexander V. Scorpion

Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics, St. Petersburg, Russia, a.medvedkin@rtc.ru, m.astahov@rtc.ru, i.bunar@rtc.ru, a.ostrovskii@rtc.ru, a.skorpion@rtc.ru

Исследования и разработки, проводимые в работе, направлены на определение подходов и методов динамического построения виртуальной среды, обладающей необходимой степенью приближения

к реальным условиям.

Разрабатываемая виртуальная среда является частью отладочно-моделирующего комплекса, создаваемого для отладки прототипируемых робототехнических комплексов и разработки систем управления и их обучения.

В качестве прототипируемых робототехнических комплексов выбраны необитаемый подводный аппарат «Дельфин» и автономный безэкипажный катер «Акватория».

В статье представлен сравнительный анализ предлагаемых подходов и методов динамического построения виртуальной среды с существующими аналогами, использованными при создании отечественных программных продуктов.

Отличительной особенностью предлагаемого подхода является использование методов динамического воспроизведения условий максимально приближенных к реальной физической среде, включая: рельеф, статические и динамические объекты, гидрометеорологические условия, оказывающие существенное влияние на функционирование робототехнических комплексов. Формирование маршрутов движения и препятствий происходит с использованием выборок, включающих характеристики реальных объектов, а также с использованием комбинирования вложенных динамических алгоритмов [1].

На текущей стадии создания аппаратно-программного комплекса разрабатываемые алгоритмы формирования виртуальной среды проверяются при воссоздании водных и прибрежных районов города Выборг.

Формирование виртуальной среды осуществляется с использованием n-уровневой архитектуры и представляет собой программный фреймворк с геометрическим ядром и набором программных модулей.

В целом разрабатываемый аппаратно-программный комплекс позволяет решать задачи оценки конструктивных особенностей робототехнических комплексов посредством CFD (прим.: Computational Fluid Dynamics) и метода конечных элементов, что позволит сократить издержки на испытания в реальных условиях [2].

В ходе моделирования комбинированных сценариев и событий создается матрица параметров для оценки и возможности прототипирования и создания робототехнических комплексов.

Её анализ обеспечит решение задачи отладки конструктивных, функциональных и алгоритмических решений. В частности, оценивается совместимость элементов, из которых состоят прототипируемые робототехнические комплексы [3].

Полученные в работе предварительные результаты позволяют разработать базовую версию программного фреймворка, обеспечивающего формирование виртуальной среды, обладающей необходимой степенью подобия реальным условиям, для отладки и моделирования характеристик робототехнических комплексов (например, скоростных, маневренных) и создания алгоритмов управления, в том числе, для решения задачи управления группами робототехнических комплексов.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0008 1021051101732-4-1.2.1;2.2.2 № 075-01595-23-04 «Исследование методов и разработка технологий создания отладочно-моделирующих комплексов для функционального и поведенческого моделирования РТК и групп РТК»

Литература

1. М.И. Астахов, К.И. Петрова, О.В. Скулябина, А.И. Троцкий, Отечественные и технические науки 6, 65-70 (2022)
2. R.S. Olson, W. La Cava, P. Orzechowski, R.J. Urbanowicz, J.H. Moore, BioDataMining 10(1), 36 (2017) <https://doi.org/10.1186/s13040-017-0154-4>.
3. О.В. Скулябина, К.И. Петрова, О. Насс, И. Бапиев, А. Вахитова, С. Байгубенова, E3S Web of Conferences 389, 07001 (2023).

Разработка алгоритма адаптивной системы стыковки НПА с БЭК с использованием методов машинного обучения

Е.К. Игнатиади, М.В. Михайлов, В.А. Гончаров,
В.А. Поздняков, В.А. Лобкова, С.В. Лыков
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, e.ignatiadi@rtc.ru,
mikhailov.mv@rtc.ru, v.goncharov@rtc.ru, v.pozdnyakov@rtc.ru,
v.lobkova@rtc.ru, s.lykov@rtc.ru

Development of an algorithm for an adaptive system of AUV docking with USV using machine learning methods

Evgeny K. Ignatiadi, Mikhail V. Mikhailov,
Vlas A. Goncharov, Vladimir A. Pozdnyakov,
Veronika A. Lobkova, Stanislav V. Lykov
*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, e.ignatiadi@rtc.ru, mikhailov.mv@rtc.ru,
v.goncharov@rtc.ru, v.pozdnyakov@rtc.ru, v.lobkova@rtc.ru, s.lykov@rtc.ru*

Проводимое исследование в работе направленно на разработку алгоритмов адаптивной системы стыковки, включающей этапы поиска, наведения и удержания цели. Под адаптивной системой, в работе, подразумеваются алгоритмы обучения, направленные на решение задач управления, позволяющие изменять свои свойства для обеспечения эффективной работы системы, учитывающей изменения условий среды локализации и реагирующей на них [1].

Исследования, направленные на анализ и последующее применение методов машинного обучения в решении задачи стыковки, включающей планирование движений и управления обусловлены уровнем развития автономности необитаемых подводных аппаратов (НПА), выполняющих задания в сложных и малоизвестных средах. Использование методов машинного обучения позволяет повысить уровень значимости, определяющего степень адаптивности системы, а равно, увеличивает вероятность успешного выполнения задач и сценариев, например, стыковки [2].

Алгоритм, объединяющий методы К-средних, ближайших соседей и обратного распространения ошибки, применяемый при решении частных задач поиска, наведения и удерживания цели процесса стыковки НПА «Арктика» с БЭК «Аквагория» соответственно, приведен на рис. 1.

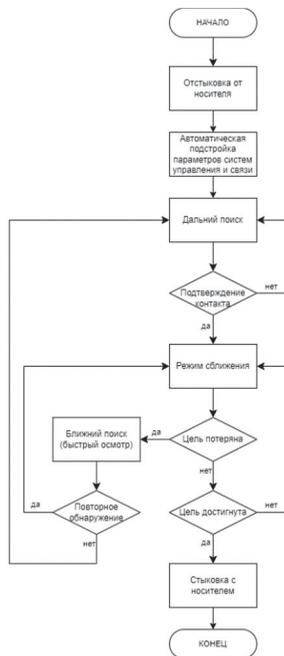


Рисунок 1 — Алгоритм решения частных задач процесса стыковки

Система, построенная на данном алгоритме, выполняет поиск объекта – БЭК и стремится, максимально сократив расстояние до него, осуществить стыковку.

В составе рассматриваемого алгоритма присутствуют следующие вложенные компоненты:

1. автоматическая подстройка параметров систем управления – измеряет и оценивает воздействующие состояния внешней среды с учетом внутренних систем НПА с последующим внесением корректировок (например, подруливание камеры сервоприводом в процессе удержания цели – светодиодных осветителей), позволяющих повысить эффективность работы систем управления;

2. режим сближения – обеспечивает режим движения НПА, сокращающий расстояние до объекта с помощью бортовой навигационной системы, системы машинного зрения и движительно–рулевого комплекса находящихся во взаимосвязи;

3. ближний поиск – производит установление и восстановление потерянного контакта на малых углах обзора с помощью бортовой

системы машинного зрения, реагируя на индикаторы, представляющие из себя светодиодные осветители с голубым лучем с определяемой длиной волны 450 нм;

4. дальний поиск – осуществляет поиск объекта с наиболее широкими углами обзора с помощью бортовой гидролокационной системы;

5. отстыковка/стыковка – представляет цикл определения положения НПА по отношению к носителю – БЭК и маневрирования.

Важно отметить, что особенностью данного решения является осуществление стыковки НПА и БЭК, основанное на применении системы технического (машинного) зрения – камеры с поворотными приводами (на НПА), контроле положения движительно–рулевого комплекса и набором структурированных светодиодных осветителей (на БЭК) для ориентации и маневрирования.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России на 2023 год FNRG-2022-0008 1021051101732-4-1.2.1;2.2 № 075-01595-23-04 «Исследование методов и разработка технологий создания отладочно-моделирующих комплексов для функционального и поведенческого моделирования РТК и групп РТК».

Литература

1. Астахов М.И. Разработка архитектуры системы управления поведением объекта: основа – М: Сборник материалов молодежной конференции «Новые материалы и технологии в ракетно- космической, авиационной и других ведущих высокотехнологичных отраслях промышленности» No1.: ООО «12 апреля» Звездный городок, 2019.

2. Флах П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных. Учебник. - М.: ДМК Пресс, 2015.

СЕКЦИЯ «МЕДИЦИНСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

**Программно-аппаратный комплекс роботической
биопечати на пациентах**

А.А. Левин

НИТУ МИСИС, Москва, Россия, levin.alexandr.stankin@gmail.com

**Hardware and software complex for robotic bioprinting
on patients**

Aleksandr A. Levin

*National University of Science and Technology «MISIS», Moscow, Russia,
levin.alexandr.stankin@gmail.com*

В настоящее время робототехника активно внедряется в такое направление как биопечать. Биопечать можно определять как роботизированная послойная или аддитивная биофабрикация функциональных конструкций тканей и органов из живых клеток и биоматериалов (обычно гидрогеля) в соответствии с цифровой моделью [1]. Если данный процесс проводится непосредственно на теле пациента то такой вид биопечати называют «на месте» или *in situ*[2,3]. В основном таким способом печатаются относительно несложные органы и ткани, такие как: кожа, хрящ, кость.

Процесс *in situ* биопечати состоит из нескольких этапов:

- получение информации о поверхности;
- генерация управляющей программы;
- нанесение гидрогеля с клетками.

В данной работе представлена разработка *in situ* биопринтера, позволяющего реализовывать все этапы данного процесса. Разработанный *in situ* биопринтер располагал в своём составе 3д сканер, манипуляционный робот, и диспенсер гидрогеля, установленный на фланце робота. Все составные элементы биопринтера управлялись с помощью персонального компьютера, на котором находился интерфейс пользователя.

В качестве манипуляционного робота, являющегося основной структурной единицей *in situ* биопринтера, был выбран отечественный робот PULSE 90 компании Rozum Robotics.

Для получения информации о поверхности используется 3Д сканер. Поверхностью обычно являются мягкие ткани организма. Про-

блемой ручных 3D сканеров является трудность калибровки отсканированной поверхности и системы координат робота. Профессиональные 3D сканеры занимают большое количество места, что недопустимо в операционной. Решением была разработка собственного 3D сканера, работающего по принципу лазерной триангуляции, обладающего относительно небольшими размерами и возможностью установки на фланец робота. Разработанный 3D сканер состоял из двух видеокамер и линейного лазерного модуля на поворотной платформе.

Интерфейс пользователя был написан на языке C#, подключение к роботу осуществлялось по протоколу TCP/IP, подключение к диспенсеру было реализовано с помощью USB.

Программа генерации траектории разрабатывалась для биопечати полнослойных дефектов кожи. В таком подходе для заполнения раны достаточно повторить нижнюю поверхность раны на всю высоту раны. Для генерации траектории с помощью интерфейса пользователя на отсканированной поверхности выбиралась область печати. Заполнение проводилось ортогональной сеткой. Также задавались настройки печати, такие как: высота слоя, ширина линии, скорость печати, количество слоёв.

Для нанесения гидрогеля был разработан шприцевой дозатор, с возможностью как ручного, так и автоматического управления. Дозатор позволял использовать шприцы с материалом объёмом до 10 мл, и скоростью перемещения поршня до 1 мм/с.

Для оценки работоспособности были проведены эксперименты по биопечати полнослойного кожного покрова на крупных и мелких лабораторных животных.

Благодарности

Данные исследования проведены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» в части разработки технологических подходов биопечати.

Литература

1. Murphy S. V, Atala A. 3D bioprinting of tissues and organs // Nat. Biotechnol. 2014. Vol. 32, № 8. P. 773–785.
2. Levin A. et al. A Robotic System for Hydrogel 3D Printing on Complex Surfaces. 2020. P. 0793–0799.
3. Singh S. et al. In situ bioprinting – Bioprinting from benchside to bedside? // Acta Biomater. 2020. Vol. 101. P. 14–25.

Разработка реабилитационного комплекса Гефест для пациентов после перенесенного Инсульта

А.А. Цыгулин

НГТУ, Новосибирск, Россия, cygulin@corp.nstu.ru

Development of the Hephaestus rehabilitation complex for patients after a stroke

Alexei A. Tsigulin

*Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia,
cygulin@corp.nstu.ru*

Высокие темпы развития современных медицинских технологий в мире требует внедрения в российскую практику интеллектуального роботизированного оборудования, позволяющего вывести сферу здравоохранения на новый уровень. В связи с увеличением количества инсультов в том числе в молодом возрасте приобретает все большую актуальность реабилитационное оборудование.

Целью проекта является разработка интеллектуального роботизированного реабилитационного комплекса для функциональной терапии (аппарат для восстановления двигательной активности после инсульта и других состояний, связанных с неврологическими нарушениями)

В настоящее время принято [2] разделять существующие комплексы на две категории:

1. концевые приводы (в оригинале «end effectors»), которые механически соединены со ступнями пациента [3];
2. экзоскелеты, которые жестко закреплены на бедрах и голених человека, и обеспечивают перемещение конечностей [4].

Схематически сравнение двух групп устройств показано на рис. 1.

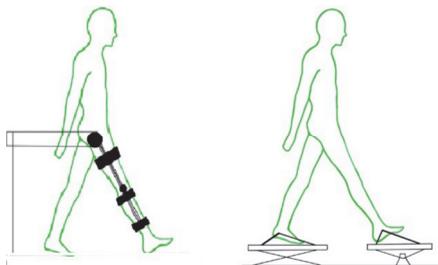


Рисунок 1 — Схемы реабилитационных комплексов

Далее, выбор конструктивных решений приводов определяется требованиями к их кинематическим и динамическим параметрам: реализуемым траекториям движения конечностей, располагаемым скоростям и ускорениям.

Из общих соображений [1] необходимо, как минимум, реалистичное воспроизведение паттерна ходьбы. Траектории и скорости движения ступней при ходьбе неоднократно изучены. Нами ранее также были получены аналогичные данные, а также данные по кинематике ступней во время подъема и спуска по лестнице, перешагивания через препятствия. Эти виды локомоторной активности также должны ассистироваться комплексом.

Конструкторское решение комплекса включает раму, поворотную опору, позволяющую проводить процедуры как лежащем, так и в вертикализованном положении пациента, индивидуальные электроприводы бедренного, коленного и голеностопного суставов ног образующих экзоскелетную конструкцию нижних конечностей. При использовании экзоскелетной схемы комплекса привод каждой конечности должен быть в состоянии манипулировать полным весом пациента в случае его опоры на ступню при ходьбе. Требование манипулирования полным весом пациента приводят к необходимости использования рычажного механизма, позволяющего в разных участках траектории шагания (при разном положении ноги) обеспечивать переменное максимальное усилие и скорость электропривода. Такой подход позволяет снизить требования к максимальной мощности каждого привода экзоскелетной части реабилитационного комплекса и улучшить его массогабаритные характеристики. Трехмерная модель (цифровой двойник) реабилитационного комплекса показана на рис. 2.

Для обеспечения точного следования траекториями для комплекса было разработано специализированное управляющее Программное Обеспечение, обеспечивающее не только комплексное управление всеми приводами и отображение положения комплекса на экране, но и прием сигналов от датчиков состояния пациента и обеспечение в будущем обратной связи этих показателей и интенсивности или типа реабилитационной процедуры. Например, при увеличении частоты сердечных сокращений может быть принято решение об уменьшении скорости «ходьбы» а в ряде случаев и о прекращении процедуры.

Дополнительное расширение диапазона перемещений и действующих усилий также может быть необходимо. Еще в [5] отмечались существенные различия при миелографическом анализе групп

мышц нижних конечностей при использовании аппаратов Lokomat® (схема экзоскелета), Gait Trainer® (схема конечного привода) и при естественной ходьбе. На следующих этапах нашей работы мы планируем адаптировать траектории движения ног с целью максимального приближения миелографического отклика к отклику при естественной ходьбе, что может потребовать значительного расширения диапазона перемещений

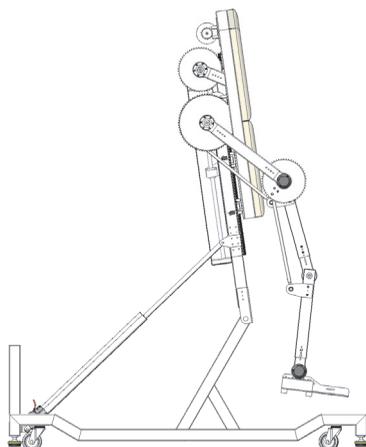


Рисунок 2 — Реабилитационный комплекс Гефест

Благодарности

Проект выполняется в рамках программы «Приоритет 2030» Новосибирского Государственного Технического Университета.

Литература

1. Adult neuroplasticity: more than 40 years of research / E. Fuchs, G. Flügge [и др.] // Neural plasticity. — 2014. — Т. 2014.
2. Cheng P.-Y., Lai P.-Y. Comparison of exoskeleton robots and end-effector robots on training methods and gait biomechanics // Intelligent Robotics and Applications: 6th International Conference, ICIRA 2013, Busan, South Korea, September 25-28, 2013, Proceedings, Part I 6. — Springer. 2013. — С. 258—266.
3. REHA Technology G-EOL Brochure. — URL: https://rehatechnology.com/wp-content/uploads/181130a_Brochure_G-EOL_En_Web_cm_in.pdf. — (дата обращения: 01.01.2023).

4. Motorika High-Level Gait Training Platform – ReoAmbulator. — URL:<https://motorika.com/reoambulator>.

5. An EMG pattern comparison of exoskeleton vs. end-effector robotic device for assisted walking training / G. Morone [и др.] // Replace, Repair, Restore, Relieve—Bridging Clinical and Engineering Solutions in Neurorehabilitation: Proceedings of the 2nd International Conference on NeuroRehabilitation (ICNR2014), Aalborg, 24-26 June, 2014. — Springer. 2014. — С. 563—567.

Разработка системы управления макета коленного модуля

П.И. Грешняков, А.Б. Прокофьев, А.М. Гареев, В.Н. Илюхин
*Самарский университет, г. Самара, Россия, greshniakov@ssau.ru,
prokofev.ab@ssau.ru, gareyev@ssau.ru, ilyukhin.vn@ssau.ru*

Development of the knee module prosthesis control system

Pavel I. Greshnyakov, Andrey B. Prokofiev, Albert M. Gareev,
Vladimir N. Iyukhin
*Samara University, Samara, Russia, greshniakov@ssau.ru,
prokofev.ab@ssau.ru, gareyev@ssau.ru, ilyukhin.vn@ssau.ru*

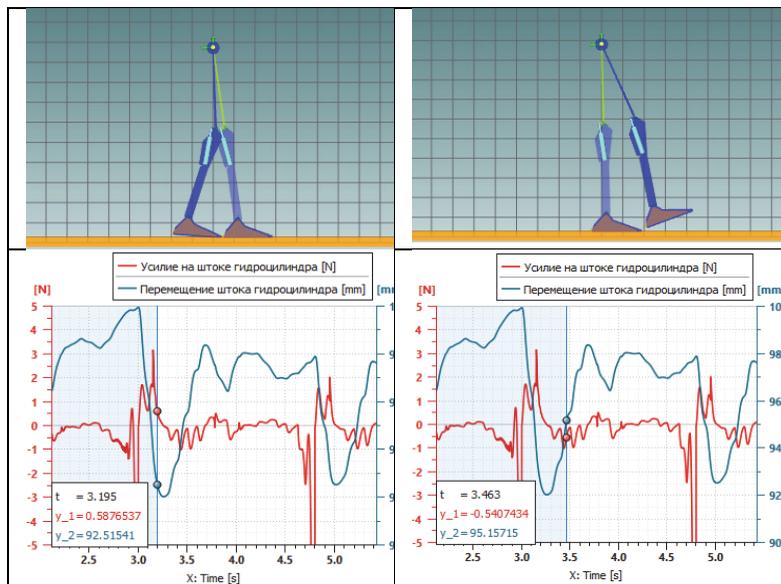
Задача разработки отечественных мехатронных коленных модулей протезов нижних конечностей стала последние несколько лет очень актуальной. Качество функционирования мехатронного коленного модуля во многом определяется системой управления. Коллективом сотрудников Самарского университета ведётся разработка системы управления макетом гидравлического мехатронного коленного модуля.

Исходя из цикла ходьбы человека, коленный модуль должен обеспечивать несгибаемость колена во время периода одиночной и двойной опоры и одновременно хорошую сгибаемость на стадии переноса. Дополнительно по окончании стадии переноса во время выпрямления ноги должно быть обеспечено торможение процесса выпрямления во избежание удара в коленном суставе протеза [1-2].

Данная система управления рассматривается в составе модели хождения с двумя коленными модулями, реализованной в программном пакете Simcenter AMESim [3].

В результате моделирования получены переходные процессы изменения давлений в полостях гидроцилиндра, а также 3-D модель динамики ходьбы, по которой можно судить о качестве движений с коленными модулями, результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Результаты симуляции цикла ходьбы с двумя коленными модулями



Результаты моделирования позволяют сделать вывод о устойчивости ходьбы, а также о корректном поведении коленных модулей в периодах опор и переноса протезов в процессе ходьбы. Однако для реализации других режимов работы коленного модуля, таких как подъём и спуск по ступеням требуется дальнейшее улучшение гидросистемы и системы управления, что планируется реализовать в дальнейшем.

Благодарности

Работа выполнена в рамках реализации Программы развития Самарского университета на 2021- 2030 годы в рамках программы «Приоритет-2030» при поддержке Правительства Самарской области (соглашения № ПР-СОФ/02-2023 от 14 апреля 2023 г.).

Литература

1. Дубровский В.И. Биомеханика [Текст]. Учебник для высших и средних заведений. / В.И. Дубровский, В.Н. Федорова – М.:ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003. -672 с.
2. Н. Uustal. Essential Physical Medicine and Rehabilitation. [Текст] / Н. Uustal, G. Cooper. – Totowa, NJ: HumanaPress, 2006.
3. Гимадиев, А.Г. LMS Imagine.Lab AMESim как эффективное средство моделирования динамических процессов в мехатронных системах / А.Г. Гимадиев, П.И. Грешняков, А.Ф. Синяков. – Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2014. – 138 с.

Синтез гибкого механизма (compliant mechanism) коленного сустава медицинского экзоскелета

А.В. Капустин

*Саровский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, г. Саров,
Россия, avkapustin1@mephi.ru*

Synthesis of the knee joint compliant mechanism of a medical exoskeleton

Alexandr V. Kapustin

*Sarov Physics and Technology Institute MEPHI, Sarov, Russia,
avkapustin1@mephi.ru*

Традиционные механизмы, которые нам известны и находят широкое применение, состоят из твёрдых звеньев, соединённых определённым образом кинематическими парами. Такое соединение допускает требуемое относительное движение, а степень свободы кинематической пары и последовательность соединения звеньев характеризует сам механизм. Наука «Теория механизмов и машин» обладает в настоящее время обширными знаниями чтобы описывать строение, синтез и анализ механизмов с твёрдыми звеньями.

Однако механизмы могут иметь и другой тип строения. Если придать звеньям гибкость, наделять определёнными переменными сечениями и «сплести» их в определённую структуру мы получим гибкий (упруго-податливый) механизм, воспроизводящий соответствующие движения его твердотельному аналогу. В англоязычной литературе такие гибкие механизмы получили название compliant

mechanism (соответствующий механизм). Примерами наиболее яркой, современной реализации гибких механизмов являются: 2 DOF pointing mechanism; безвоздушное колесо Мишлен; коронарный стент; микроэлектромеханические системы гироскопа и шаговых муфт и др. Гибкие механизмы имеют ряд преимуществ, которые можно использовать при синтезе механических конструкций ортезов и экзоскелетов человека.

В работе разбирается подход, при котором можно разработать гибкий аналог ортеза коленного сустава человека и применить его в медицинском экзоскелете человека.

На начальном этапе проектируется конструкция обычного твердотельного механизма с винтовым приводом, используя известные методы структурного и кинематического синтеза теории механизмов. Далее осуществляется последовательная замена твердых звеньев и неподвижных кинематических пар соответствующими гибкими звеньями, имеющими переменную гибкость по длине за счёт переменного сечения. В результате был получен гибкий, упруго-податливый механизм кинематически эквивалентный коленному суставу человека.

В работе приводится описание синтеза гибкого механизма и рассматривается МКЭ-модель сгибания гибкого звена.

Литература

1. Compliant mechanisms research [Электронный ресурс]. – url: <https://www.compliantmechanisms.byu.edu/> (дата обращения 22.09.2023)
2. Капустин, А. В. Гибкие механизмы как перспективное развитие аддитивных технологий / А. В. Капустин, А. Н. Панков, М. П. Калинин // Математика и математическое моделирование: Сборник материалов XVII Всероссийской молодежной научно-инновационной школы, Саров, 05–07 апреля 2023 года. – Саров: Общество с ограниченной ответственностью "Интерконтакт", 2023. – С. 324-326. – EDN XYIEWI.

Алгоритм генерации траектории биопринтера для заполнения глубоких дефектов сложной формы

А.А. Левин^{1,2}, А.А. Воротников^{1,2}, Ю.В. Подураев^{1,2}

¹МГТУ «СТАНКИН», Москва, Россия

²МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России, Москва, Россия,
levin.alexandr.stankin@gmail.com, aavorotnikov90@gmail.com

Algorithm for generating a bioprinter trajectory for filling deep defects of complex shape

Aleksandr A. Levin^{1,2}, Andrey A. Vorotnikov^{1,2},
Yuri V. Poduraev^{1,2}

¹Moscow State University of Technology «STANKIN», Moscow, Russia

²A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow,
Russia, levin.alexandr.stankin@gmail.com, aavorotnikov90@gmail.com

Актуальной задачей в направлении *in situ* биопечати кожи является разработка алгоритма заполнения глубоких (от 1 до 5 см глубиной) раневых объёмов сложной формы, подобные дефекты являются следствием, например, минно-взрывных ранений или диабетических язв. Существующие же способы предполагают заполнение плоских дефектов (до 1 см глубиной) [1,2], в которых заполнение производится повторением нижнего слоя, а модели заполнения объёма не учитывают окрестность раны [3].

На вход такого алгоритма подаётся трёхмерная модель дефекта, а выходными данными является управляющая программа биопринтера, при этом необходимо вычислить также и ориентацию сопла биопринтера, что улучшает качество печати. Кожа имеет слоистую архитектуру, поэтому для улучшения заживления предполагается, что напечатанные слои должны повторять слои кожи. Целью данной работы была разработка такого алгоритма.

Для упрощения алгоритма, но возможности его применения в большинстве случаев были сделаны следующие допущения:

- наклон поверхности дефекта составляет менее 30 градусов;
- проекция отсканированной раневой поверхности на плоскость XY не является самопересекающейся;
- нанесение материала наносится последовательно слой за слоем, при этом не происходит обрушения или заваливания материала;
- генерация слоёв соответственно слоям кожи способствует качественному заживления.

Для достижения цели сформированы следующие задачи:

- определение нижней поверхности раны;
- определение области реконструкции;
- построение поверхностей заполнения;
- построение заполнения слоя.

Обычно поверхность раны обладает достаточно сложным рельефом, в следствии сложности строения тканей организма. Поэтому для упрощения печати, в качестве первого используется слой, который получен с помощью трёхмерного фильтра гаусса. Чтобы избежать пересечения траектории с поверхностью раны, полученная поверхность переносится вверх.

Предполагается, что верхняя поверхность заполнения должна повторять поверхность окрестности раны. Для генерации такой поверхности можно использовать метод нахождения выпуклого многоугольника. В данном подходе происходит определение вектора, характеризующего направление главного изгиба. Затем производится построение сечений поверхности, перпендикулярных найденному вектору. В каждом сечении, содержащем отсутствующую область, производится вычисление сплайнов, построенных по точкам. Затем из полученных сплайнов реконструируется ожидаемая поверхность.

Остальные поверхности находятся как средние между полученными верхней и нижней поверхностью, находящиеся на расстоянии высоты слоя друг от друга.

Также был предложен алгоритм минимизации расстояния перехода, позволяющий в большинстве случаев существенно снизить расстояние перехода, уменьшая таким образом общее время нанесения материала.

Для генерации траектории сначала вычислялся шаблон заполнения, например, сетка, затем производилось ортогональное проецирование вдоль оси Z . Также приведены расчёты ориентации сопла и генерация управляющей программы биопринтера.

Разработанный алгоритм работает в рамках допущений, но требуется дальнейшее развитие с целью расширения возможностей. Одним из перспективных направлений является перенос шаблона заполнения на поверхность слоя не ортогональным проецированием вдоль одной оси, а с сохранением расстояний между точками шаблона.

Литература

1. Kartseva A.A. et al. Planning the Trajectory of a Collaborative Robot for Bioprinting // *Mekhatronika, Avtom. Upr.* 2022. Vol. 23, № 12. P. 643–650.

2. Fortunato G.M. et al. Robotic platform and path planning algorithm for in situ bioprinting // Bioprinting. 2021. Vol. 22. P. e00139.
3. Lian Q. et al. Path planning method based on discontinuous grid partition algorithm of point cloud for in situ printing // Rapid Prototyp. J. 2019. Vol. 25, № 3. P. 602–613.

СЕКЦИЯ «КОСМИЧЕСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Ремонтопригодность лунных роботов

А.В. Каленик¹, О.А. Сапрыкин², О.В. Толстель¹

¹*БФУ им. И. Канта, Калининград, Россия, sasharewq@mail.ru,
tolstel.oleg@mail.ru*

²*ГЕОХИ им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия, oleg.sapr@gmail.com*

Repairability of lunar robots

Alexander V. Kalenik¹, Oleg A. Saprykin², Oleg V. Tolstel¹

¹*Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, sasharewq@mail.ru,
tolstel.oleg@mail.ru*

²*Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, RAS, Moscow,
oleg.sapr@gmail.com*

Авторами рассматривается задача разработки роботов для обслуживания на поверхности Луны научной аппаратуры [1, 2]. Ранее ими были выполнены работы по разработке и изготовлению прототипа космического торсового антропоморфного робота для работы на внешней поверхности МКС, успешно проведены его комплексные функциональные и термовакуумные испытания с имитацией солнечного внешнего теплового потока [3]. На основе полученных результатов была откорректирована концепция робота для работы на лунной поверхности [4], в частности, на примере использования для лунного эксперимента «Нейтроний», предложенного учёными НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова [5].

Длительность эксплуатации роботов должна быть сопоставима с длительностью эксплуатации обслуживаемой ими аппаратуры, а в случае с «Нейтронием» этот ресурс составляет порядка 10 лет. Таким образом, роботы также являются объектами обслуживания. Причём рассматривается вариант без непосредственного участия человека.

В процессе работы стало очевидным, что ремонтопригодность лунных роботов и требования к их модульности непосредственно зависят от возможности грузопотока с Земли на Луну [6]. Авторами предлагается концепция реализации грузопотока с Земли на Луну (и обратно) с помощью орбитальных окололунных станций, базирующихся на низкой круговой орбите высотой 100-200 км. Баллистические расчёты для станции базирования роботов на поверхности

Луны с опорной околоземной орбиты до низкой окололунной орбиты подтверждают возможность доставки грузов к Луне буксирами на малой тяге с солнечной энергетикой с использованием имеющихся в России электроракетных двигателей (в частности, двигателей разработки ОКБ «Факел»). Один цикл полёта буксира к Луне и обратно на опорную околоземную орбиту при размерности доставляемого логистического модуля в одну тонну составит 200-300 суток. Процент доставляемого ремонтного оборудования в рамках логистического модуля, судя по статистике грузов на космические станции, не будет превышать 10% от общей массы грузов. Это, в свою очередь, означает, что для всех роботов лунной «базы» вряд ли можно рассчитывать на грузопоток более 100 кг в год.

В проекте ЦНИИ РТК «Робот-геолог» даётся оценка массы многофункционального робота-лунохода в 800-900 кг. Это близко к массам советских роботов «Луноход-1» и «Луноход-2». На этом основании можно полагать, что типовой лунный робот, выполняющий манипуляционные и локомотивные задачи, будет иметь массу около 1000 кг. Таким образом, раз в год рассматриваемая логистическая система будет способна доставить либо один новый типовой робот-луноход (РЛ), либо его запчасти (сменные модули) с массой порядка 100 кг (в составе других грузов на Луну).

Предлагается формально рассматривать конструкцию РЛ на ремонтируемые функциональные узлы (РФУ) с размерностью массы каждого не более 100 кг. Это позволяет проводить целенаправленный анализ ремонтпригодности с непосредственной привязкой к выполняемым узлом функциями. В определённых случаях весь РФУ может полностью заменяться – например, если его ремонт на Луне невозможен (в частности, модуль электронного управления). В остальных случаях заменяемым элементом является лишь часть РФУ – заменяемый модуль (ЗМ).

При разработке конструкторских решений особое внимание уделено соблюдению одновременно трёх условий:

1. Масса ЗМ в рамках РФУ должна быть минимальна.
2. Размерность ЗМ должна соответствовать возможностям имеющихся на борту инструментов - манипуляционных насадок обслуживающего робота.
3. РЛ является также и обслуживающим роботом (ОР).

Для исследования ремонтпригодности была создана электронная 3D модель робота-лунохода с различными вариантами реализации конструкции узлов.

На основе проведённого исследования были сформулированы рекомендации по конструкции отдельных узлов робота (модулей).

Сформулированы рекомендации по использованию механизмов быстрой сборки и разборки. Наличие таких механизмов позволит быстро собирать и разбирать робота (отдельные модули), что в дальнейшем значительно упростит процесс ремонта и обслуживания без непосредственного участия человека.

Литература

1. С.М. Соколов / Роботы для лунной базы // Труды 32-ой Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника», Санкт-Петербург, 2021. – с. 37-45.
2. Saprykin O., Baksheeva E., Safronov V., Tolstel O./ About the concept of using anthropomorphic robots during human exploration of the Moon// ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences., 2016. T. 11. № 16. С. 9674-9679.
3. ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы». Отчёт о ПНИЭР «Разработка основных функциональных и мехатронных систем роботов для космического и напланетного использования» по теме «Разработка, изготовление и исследовательские испытания основных функциональных и мехатронной систем ПАТ», 2016, 541 с.
4. Saprykin O., Tolstel O. /Robots for a detailed study of moon// Journal of Computational and Theoretical Nanoscience., 2019. T. 16. № 12. С. 5287-5297.
5. Сапрыкин О.А., Толстель О.В., Каленик А.В. "Об использовании роботов на Луне при создании крупногабаритного детектора частиц высоких энергий «Нейтроний» // 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика», Москва, МАИ, 2020. – с. 116-118.
6. А.В. Каленик, О.А. Сапрыкин. Исследование технических решений, обеспечивающих ремонтпригодность космических напланетных роботов, на примере робота-манипулятора ДР-1 / Фундаментальные и прикладные исследования в области высоких технологий: сб. научн. тр. под ред. А. Д. Быковой. — Калининград : Издательство БФУ им. И. Канта, 2023. — Вып. 1. — с. 96-106.

Применение методологии TDD при разработке программного обеспечения для космических аппаратов

Д.М. Гамков

*ФГБУН Институт Космических Исследований РАН, Москва, Россия,
danila_gamkov@cosmos.ru*

TDD application in build-in software development for spacecrafts

Danila M. Gamkov

Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia, danila_gamkov@cosmos.ru

В последнее время в ракетно-космической отрасли активно внедряются гибкие методологии разработки программного обеспечения (agile), которые уже давно используются в IT-индустрии [1].

Одним из приемов agile является разработка через тестирование (TDD). TDD (test driven development) – методология разработки программного обеспечения, которая основывается на повторении очень коротких циклов разработки [2]:

1. Написание теста, покрывающего реализацию будущего программного кода;
2. Создание программного кода;
3. Проверка программного кода на прохождение теста.

Несмотря на то, что TDD сейчас активно применяется в разработке ПО, в среде разработчиков программного обеспечения до сих пор существуют значительные разногласия по поводу целесообразности ее использования. Также, во встраиваемых системах существует ряд широко известных ограничений для ее внедрения:

1. Небольшое количество памяти ОЗУ, где можно разместить тестовый стенд вместе с тестами;
2. Невысокая производительность микроконтроллеров, устойчивых к специальным факторам космического пространства, что резко увеличивает время прохождения всех тестов перед каждым изменением программного кода;
3. Взаимодействие разрабатываемого ПО с нестандартным оборудованием, к которому нет доступа или доступ ограничен.

В докладе исследуется влияние TDD на качество программного обеспечения, а также возможность применимости TDD для бортовых систем космических аппаратов на примере разработки прототипа

системы сбора и обработки данных на базе радиационно-стойкого микроконтроллера 5023BC016 российского производства.

Литература

1. Stackoverflow [Электронный ресурс]. URL: <https://stackoverflow.blog/2021/05/11/testing-software-so-its-reliable-enough-for-space/> (дата обращения 10.07.2023).
2. Grenning, J. W. Test Driven Development for Embedded C, Pragmatic Programmers, 2011.

Микроробототехнический комплекс для инспекции космических аппаратов

Н.Н. Болотник¹, В.Г. Чашухин¹, А.А. Жуков², А.С. Дмитриев³

¹*Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия*

²*Московский авиационный институт, Москва, Россия, and zhukov@mail.ru*

³*Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия*

Micro robotic complex for spacecraft inspection

Nikolay N. Bolotnik¹, Vladislav G. Chashchukhin¹,

Andrei A. Zhukov², Alexander S. Dmitriev³

¹*Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS, Moscow, Russia*

²*Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia, and zhukov@mail.ru*

³*National Research University MPEI, Moscow, Russia*

Проведение инспекционных работ на орбитальной станции в рамках внекорабельной деятельности космонавтов всегда сопряжено с рисками для человека. В этой связи разработка и применение микроробототехнических комплексов для инспекции внешних поверхностей орбитальных станций, например, МКС или РОС, является задачей актуальной.

Цель работы: создание микроробототехнического инспекционного комплекса космического назначения, включающего в себя несколько микроробототехнических средств (микророботов) с единой системой управления. Для достижения поставленной цели необходимо разработать микроробототехническую базовую платформу, обеспечивающую надежное перемещение микророботов в условиях

орбитального полета, систему управления микророботами, информационную систему всего микроробототехнического комплекса, провести испытания комплекса в земных условиях.

Микроробототехническое средство (микророботы) эксплуатируется вне герметичного отсека (ГО) орбитальной станции, а пункт управления и контроля с системой дистанционного управления расположен внутри ГО. Система дистанционного управления включает выносной блок с микромодулем беспроводного приема и передачи данных и выносной антенной, автономную систему обеспечения теплового режима выносного блока и экранно-вакуумную теплоизоляцию выносного блока, а также источник питания системы управления, блок управления и контроля. Предусмотрены два режима функционирования – интерактивный (с участием космонавта) и автономный. В интерактивном режиме космонавт управляет микророботами из ГО. Таким образом осуществляется перемещение роя микророботов и оценка состояния инспектируемой поверхности. В автономном режиме каждый микроробот передвигается по заданной траектории и производит сбор информации с возможностью накопления и хранения данных в энергонезависимом запоминающем устройстве микроконтроллера [1]. Каждый микроробот содержит базовую платформу с размещенной на ней служебной и целевой аппаратурой. Базовая платформа микроробота представляет собой твердую пластину с термоактюаторами. В выключенном состоянии термоактюатор деформирован. При нагревании термоактюатор распрямляется. Перемещение осуществляется последовательной деформацией термоактюаторов [2].

Проведен анализ потребляемой мощности блоков микророботов. Минимальные значения мощности соответствуют стандартным коэффициентам усиления блоков и элементов компьютерного и телекоммуникационного оборудования на рабочих частотах от 2,5 МГц до 2,5 ГГц. Допустимые коэффициенты усиления предполагают устойчивую доступность сигналов на расстояниях до 0,5 км.

Таким образом, предложена концепция микроробототехнического комплекса космического назначения, предназначенного для осуществления инспекции на орбитальных станциях. Предложены конструкция транспортной базовой платформы микроробота и состав бортового оборудования. Из анализа полученных данных потребляемой мощности можно сделать вывод, что максимальная мощность вполне реализуема при сегодняшнем развитии компонентной электронной и оптоэлектронной базы и схемотехники. Наиболее сложная задача при реализации микроробототехнического

комплекса – размещение микроминиатюрной бортовой аппаратуры на базовой платформе микроробота.

Литература

1. А.А. Жуков, В.Н. Калитурин. Космический мобильный робот-инспектор. Опубл.: 15.11.2022. Бюл. № 32. Патент РФ 2783640
2. Н.Н. Болотник, В.Г. Градецкий, А.А. Жуков, Д.В. Козлов, И.П. Смирнов, В.Г. Чащухин. Мобильный микроробот космического назначения: концепция и перспективы использования // Космические исследования. 2019. Т. 57. № 2. С. 132-138

Анализ влияния способа имитации пониженной гравитации на достоверность оценки динамики взаимодействия колесного движителя планетохода со слабосвязанным грунтом

А.И. Быков, А.В. Артемьев

*Филиал АО «НПО Лавочкина» в г. Калуга, Калуга, Россия,
bykovartem1994@yandex.ru, arav@laspace.ru*

The effect of the reduced gravity simulation method on the interaction dynamics of the planetary rover wheel with loosely connected ground

Artem I. Bykov, Artem V. Artemev

*Affiliate of Lavochkin Association, Kaluga, Russia,
bykovartem1994@yandex.ru, arav@laspace.ru*

При проектировании ходовой части планетоходов чрезвычайно важно учитывать динамику взаимодействия колесных движителей с грунтом [1][2]. Как для наземных транспортных средств, так и для планетоходов исследование динамики взаимодействия колесных движителей осуществляется на специальном стендовом оборудовании [3][1]. Однако при проведении данных экспериментальных исследований для планетоходов выполняется имитация пониженной гравитации путем обезвешивания [4].

В работах [2] и [5] проводилось сравнение результатов экспериментальных исследований динамики взаимодействия колесного дви-

жителя с использованием обезвешивание на Земле и имитации пониженной гравитации на борту летающей лаборатории. Результаты данных исследований показали, что при проведении экспериментов на борту летающей лаборатории обеспечивается большая достоверность в части оценки таких параметров как осадка колеса в грунт и коэффициента буксования. Данный эффект достигается ввиду того, что имитация пониженной гравитации действует не только на колесо, но и на сам грунт.

На основе результатов экспериментальных исследований, полученных в работе [5], в статье [6] было показано, что несоответствие коэффициента буксования при обезвешивании колеса на Земле и коэффициента буксования, полученного при имитации пониженной гравитации на борту летающей лаборатории, вызвано различием величин осадки колеса в грунт.

Для обеспечения соответствия осадки колеса в грунт при проведении экспериментальных исследований на Земле и на летающей лаборатории предлагается использовать подход масштабного моделирования. Данный подход позволит повысить полноту экспериментальных исследований динамики взаимодействия колесного двигателя с грунтом, а также обеспечит большую достоверность полученных результатов.

Литература

1. Кемурджиан А.Л., Громов В.В., Кажукало И.Ф. и др. Планетоходы. М.: Машиностроение, 1993. 400 с.
2. L. Kovacs, B. Ghotbi, F. Gonzalez, P. Niksirat, K. Skonieczny, J. Kovacs Effect of gravity in wheel/terrain interaction models// Journal of Field Robotics 37(5):754–767, 2020.
3. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей// М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
4. Artemev A.V., Sova A. N., Bykov A.I. Results of analysis of experimental ground testing methods of planetary rovers// EXTREME ROBOTICS.2019. №1. P.391-397.
5. Taizo Kobayashia, Hidetoshi Ochiaia, Junya Yamakawab, Shigeru Aokic, Kai Matsuid, and Akira Miyaharad Mobility Characterization of Planetary Rover in Reduced Gravity Environment / AIP Conference Proceedings 969, 769 (2008).
6. Быков А.И. Результаты сравнительного анализа влияния способов имитации пониженной гравитации на динамику взаимодействия колесного двигателя с грунтом/«Двойные технологии» №3 (100) 2022 г. С. 50-54.

Влияние баллистической структуры орбитальной группировки космических аппаратов на результаты применения многоспутниковой системы наблюдения за морскими объектами

М.И. Калинов¹, 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*

The influence of the ballistic structure of the orbital grouping of spacecraft on the results of the application of a multi-satellite system for observing marine objects

Michael I. Kalinov¹, 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*

Моделировалось невозмущенное движение 12 больших космических аппаратов (БКА) и 48 малых космических аппаратов (МКА) (6 групп по 8 МКА в группе) космических систем, решающих задачу наблюдения за морскими объектами, при наклонениях орбит – 67 градусов, высотах орбит – 500 км, ширине полос обзора БКА и МКА – 1500 км и 400 км соответственно [1]. Время устаревания данных для задачи слежения (Т уст.) – 0,5 и 1,5 часа (рисунок).

При прогнозировании результатов различных вариантов применения многоспутниковой космической системы наблюдения за морскими объектами (МСНМО) с МКА изменялись углы между плоскостями орбит первых МКА в группе α ($\alpha = 10, 30, 60$ град.) и углы сдвига по долготе восходящего узла каждого МКА в группе β ($\beta = 0, 10, 20, 30$ град.).

Анализ полученных данных показал, что МСНМО с 48 МКА позволяет решать задачи наблюдения за морскими объектами с результатами не худшими, а иногда и лучшими по сравнению с космической системой, орбитальная группировка (ОГ) которой состоит из 12 БКА (таблица) [2].

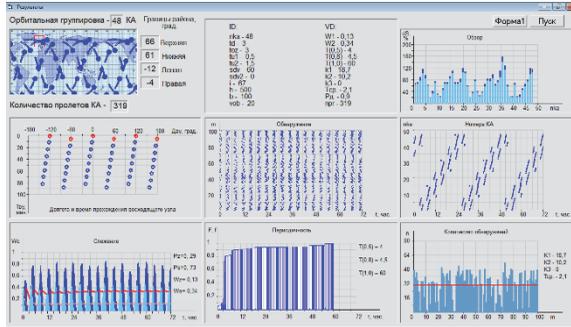


Рисунок 1 — Результирующая форма отображения информации при прогнозировании результатов применения МСНМО в районе Северо-Восточной Атлантики (вариант)

Таблица 1 — Сравнение результатов прогноза применения космических систем наблюдения за морскими объектами при орбитальных группировках 12 БКА/48 МКА

Район	Углы α/β , град.	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	60/20	0,56/0,66	0,99/0,94	1,5/1,5	52,7/44,0
Средиземное море	30/20	0,27/0,32	0,76/0,85	3,5/2,5	16,2/19,6
Тихий океан	60/20	0,34/0,42	0,79/0,91	2,5/1,5	20,1/26,0

При других вариантах баллистической структуры результаты применения МСНМО будут существенно ниже. Поэтому построение единой баллистической структуры ОГ МКА, максимально результативно решающих задачу наблюдения за морскими объектами в различных районах Мирового океана, достаточно проблематично.

Литература

1. Основы теории полета космических аппаратов. Под ред. Нариманова Г.С., Тихонравова М.К. – М.: «Машиностроение», 1972.
2. 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.

О разработке средств моделирования причаливания для перспективной российской космической станции

А.В. Яскевич

ПАО «ПКК «Энергия», г. Королев, Россия, Andrey.Yaskevich@rscce.ru

On development of berthing simulation facilities for perspective Russian space station

Andrey V. Yaskevich

RSC Energia, Korolev city, Russia, Andrey.Yaskevich@rscce.ru

Применение большого, транспортирующего манипулятора космической станции для причаливания, т.е. стыковки и перестыковки отдельных модулей позволяет обеспечить ее обновление и практически неограниченное время эксплуатации. Для выполнения механического соединения, которое требует высокой точности позиционирования, в контур управления включается оператор. Из-за невозможности корректной компенсации сил гравитации, действующих на каждое звено манипулятора и на переносимый полезный груз, частичная наземная отработка таких операций с использованием реального манипулятора возможна только на плоскостных стендах. При этом не воспроизводятся реальная траектория движения и пространственная податливость исполнительного механизма, обусловленная деформацией его элементов. В связи с этим значительную роль при отработке операций роботизированной стыковки играет математическое моделирование, которое при наличии оператора в контуре управления должно выполняться в реальном времени.

Моделирование причаливания в реальном времени исторически первым было реализовано как гибридное, на 6-степенном стенде с использованием математических моделей манипуляторов и реальных стыковочных агрегатов (стыковки блока научной аппаратуры манипулятором корабля «Буран», спутника ICM к МКС манипулятором SRMS корабля Space Shuttle, модуля МИМ1 к МКС манипулятором SSRMS, шлюзовой камеры к МКС манипулятором ERA). Для отработки выполняемых манипулятором ERA сборочных операций с различными механическими интерфейсами, был разработан компьютерный стенд моделирования в реальном времени. Он использовался для выбора параметров управления, тренировки операторов и анализа выполнения реальных летных операций.

Гибридное моделирование из-за своей сложности позволяет оценить ограниченное число вариантов при малом объеме измеряемой

информации и не подходит для тренировки операторов. Оно может применяться для подтверждения возможности стыковки с помощью манипулятора и уже разработанных и изготовленных стыковочных агрегатов.

В отличие от него математическое моделирование может сопровождать весь жизненный цикл операции от ее проектирования до летных испытаний, обеспечивает возможность получения максимального объема информации о функционировании подсистем, а также тренировку операторов. Однако существующие модели динамики манипуляторов разрабатывались в условиях дефицита вычислительных ресурсов и времени. Для поддержки проектирования, отработки и сопровождения новых операций роботизированной стыковки они должны быть усовершенствованы.

Для этого необходимо разработать новую версию компьютерного стенда моделирования в реальном времени. Его математической основой могут служить алгоритмы, представленные в [1], модели новых приводов и алгоритмы управления верхнего уровня, модель динамики контактного взаимодействия стыковочных агрегатов. Все модели должны быть оптимизированы по быстродействию с помощью специализированной системы символьных преобразований и/или частичного распараллеливания вычислений. Компьютер для расчета динамики процесса стыковки должен работать под управлением многоядерной операционной системы реального времени. Необходимо разработать программное обеспечение для визуализации изображений прицельной и обзорных телекамер на основе 3D-моделей новой станции и для дополнительной визуализации контактного взаимодействия стыковочных агрегатов на основе их каркасных геометрических моделей.

Литература

1. Яскевич А.В., Леонтьев В.А. Уравнения динамики исполнительного механизма космического манипулятора с деформируемыми звеньями. // В Сб. трудов XIII Всероссийского съезда по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. 21-25 августа 2023 г. Санкт-Петербург, Россия. – 2023. – 3 С.

Поисковые разработки проектного облика мобильных платформ для лунной базы

М.И. Маленков¹, В.А. Волов¹, А.Н. Богачев¹, Н.К. Гусева¹,
Е.А. Лазарев¹, А.Т. Базилевский²

¹АО НТЦ РОКАД, Санкт-Петербург, Россия, info@rocad.ru

²ГЕОХИ РАН имени Вернадского, Москва, Россия, atbas@geokhi.ru

Research development of the design of unified mobile platforms for the Lunar Base

Mikhail. I. Malenkov¹, Valery. A. Volov¹, Alexey. N. Bogachev¹,
Natalia. K. Guseva¹, Evgeny. A. Lazarev¹,
Alexander. T. Basilevsky²

¹JS Co Science and Technical Center ROCAD, St. Petersburg, Russia

²Vernadsky Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,
atbas@geokhi.ru

Тема проектирования транспортных средств для планируемой Китаем и Россией Международной Лунной Исследовательской Станции (МЛИС) имеет важное значение потому, что строительство лунных баз является главной космической задачей человечества в XXI веке. Актуальной остается концепция монтажа такой базы на основе цилиндрических модулей, непосредственно на лунном грунте, предложенной коллективом В.П. Бармина еще в 60-х годах прошлого века. Получает развитие также идея «лунных поездов», используемых для дальних лунных экспедиций [1].

Чтобы перейти от описательных к инженерным методам проектирования, авторы рассматривают 4 сценария, которые не могут быть реализованы без мобильных технических средств:

- обследование рельефа и свойств лунного грунта в перспективных районах строительства МЛНС для разработки строительной документации;
- прокладка главной трассы МЛНС, соединяющей место посадки и разгрузки модулей с местом строительства станции;
- разгрузка модулей МЛНС, их транспортировка и монтаж на месте строительства;
- дальняя (свыше 300-400 км в одну сторону) экспедиция на обратную сторону Луны с целью: доставка оборудования и развертывание здесь лунной обсерватории; прокладка высокоскоростной линии связи с МЛНС; геологические изыскания и научные исследования на территориях, примыкающих к трассе.

Для отработки методик проектных исследований, выбран массив Малаперт, расположенный вблизи от Южного полюса, который имеет ряд преимуществ по длительности светового периода в течение лунных суток и по рельефу [2].

За основу проектных исследований взят системный подход и отечественный научно-технический задел школы А.Л. Кемурджиана по созданию самоходных шасси (СШ) советских Луноходов 1 и 2, ходовых макетов перспективных луноходов и марсоходов в советский, а затем и в российский период в рамках международных и отечественных проектов.

Это позволило предложить новые проектные решения, в первую очередь по самоходному шасси, модель которого в упрощенном виде приведено на рис. 1.

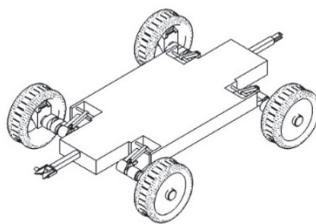


Рисунок 1 — Упрощенная модель самоходного шасси ИМП

В докладе рассмотрены состав и назначение подсистем ИМП, отечественные разработки, которые могут служить аналогами новых технических решений, результаты расчетов основных технических характеристик. Поставлены задачи проектирования новых активных и пассивных автоматических стыковочно – сцепных устройств (АССУ), предназначенных для работы ИМП с различным навесным оборудованием автономно и в составе лунных поездов с гибридным управлением.

Литература

1. Мержанов А. И. Лунная база «Барминград». Воздушно-космическая сфера. 2018. № 2. С. 107-117.
2. Basilevsky A.T. Potential Lunar Base on Malapert: Topograph., Geologic, Traffic. Con.//SSR, 2019, Vol.53, No.5, pp. 383–398

Методика синтеза и применения динамической модели робота, оснащенного упругими манипуляторами

В.М. Копылов, В.В. Титов

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, v.kopylov@rtc.ru

Method of synthesis and application of a dynamic model of a robot equipped with elastic manipulators

Vladislav M. Kopylov, Viktor V. Titov

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, v.kopylov@rtc.ru*

Использование манипуляторов в составе космических объектов, будь то орбитальные станции или отдельные космические аппараты (КА), выполняющие сервисные функции, должно учитывать совместную динамику манипулятора и КА. Использование манипуляторов оцувствленных по усилию, требует создания датчиков силы и момента, чувствительный элемент которых априори является упругим телом. При этом такие манипуляторы позволяют существенно повысить точность выполнения контактных задач, то есть таких, в которых инструмент касается поверхности обслуживаемого объекта [1]. Учет динамики колебаний таких манипуляторов важен при анализе устойчивости системы управления и синтезе фильтров для неё.

Полная система уравнений динамики упругого тела даже в предельно упрощенной твердотельной постановке представляет собой систему линейных дифференциальных уравнений с более чем 1 млн. степенями свободы, и ее решение в реальном времени невозможно. Для корректного учета собственных колебаний манипулятора необходимо использовать редуцированную модель, в которой сохранены только наиболее существенные резонансные частоты. Теория такой редукции известна достаточно давно [2], однако до сих пор не получила широкого распространения. Одна из причин этому – отсутствие достаточно прозрачной методики, объединяющей в себе создание и применение таких моделей при разработке системы управления манипулятором. Имеющаяся литература (например, [3]) приводит строгие доказательства математической обоснованности метода, однако реализация соответствующих действий на практике приводит к необходимости создания собственной САЕ-системы. Документация известных САЕ-систем [4], в то же время, не позволяет получить все исходные данные для редукции, в частности – не удается правильно адресо-

ваться к степеням свободы полной модели, выбранным в качестве интерфейсных точек. Рассматриваемая в настоящей работе методика дает детальные пояснения как по синтезу редуцированной модели, так и по ее практическому применению в модели контура управления.

Методика включает в себя следующие этапы:

- подготовка детальной модели звеньев робота,
- задание интерфейсных точек между звеньями, а также «точек интереса», в которых важно значение силы и момента реакции,
- расчет собственных частот для каждого из звеньев,
- отбор значимых собственных частот,
- формирование редуцированных блочных матриц для каждого из звеньев робота,
- составление уравнений связи между отдельными звеньями,
- составление общей системы дифференциальных уравнений, описывающей колебания конструкции, и позволяющей рассчитать силы и моменты, возникающие между её составными частями,
- подстановка рассчитанных усилий в общую модель динамики управляемого объекта.

В результате редукции уравнение динамики записывается в виде

$$\begin{bmatrix} M_{rr} & M_{rq} \\ M_{rq}^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{r} \\ \ddot{q} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{rr} & 0 \\ 0 & K_{qq} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

где M – матрицы масс, K – матрицы жесткости, r – вектор перемещений в декартовой системе координат или индекс, относящийся к этой системе, q – вектор обобщенных координат колебаний или индекс, относящийся к модальному подпространству, R – вектор усилия в декартовой системе координат (сила и момент реакции). Матричная система (1) распадается на две, первая из которых позволяет рассчитать нагрузки, которые будут затем переданы в модуль общего интегрирования движения, а вторая соответствует колебаниям упругого тела. Благодаря диагональной форме матрицы K_{qq} , уравнения системы (3) полностью независимы, и могут решаться параллельно в разных вычислительных потоках.

$$R = M_{rr}\ddot{r} + M_{rq}\ddot{q} + K_{rr}r \quad (2)$$

$$\ddot{q} + K_{qq}q = -M_{rq}^T\ddot{r} \quad (3)$$

Введение демпфирования по Рэлею [5] не нарушает условий, требуемых для диагонализации матрицы K_{qq} , и позволяет учесть демпфирование в большинстве практических случаев с использованием коэффициентов трения α и вязкого демпфирования β

$$\ddot{q} + \left(\frac{\alpha}{\sqrt{K_{qq}}} + \beta \sqrt{K_{qq}} \right) + K_{qq} q = -M_{r q}^T \ddot{r} \quad (4)$$

Благодарности

Работа выполнена в рамках Государственного задания Минобрнауки России № 075-01595-23-01 1021060307686-0-2.2.2 FNRG-2022-0007 «Исследование методов и технологий сборки крупногабаритных конструкций в космическом пространстве».

Литература

1. Shardyko, I. A force-controlled robotic system for a servicing spacecraft: Concept design and development testing / I. Shardyko, I. Dal-yaev, V. Titov // *Advances in the Astronautical Sciences*, Moscow, 30 мая – 01 2017 года. Vol. 161. – Moscow: Без издательства, 2017. – P. 1077-1085. – EDN XXSSPB.
2. Rixen D. J. A dual Craig–Bampton method for dynamic substructuring // *Journal of Computational and applied mathematics*. – 2004. – Т. 168. – №. 1-2. – С. 383-391..
3. Shabana A. A. *Theory of vibration*. – New York : Springer-Verlag, 1991. – Т. 2. – С. 91-107..
4. Файлы справочной системы Ansys v 18.2. Электронный каталог. URL: https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans_help_v182/, дата доступа 19.09.2023
5. Steven Hale, M.S.M.E, *Damping in ANSYS/LS–Дина* Электронный ресурс. URL: https://cae-club.ru/sites/default/files/users/files/1298/damping_dyna.pdf, дата доступа 19.09.2023

**Разработка алгоритма управления шагающим
космическим роботом с упругими шарнирами
и замкнутой избыточной кинематикой**

И.В. Шардыко, В.В. Титов, В.М. Копылов
*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, i.shardyko@rtc.ru,
vitov@rtc.ru, v.kopylov@rtc.ru*

**Design of Control Algorithm for a Walking Space Robot
with Elastic Joints and Closed Redundant Kinematic Chain**

Igor V. Shardyko, Victor V. Titov, Vladislav M. Kopylov
*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, i.shardyko@rtc.ru, vitov@rtc.ru, v.kopylov@rtc.ru*

Работа посвящена поиску алгоритма перемещения космического робота, общий вид которого сводится к базовому блоку и двум манипуляторам, по такелажным точкам космического аппарата. Основное внимание при этом уделяется случаю замкнутой кинематики, когда схваты обоих манипуляторов зафиксированы на такелажных точках и требуется обеспечить перемещение базового блока. Такой робот обладает упрощённой древовидной структурой [1], что позволяет рассматривать его как композицию двух кинематических цепей, представляющих каждый из манипуляторов. Каждая из цепей обладает семью степенями подвижности, являясь избыточной, совместный же анализ двух манипуляторов даёт многократно избыточную кинематическую цепь.

Отличительной особенностью рассматриваемого робота является упругость его шарниров, что позволяет компенсировать ошибки позиционирования и неточность информации о положении и форме объектов внешней среды [2]. Кроме того, это позволяет измерять момент нагрузки шарниров по деформации упругого элемента посредством датчиков угла поворота. Однако, с появлением упругости каждый шарнир становится недоактуированным, что ведёт к возникновению колебаний при перемещении. Таким образом, алгоритм управления должен предусматривать гашение колебаний при обеспечении разумной длительности переходного процесса.

Среди множества подходов к построению регулятора для управления упругими шарнирами наиболее перспективным для данной задачи выглядит подход с сохранением упругой структуры [3], обеспечивающий пассивность регулятора, физическую интерпретацию

его коэффициентов и низкую степень зависимости показателей качества системы управления от точности знания параметров объекта, в то время как устойчивость системы является независимой от параметров модели. Выбор значений коэффициентов регулятора следует подходу, представленному в [4].

Таким образом, разработанный в работе алгоритм включает решение обратной задачи кинематики и разработку регулятора на основе подхода с сохранением упругой структуры для многократно избыточного робота с замкнутой кинематикой.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России на 2023 год № 075-01595-23-01 «Исследование методов и технологий сборки крупногабаритных конструкций в космическом пространстве» (FNRG-2022-0007, регистрационный номер 1021060307686-0-2.2.2).

Литература

1. Shardyko I. et al. Inverse kinematics solution for robots with simplified tree structure and 5-DoF robot arms lacking wrist yaw joint //Proceedings of 14th International Conference on Electromechanics and Robotics «Zavalishin's Readings» ER (ZR) 2019, Kursk, Russia, 17-20 April 2019. – Singapore : Springer Singapore, 2019. – С. 113-124.
2. Pratt G. A., Williamson M. M. Series elastic actuators //Proceedings 1995 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Human Robot Interaction and Cooperative Robots. – IEEE, 1995. – Т. 1. – С. 399-406.
3. Keppler M. et al. Elastic structure preserving (ESP) control for compliantly actuated robots //IEEE Transactions on Robotics. – 2018. – Т. 34. – №. 2. – С. 317-335.
4. Shardyko I., Samorodova M., Titov V. Development of control system for a SEA-joint based on active damping injection //2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). – IEEE, 2020. – С. 1-6.

Разработка шарнира с переменной упругостью оппозитного типа

И.В. Шардыко, А.В. Васильев, В.М. Копылов
*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, i.shardyko@rtc.ru,
andrey@rtc.ru, v.kopylov@rtc.ru*

Design of a Variable Stiffness Agonist-Antagonist Joint

Igor V. Shardyko, Andrey V. Vasiliev, Vladislav M. Kopylov
*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, i.shardyko@rtc.ru, andrey@rtc.ru, v.kopylov@rtc.ru*

Рассматривается задача создания роботов, обладающих повышенной безопасностью работы в контакте со средой и с человеком, а также повышенной степенью адаптации к условиям задачи [1]. В качестве перспективной технологии выбраны шарниры с переменной упругостью (ШПУ) оппозитного типа, строение которых приближено к мышцам человека.

Появление в цепи передачи движения пружины приводит к тому, что на смену микродеформациям от контактных усилий, характерных для жёстких шарниров, приходят деформации пружин, заметные для датчиков положения. Тем самым, становится возможным измерять усилие контакта, и в конечном счёте управлять им [2]. Через управление величиной деформации также удобно реализовывать и импедансное управление [3]. Обратной стороной внесения упругости в объект управления является то, что система становится недоактуированной [4] (две переменных состояния на один двигатель), а с учётом того, что разработчики стремятся обеспечить в системе минимальное трение, в частности – вязкое, в системе возникают колебания, которые являются нежелательными.

Преимущества оппозитных ШПУ в основном связаны с удобством компоновки в ряде ситуаций (например, шарниры BAVS в звене предплечья манипулятора HASy [5]), с симметричностью схемы в случае двунаправленного варианта реализации, а также с общей схожестью с суставами человека, что позволяет использовать знания из анатомии для разработки регуляторов [6]. К недостаткам данного типа можно отнести то, что положение равновесия и жёсткость меняются одними и теми же актуаторами (двигателями), вследствие чего проявляется взаимовлияние по выходным переменным. Схема шарнира показана на рис. 1.

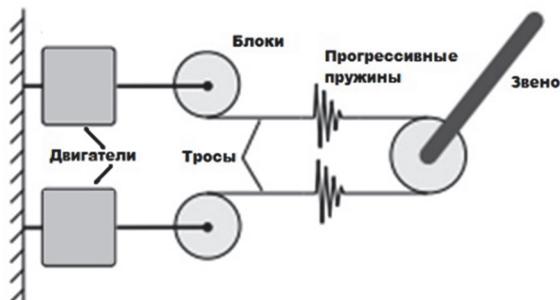


Рисунок 1 — Схема оппозитного ШПУ

Особенностью предложенной конструкции является совмещение функций редуктора и дифференциала при размещении нелинейных упругих элементов между двигателями и редуктором, для чего используется специальная безпорная планетарная передача, подобная [7], обладающая обратимостью. Достоинством схемы является то, что вместо двух редукторов используется один, а упругие элементы работают на малой нагрузке, соответствующей ротору двигателя, обладая меньшими габаритами. Как следствие, при тех же выходных характеристиках габариты шарнира заметно снижаются. Общая компоновка шарнира показана на рис. 2.

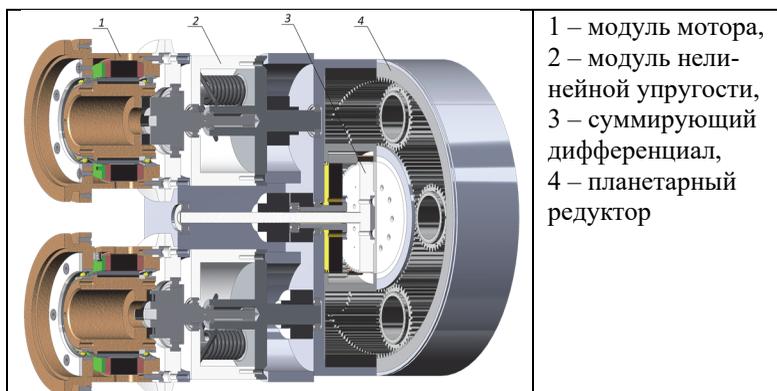


Рисунок 2 — Конструкция предложенного оппозитного ШПУ

В работе также составлена математическая модель ШПУ, предложен алгоритм управления на основе [8] и проведено компьютерное моделирование работы шарнира.

Благодарности

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России на 2023 год FNRG-2022-0009, 1021060307688-8-2.2.2 №075-01595-23-00 «Исследования конструкций и разработка методов управления мехатронными узлами с переменной жесткостью»..

Литература

1. Kazerooni H., Sheridan T., Houpt P. Robust compliant motion for manipulators, part I: The fundamental concepts of compliant motion // IEEE Journal on Robotics and Automation. – 1986. – Vol. 2. – №. 2. – pp. 83-92.
2. 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.
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. Ott C. et al. On the passivity-based impedance control of flexible joint robots // IEEE Transactions on Robotics. – 2008. – Vol. 24. – №. 2. – pp. 416-429.
5. Petit F. et al. Analysis and synthesis of the bidirectional antagonistic variable stiffness mechanism // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics. – 2014. – Vol. 20. – №. 2. – pp. 684-695.
6. Koganezawa K. Mechanical stiffness control for antagonistically driven joints // 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. – IEEE, 2005. – pp. 1544-1551.
7. Brassitos E., Jalili N. Design and development of a compact high-torque robotic actuator for space mechanisms // Journal of mechanisms and robotics. – 2017. – Vol. 9. – №. 6. – pp. 061002.
8. Meng X., Keppler M., Ott C. Elastic structure preserving impedance control of bidirectional antagonistic variable stiffness actuation // 2021 European Control Conference (ECC). – IEEE, 2021. – pp. 263-269.

**Операционно-технологические аспекты использования
коллаборативных роботизированных технологий
и средств при управлении и эксплуатации пилотируемых
космических комплексов в обеспечение автономности
выполнения совместной человеко-машинной
деятельности в пилотируемом космическом полете**

В.А. Дикарев, А.Ю. Кикина, Ю.С. Чеботарев,
А.Н. Симбаев, Ю.С. Агаркова, Э.В. Никитов
*ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», п. Звездный городок, Россия,
V.Dikarev@gctc.ru, A.Kikina@gctc.ru, Y.Chebotarev@gctc.ru,
A.Simbaev@gctc.ru, Y.Agarkova@gctc.ru, E.Nikitov@gctc.ru*

**Operational and technological aspects of the use
of collaborative robotic technologies and tools
in the management and operation of manned space complexes
to ensure the autonomy of performing joint human-machine
activities in a manned space flight**

Vladimir A. Dikarev, Anna Yu. Kikina., Yuriy S. Chebotarev,
Aleksandr N. Simbaev, Yulia S. Agarkova, Eduard V. Nikitov
*STATE Organization «Gagarin Research&Test Cosmonaut Training Center»,
Star City, Russia, V.Dikarev@gctc.ru, A.Kikina@gctc.ru,
Y.Chebotarev@gctc.ru, A.Simbaev@gctc.ru, Y.Agarkova@gctc.ru,
E.Nikitov@gctc.ru*

В интересах эффективной эксплуатации пилотируемых космических комплексов за счет организации контура управления робототехническими системами (РТС) с эффектом сотрудничества предлагается, в проекции на Российскую орбитальную станцию (РОС), исследование направлений отработки коллаборативных роботизированных технологий [1] и создание средств в беспилотном полете и при нештатных ситуациях, а также процессов операционной и информационной поддержки внутрикорабельной и внекорабельной деятельности при ограничениях функциональных возможностей членов экипажа в условиях факторов космического пространства.

Необходимый опыт отработки возможностей использования коллаборативных роботизированных технологий и средств достигим в рамках проведения космических экспериментов. Предложено исследование операционно-технологических аспектов использования коллаборативных роботизированных технологий и средств при

условии ограничения функциональных возможностей членов экипажа в проекте «SIRIUS-23» [2] в рамках направления «Космическая робототехника». Кроме этого, после получения опыта проведения предыдущего этапа проекта «SIRIUS-21», были проведены исследования виртуальной устойчивости космонавтов при управлении РТС антропоморфного типа в виртуальной среде, а также исследования операторской деятельности при управлении движением имитатором планетохода по специальной трассе посредством антропоморфного робота в копирующем режиме телеуправления, выполняемых до и после длительных космических полетов. Анализ результатов показал различия вестибулярной устойчивости и операторской деятельности у контрольной выборки испытателей-космонавтов, что необходимо учитывать при отборе и подготовке космонавтов к выполнению миссии пилотируемого космического полета, а также будет являться актуальным для отбора испытателей-добровольцев в проект SIRIUS.

В целях исследования и апробации в условиях космического полета вышерассмотренных способов и вариантов, а также развития и расширения их возможностей, предложен перечень возможных целевых работ в области исследований робототехнических и интеллектуальных систем для пилотируемых космических полетов в проекции на РОС.

Литература

1. В.А. Дикарев, А.Ю. Кикина, Ю.С. Чеботарев, Э.В. Никитов, М.В. Кондратенко, Ю.С. Агаркова. О возможности отработки коллаборативного использования антропоморфной и манипуляционной робототехнической системы для операционной поддержки внекорабельной деятельности космонавтов // Пилотируемые полеты в космос. –2022. – №3 (44). – С. 69-84.
2. IV этап проекта «SIRIUS». – <http://sirius.imbp.ru>.
3. Применение технологий искусственного интеллекта при взаимодействии космонавтов с робототехническими комплексами в перспективных проектах /Харламов М.М., Карпов А.А., Крючков Б.И., Кикина А.Ю., Дикарев В.А., Усов В.М. // Искусственный интеллект: теоретические аспекты, практическое применение: материалы Донецкого международного научного круглого стола. – Донецк: ГУ «ИПИИ», 2021. – С. 114-119.

**КРУГЛЫЙ СТОЛ «ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ
В РОБОТОТЕХНИКЕ»**

**Перспективы внедрения интеллектуального
распознавания корабельного пожара в задачах
автоматического включения систем пожаротушения
на кораблях ВМФ**

И.В. Образцов

*ФГКВОВУВО ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Санкт-Петербург,
Россия, vunc-vmf@mil.ru*

**Prospects for the introduction of intelligent recognition
of ship fire in the tasks of automatic activation of fire
extinguishing systems on Navy ships**

Ivan V. Obraztsov

*FSKVOUVO VUNC Navy «Naval Academy», St. Petersburg, Russia,
vunc-vmf@mil.ru*

Борьба за живучесть корабля начинается сразу после возникновения аварии, которые могут носить как боевой, так и эксплуатационный характер. Однако, эффективность действий экипажа (аварийной партии) может быть снижена из-за недостатка или полного отсутствия объективной информации о повреждениях, о состоянии помещений и отсеков, его технических средств и т.п. Одновременно с этим, при наличии неполной и противоречивой информации об аварии, личном составе, технических средств и др. бороться за живучесть приходится в условиях дефицита времени на принятие решений и их реализацию. Решением этого противоречия может быть применение интеллектуального распознавания пожара и автоматического включения систем пожаротушения в обеспечении противопожарной защиты кораблей ВМФ.

Для повышения взрывопожаробезопасности кораблей ВМФ устанавливаются современные системы автоматизированного обнаружения пожаров, телевизионного мониторинга корабельных помещений, разрабатываются системы интеллектуальной поддержки БЗЖ, внедряются эффективные автоматизированные системы пожаротушения. Все это позволяет, используя комплекс перечисленных выше систем, отслеживать и контролировать пожар как на начальных стадиях его развития, так и в случае его распространения смежные корабельные

помещения. Соответственно, общепринятая тактика борьбы с пожаром на корабле требует своей корректировки и даже изменения.

Первоочередная задача интеллектуального распознавания пожара в корабельных помещениях заключается в формировании нового облика системы пожарной сигнализации, способной обнаруживать не только возгорания и пожары, но и возникновения пожароопасных ситуаций с обоснованием принципов диагностирования средствами систем контроля пожарной опасности по месту расположения очага возгорания, источнику пожара и его развитию со временем в корабельных помещениях. Решение этой задачи должно реализовываться системой интеллектуальной поддержки борьбы с корабельным пожаром по выбору средств пожаротушения и определением порядка их использования.

Необходимость раннего обнаружения и своевременного предотвращения пожара определяет обоснованно использование технологий искусственного интеллекта, позволяющие поддерживать требуемый уровень пожарной безопасности. Применение технологий искусственного интеллекта, таких как искусственные нейронные сети, позволяют найти новые пути повышения эффективности обнаружения пожара и организовать грамотную борьбу с ним. Применение различных видов нейронных сетей позволяет осуществлять распознавание типа источника возгорания, определение места очага пожара и прогнозирование развития температуры в каждой точке пожароопасного помещения, что повышает оперативность принятия решения по эффективной борьбе с корабельным пожаром.

Основным результатом доклада является обоснование внедрения интеллектуального распознавания корабельного пожара в задачах автоматического включения систем пожаротушения на кораблях ВМФ.

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.

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., Круглеевский В.Н., Гусева А.И., Малыхина Г.Ф. Способ определения местоположения очага пожара с использованием многослойного рекуррентного персептрона. Заявка на изобретение № 2021117160 от 12 декабря 2022 г., патентообладатель: ФГАОУ ВО «СПбПУ».

4. Образцов И.В., Круглеевский В.Н. Методика автоматизированного распознавания пожара в корабельных помещениях. Сборник научных трудов III Научно-практической конференции «Современные технологии автоматизации борьбы за живучесть (АПБЖ-2015)». СПб, Клуб Моряков-подводников и ветеранов ВМФ, 2015.

5. Образцов И.В., Круглеевский В.Н., Дягилев М.В. Усовершенствование тактики борьбы с корабельным пожаром в части обнаружения пожара, выбора и применения средств пожаротушения. Сборник трудов всероссийской научно-теоретической конференции. СПб, ВМПИ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», 2016.

Электрические двигатели с предельным значением удельной механической мощности

С.В. Колодкин¹, Д.А. Вырыханов²

¹ОАО «Электромашиностроительный завод «ВЕЛКОНТ»,

г. Кирово-Чепецк, Россия, sv_kolodkin@velkont.ru

²СГТУ имени Гагарина Ю.А., Саратов, Россия, differentr@mail.ru

Electromechanical systems with extreme dynamic parameters

Stanislav V. Kolodkin¹, Denis A. Vyrykhanov²

¹JSC «Electric Machine-building Plant «VELKONT», Kirovo-Chepetsk, Russia,

sv_kolodkin@velkont.ru

²Gagarin Yu.A. SSTU, Saratov, Russia, differentr@mail.ru

Развитие систем робототехники, применяемой в авиации, вооружении, электротранспорте, и иных приложениях, требует постоянного повышения величины и диапазона регулирования развиваемой электрической машиной (ЭМ) механической мощности [1].

Методология

Согласно каталожным данным синхронных электрических двигателей, с возбуждением от постоянных магнитов, установленных на роторе, можно построить облако зависимостей удельного энергоемкости индуктивностей электрической машины (ее обмоток), отнесенной к массе электрической машины от значения номинальной механической мощности $P_{мех.}$. Для маломощных синхронных электрических двигателей данное облако представлено на рис. 1. Представляет интерес, что данные, представленные на рис. 1 аппроксимируются следующей формулой практически во всем диапазоне мощностей от 0,5 Вт до сотен кВт, а также для двигателей с линейной формой движения якоря:

$$K_W = 0,0002503 \cdot P_{мех.}^{1,016}, \quad (1)$$

где K_W - отношение энергии, накапливаемой в индуктивностях электрической машины к массе, Дж/кг.

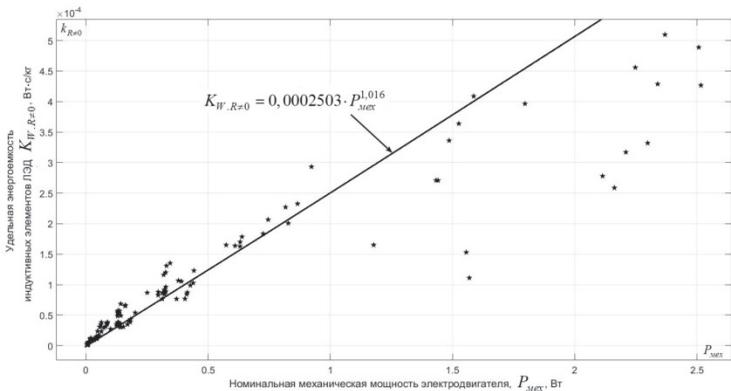


Рисунок 1 — Соотношение удельной энергоемкости и механической мощности синхронных электрических машин

При этом, выявлено, что используя предложенный критерий (1) становится возможно определить удельную мощность электрической машины выражением:

$$\frac{P_{мех.}}{m} = \frac{2K_W}{K_{уст.}} \left(1 - K_{уст.} - \frac{K_e V}{u_{num}}\right) \frac{R}{L}, \quad (2)$$

где m - масса электрической машины; $K_{уст.}$ - отношение номинального тока к его пусковому значению; K_e - отношение противо-ЭДС, индуцируемой на обмотках электродвигателя от скорости вращения; V - скорость вращения ротора; $u_{пит}$ - напряжение питания; R , L - соответственно активное сопротивление и индуктивность обмоток электродвигателя.

Учет выражения (2) при проектировании и формировании алгоритмов управления ЭМ позволяет разрабатывать электроприводные комплексы с повышенными удельными силовыми, скоростными и мощностными показателями.

Литература

1. Матвеев А.В. Тестирование гипотезы о зависимости массы электрических машин от мощности и частоты вращения / Электричество – 2012, №7. С. 4-18.

Алгоритм для расчета максимальной оценки суммарной погрешности лидара робота

Г.К. Тевяшов, М.В. Мамченко
*ИПУ РАН, Москва, Россия, glebtevyashov96@yandex.ru,
markmamcha@gmail.com*

Algorithm for calculating maximum estimation of total error of robot's LiDAR

Gleb K. Tevyashov, Mark V. Mamchenko
*V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia, glebtevyashov96@yandex.ru, markmamcha@gmail.com*

Сформируем и опишем алгоритм расчета максимальной оценки суммарной погрешности (рис. 1), при этом предельные значения составляющих погрешностей выбранных лидаров (в качестве измерительных систем) считаем априори известными (вычисленными) [1, 2].

Вначале осуществляется ввод исходных данных (блоки В.1 и В.2 алгоритма): предельная оценка среднеквадратичного значения систематической погрешности $S_{\Theta \max}(d_j)$ и предельная оценка средне-

квадратичного значения случайной погрешности $S_{v\max}(d_j)$ выбранного технического устройства (лидара), количество составляющих систематической погрешности L , значение коэффициента k (справочные данные), заданная доверительная вероятность P_{conf} , а также количество технических устройств (лидаров) N , а также задается значение счетчика j (блок В.3). Рассчитываются веса (значимости) предельных оценок среднеквадратичных значений случайной и систематической погрешностей соответственно (блоки В.4 и В.5). Устанавливаются средневзвешенные оценки значений систематических и случайных составляющих погрешностей (блоки В.6 и В.7). Наконец, рассчитывается общая средневзвешенная оценка суммарной составляющей погрешности (блок В.8 алгоритма).

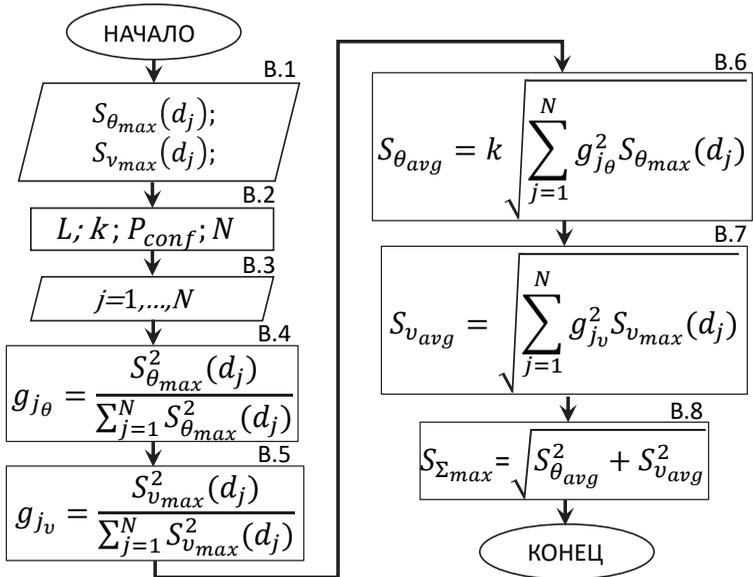


Рисунок 1 — Алгоритм расчета максимальной оценки суммарной погрешности лидара

Предложенный алгоритм расчета максимальной оценки суммарной погрешности, которая не будет превышать точность измерения,

позволяет оценить погрешность измерения технических измерительных систем (лидаров) ещё на стадии разработки для того, чтобы оценка погрешности измерения не превышала задаваемой точности.

Литература

1. ГОСТ Р 8.736-2011. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. 2013. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200089016> (дата обращения: 11.09.2023).
2. Мамченко М.В. Подход и алгоритм оценки допустимых значений отношения сигнал/шум лидаров роботов в условиях внешних воздействий // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2022. – Т. 26, № 3. – С. 129-150.

Комплексный виртуальный огневой стенд

Н.С. Спири^{1,3}, А.В. Корнев³, Д.А. Останко³,
А.С. Козелков^{2,3}, Р.Н. Жучков^{2,3}, В.В. Курулин^{2,3}

¹ПАО ОАК, ОКБ Сухого, Москва, Россия

²ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров, Россия

³ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. П. Е. Алексеева», Нижний Новгород, Россия, spirin_ns@mail.ru

Comprehensive virtual fire test bench

Nikolai S. Spirin^{1,3}, Alexander V. Kornev³, Denis A. Ostankov³,
Andrey S. Kozelkov^{2,3}, Roman N. Zhuchkov^{2,3},
Vadim V. Kurulin^{2,3}

¹United aircraft corporation, Sukhoi Design Bureau, Moscow, Russia

²The Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Scientific Research Institute of Experimental Physics, Sarov, Russia

³Nizhny Novgorod State Technical University after Alekseev, Nizhniy Novgorod, Russia, spirin_ns@mail.ru

Доклад посвящен основным результатам математического моделирования средств пожарной защиты на супер-ЭВМ. Представлен обзор комплексного виртуального огневого стенда (КВОС), реализованного на базе российского пакета программ Логос. Приведены результаты сравнения виртуальных и натуральных испытаний средств

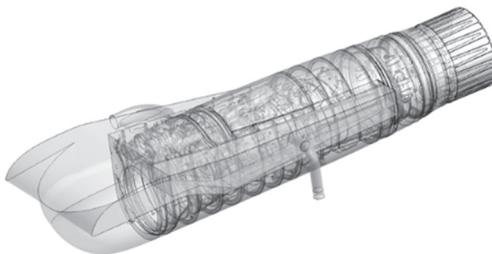
пожарной защиты огневого стенда маневренного летательного аппарата (ЛА) [1].

Доклад содержит: обзорную часть методики трехмерного и одномерного моделирования процессов, протекающих при оценке эффективности средств пожарной защиты; хронологию разработки КВОС; декомпозицию КВОС по физическим процессам; результаты расчетов тестовой модели; результаты виртуального испытания на базе натурального стенда маневренного ЛА.

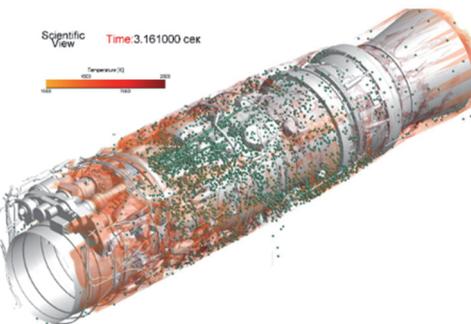
Проект «КВОС» разделен на три части:

- Формирование валидационного базиса.
- Разработка и решение задач валидационного базиса.
- Разработка и проведение виртуальных испытаний натурального стенда маневренного ЛА.

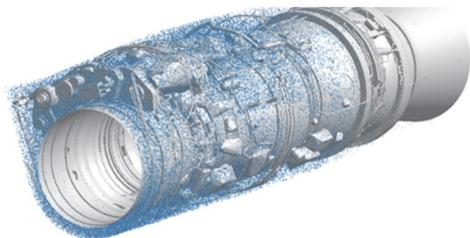
На рис. 1 представлены стенд пожаротушения и основные физические процессы протекающие при виртуальных испытаниях.



а) Геометрическая модель стенда пожаротушения



б) Горение пламени в мотоотсеке стенда пожаротушения



в) Тушение пламени в мотоотсеке натурального стенда с распространением квазичастиц хладона

Рисунок 1 — Основные физические процессы, протекающие при виртуальных испытаниях средств пожарной защиты

Разработана численная методика, позволяющая проводить виртуальные испытания средств пожарной защиты летательных аппаратов на базе натурального огневого стенда.

Благодарности

Министерству Промышленности и торговли Российской Федерации и ФГУП ВНИИ Центр.

Литература

1. «Трехмерное численное моделирование течения огнегасящего вещества в магистрали системы пожаротушения» – Курулин В.В., Пузан А.Ю., Козелков А.С., Спиринов Н.С [1].

Разработка методики моделирования зубчатого зацепления волнового редуктора с применением МКЭ

М.И. Кузьмин, А.Ю. Тамм, И.Г. Прохоренкова
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, m.kuzmin@rtc.ru,
a.tamm@rtc.ru

Developing of a methodology for mesh gear modeling of the harmonic drive using FEA

Mark I. Kuzmin, Aleksandr Y. Tamm, Irina G. Prohorenkova
Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics,
St. Petersburg, Russia, m.kuzmin@rtc.ru, a.tamm@rtc.ru

Волновой редуктор является ключевым компонентом трансмиссии, и представляет собой одноступенчатый редуктор, применяемый

во многих областях промышленности – в промышленных роботах, в системах управления движением, станкостроении, в медицинских роботах. В настоящее время, основным методом для оценки параметров, проектирования и оптимизации конструкции волновых редукторов является моделирование с применением метода конечных элементов. Авторами доклада предлагается новый метод моделирования зубчатого зацепления редуктора, позволяющий сократить время выполнения полноразмерного расчета при исследовании механизма.

В рамках данной работы рассматривается метод моделирования зубчатого зацепления волнового редуктора, при котором для моделирования зубьев и цилиндрической части гибкого колеса используются оболочечные элементы согласно схеме, приведенной на рисунке рис. 1.

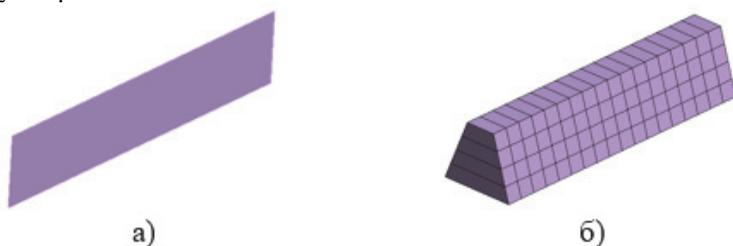


Рисунок 3 — Общий вид зуба при моделировании оболочечными элементами: а) без отображения толщины; б) с отображением толщины

Такая методика позволяет проводить моделирование механизмов с большим количеством зубьев (более 200) в силу существенного уменьшения времени расчета по сравнению с моделированием редукторов при помощи твердотельных элементов. Снижение временных затрат обусловлено существенно меньшим количеством степеней свободы в моделях при допустимой точности решения.

Для определения границ применимости и точности разработанной методики при моделировании зубчатого зацепления, проведены численные эксперименты изгиба одного зуба зубчатого зацепления, выполненного как твердотельными, так и оболочечными элементами. После подтверждения применимости методики проведен расчет контактного взаимодействия для двух зубьев, также выполненных двумя типами элементов, и проведено сравнение полученных результатов с результатами, полученными при помощи аналитических зависимостей.

В дальнейшем, разработанная методика будет использована для полномасштабного моделирования работы волнового редуктора, что позволит проводить комплексные исследования механизма, включающие в себя как определение напряженно-деформированного состояния основных деталей, так и изучение усталостных, шумовых, вибрационных и других эксплуатационных характеристик механической системы при различных режимах работы.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2022-0014 1021051302488-7-2.2.2;2.3.5 № 075-01595-23-04 «Исследование программных и аппаратных способов безопасной и эффективной сортировки радиоактивных отходов по морфологии и активности».

Smart-анализатор воздуха Clear-DI2C

И.А. Сырцов, Л.С. Крыжевич

*ФГБОУ ВО Курский государственный университет, г. Курск, Россия,
ivansyrcov26@gmail.com, leonid@programist.ru*

Smart air analyzer Clear-DI2C

Ivan A. Syrtsov, Leonid S. Kryzhevich

Kursk State University, Kursk, ivansyrcov26@gmail.com, leonid@programist.ru

В настоящее время граждане желают знать, что они вдыхают не пыль, пары аэрозолей и выхлопные газы, попавшие в помещение через открытое окно, а чистый воздух. Быть уверенным, что влажность находится на комфортном уровне, ведь при низкой или слишком высокой влажности наблюдается быстрая утомляемость человека. Хозяева домов с газовыми плитами знают, что в газ добавляют специальные искусственные запахи одорантов. Если произойдет утечка газа, человек сразу почувствует неприятный запах, но если происшествие произойдет ночью или в отсутствие человека, то ситуация станет критической. Для предотвращения подобных рисков следует использовать автоматизированную систему контроля качества воздуха.

В процессе разработки устройства были применены современные технологии и компоненты, что обеспечило получение наиболее точной и актуальной информации о составе газовой смеси. Для этого

были установлены специальные датчики газа, такие как DHT-11, MQ-135 и BMP-280, которые регулярно собирают данные о концентрации различных газов в окружающей среде. Полученная информация отображается на LCD дисплее, что позволяет пользователям быстро и легко оценить уровень опасности газовой смеси. Для получения данных использовался микроконтроллер Atmega 328, а последующая обработка информации велась на Python с использованием технологий искусственного интеллекта. На рис. 1 представлено разработанное устройство.

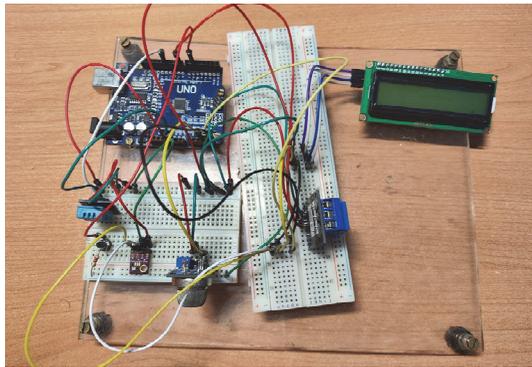


Рисунок 1 — Физическая схема устройства

Литература

1. Using the Arduino platform in robotic development : учебное пособие / А. Е. Кульченко, М. Ю. Медведев ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2022 – 134 с.
2. С++ для профи. — СПб.: Питер, 2021. — 816 с.: ил. — (Серия «Для профессионалов»).
3. Шаблоны С++. Справочник разработчика, 2-е изд.: Пер. с англ. — СПб.: ООО “Альфа-книга”, 2018. — 848 с.: ил. — Парал. гит. англ.
4. DHT11 vs DHT22 vs LM35 vs DS18B20 vs BME280 vs BMP180 [сайт]: URL: <https://randomnerdtutorials.com/dht11-vs-dht22-vs-lm35-vs-ds18b20-vs-bme280-vs-bmp180/> (дата обращения 29.04.2023).
5. Датчики температуры и влажности для Arduino [сайт]: URL: https://kotyara12.ru/iot/th_sensors/ (дата обращения 12.05.2023).

Цифровой двойник коллаборативного робота-манипулятора

К.А. Демидова

СПбГМТУ, Санкт-Петербург, Россия, shmemk@yandex.ru

Digital Twin of a Collaborative Robot-Manipulator

Kristina A. Demidova

*Saint-Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia,
shmemk@yandex.ru*

Разработка систем управления многозвенными роботами-манипуляторами является важной задачей, спрос на которую растет в обучении, промышленности и науке. Несмотря на более высокую стоимость по сравнению с традиционными устройствами, манипуляционные роботы способны гибко конфигурироваться и выполнять широкий спектр задач, включая те, которые ранее были доступны только для человека, что делает их необходимыми в различных условиях [1]. Внедрение цифрового двойника в виртуальную среду, повторяющую реальное окружение манипулятора, дает возможность получить первый реальный опыт программирования и управления самым современным промышленным роботом без необходимости закупки дорогостоящего специализированного оборудования, что снижает затраты и возможные риски, связанные с человеческим фактором. Потенциал освоения новых навыков работы с роботами-манипуляторами в трехмерной среде, в которую пользователь может полностью или частично интегрироваться, является полезным фактором для успешного обучения. Кроме того, такой подход, который позволяет интегрировать другие типы вспомогательных систем, такие как конвейеры, захваты, техническое зрение, другие манипуляторы, в цифровую среду, позволяет предсказать неудачи, снизить затраты на обслуживание, сократить время и стоимость внедрения новых продуктов.

В данной статье рассматриваются методы, позволяющие достичь заданной в исследовании цели, а именно - создать цифровой двойник робота-манипулятора, который может быть использован для симуляции его работы, оптимизации процессов и управления им.

Для достижения гибкости и точности при описании геометрии робота-манипулятора в рамках разработки цифрового двойника были использованы методы решения прямой и обратной задач кинематики [2]. Прямая задача кинематики позволяет определить положение рабочего инструмента робота-манипулятора в пространстве

на основе известных значений угловых положений сочленений. Обратная задача кинематики, в свою очередь, решает проблему определения угловых положений сочленений робота-манипулятора при заданном положении его рабочего инструмента [3].

Использование этих методов позволяет создать модель робота-манипулятора, точно описывающую его геометрию и взаимосвязь между сочленениями. Полученная информация о геометрии и положении робота-манипулятора является основой для дальнейших шагов разработки цифрового двойника.

Для создания 3D-модели робота-манипулятора требуется визуализация его геометрии и связей между звеньями. Это может быть достигнуто с использованием специализированных программных инструментов, таких как CAD-программы или пакеты моделирования 3D-графики. В процессе создания 3D-модели робота-манипулятора необходимо определить геометрические параметры каждого звена, его длину, ширину, высоту, положение относительно других звеньев и центр масс. Эти данные могут быть использованы для визуального представления робота-манипулятора виртуальной реальности. Для создания 3D-модели использовалась специализированная программа Blender 3D и ее инструменты, позволяющие создать детализированную и реалистичную модель робота-манипулятора.

Спроектированная модель коллаборативного робота-манипулятора FANUC CRX-10iA/L была помещена в цифровой полигон в виртуальной трехмерной среде, повторяющий реальную лабораторию промышленной робототехники СПбГМТУ.

Виртуальная реальность (VR) может быть использована для создания интерактивной среды, в которой пользователи могут взаимодействовать с цифровым двойником робота-манипулятора. Пользовательский интерфейс может быть реализован в виде VR-приложения, которое позволяет пользователям управлять роботом-манипулятором, указывать его позицию и ориентацию, изменять значения углов поворотов звеньев и отслеживать его движение в реальном времени. VR-технологии могут предоставить пользователю более удобный и интуитивно понятный способ взаимодействия с роботом-манипулятором, что упрощает его управление и программирование.

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации программы «Приоритет 2030» (№ 075-15-2023-235 от 13.02.2023).

Литература

1. Bohigas O., Zlatanov D., Ros L., Manubens M., Porta J.M. Numerical computation of manipulator singularities. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2012, article number 6225083, pp. 1351–1358.
2. Henderson, Michael E. Multiple Parameter Continuation: Computing Implicitly Defined K-Manifolds, International Journal of Bifurcation and Chaos, 12, No.03, p.451-476, 2002, DOI: <https://doi.org/10.1142/S0218127402004498>.
3. Chablat, Damien & Wenger, Philippe & Bonev, Ilian. Self motions of special 3-RPR planar parallel robot, 2005, DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4941-5_24.

Образовательные решения для программирования в робототехнике на базе виртуального полигона

А.А. Жиленков, Т.Д. Кайнова

*СПбГМТУ, Санкт-Петербург, Россия, zhilenkovanton@gmail.com,
tatiana.kainova@mail.ru*

Educational solutions for programming in robotics based on a virtual polygon

Anton A. Zhilenkov, Tatiana D. Kainova

*Saint-Petersburg State Marine Technical University, St.Petersburg, Russia,
zhilenkovanton@gmail.com, tatiana.kainova@mail.ru*

Виртуальный полигон – это трехмерная среда, имитирующая ту или иную обстановку, учитывая все её условия и ограничения, а также позволяющая задать свои собственные, чтобы узнать, как объект себя поведет в связи с ними. То есть, это набор различных программных средств, позволяющих смоделировать сложные или даже критические ситуации, возникающие при работе с реальным объектом, начиная от движения в непростых условиях и заканчивая аварийными происшествиями, то есть все, чего хотелось бы избежать на практике и заранее предусмотреть [1-4]. Сферы их применения, это маркетинг, развлечения, обучение, медицина и многие другие [5-7].

В пример виртуальных полигонов, существующих и успешно применяющихся на практике, можно привести комплекс виртуального ситуационного моделирования для студентов-криминалистов и юридической сферы.

Другим примером будет геологический полигон, представляющий собой открытый тренажер в виртуальной среде, в котором компактно уместились видеоролики, подробные панорамные фотографии, с возможностью взаимодействия, трехмерные модели и различные способы ведения полевых записей.

В робототехнике же из ярких примеров есть эмулятор Isaac для тренировки роботов в котором средствами графических технологий создается виртуальный мир, предназначенный для обучения роботов. Или Gazebo, 3D-симулятор робототехники с открытым исходным кодом, отлично интегрирующийся с программной платформой ROS (Robot Operating System), что обозначает, что разработанную в нем программу управления виртуальным роботом и ROS относительно несложно перенести на реального робота [7-8].

Основная идея виртуального полигона для обучения программированию в робототехнике основана на аудитории морского технического университета, в котором имеется условное робототехническое устройство с манипулятором, имеющее возможность передвигаться в разных режимах, дублируя собой в виртуальной реальности ряд возможных машин наподобие TurtleBot. В первую очередь, обучение на данном полигоне ориентированно именно на алгоритмизацию и оптимальное построение программы [9-11].

После того как виртуальный полигон полностью спроектирован должна быть реализована логика поведения объектов внутри него и элементы управления робототехническим устройством внутри сцены. Для этого в двумерном пространстве была спроектирована еще одна сцена, которая отвечает за меню, где и будет в дальнейшем составляться пользователем алгоритм. На данной сцене должны присутствовать: кнопки для настройки программы, мини карта, где будет отображаться приблизительный маршрут, и выпадающий список, в котором можно будет определить режим работы разработанного проекта [12-13].

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации программы «Приоритет 2030» (№ 075-15-2023-235 от 13.02.2023).

Литература

1. Андреев, А. Л. Виртуальные и физические модели видеоинформационных систем в статистических экспериментах : учебно-методическое пособие / А. Л. Андреев, В. В. Коротаев, Е. А. Сычева. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2018. — 87 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/136437> (дата обращения: 02.07.2023). — Режим доступа: для авториз. Пользователей.
2. Виртуальная реальность современного образования: идеи, результаты, оценки : материалы конференции / под общей редакцией М. Е. Вайндорф-Сысоевой. — Москва : МПГУ, 2019. — 101 с. — ISBN 978-5-4263-0719-3.
3. Виртуальная реальность современного образования: идеи, результаты, оценки : материалы конференции / под общей редакцией М. Е. Вайндорф-Сысоевой. — Москва : МПГУ, 2017. — 165 с. — ISBN 978-5-4263-0554-0.
4. Системы виртуальной реальности : учебно-методическое пособие / составитель М. П. Осипов. — Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2012. — 48 с.
5. Киселёв, М. М. Робототехника в примерах и задачах / М. М. Киселёв, М. М. Киселёв. — Москва : СОЛОН-Пресс, 2017. — 136 с. — ISBN 978-5-91359-235-4.
6. Зинченко, Ю. П. Психология виртуальной реальности : монография / Ю. П. Зинченко. — Москва : МГУ имени М.В. Ломоносова, 2011. — 360 с. — ISBN 978-5-9217-0051-2.
7. Пахтусова, Н. А. Исследование проблемы становления сетевой идентичности личности в условиях виртуальной образовательной среды : монография / Н. А. Пахтусова, Н. В. Уварина, А. В. Савченков. — Москва : Первое экономическое издательство, 2021. — 234 с. — ISBN 978-5-91292-370-8.
8. Нужнов, Е. В. Мультимедиа технологии : учебное пособие / Е. В. Нужнов. — 2-е изд., перераб. И доп. — Ростов-на-Дону : ЮФУ, [б. г.]. — Часть 2 : Виртуальная реальность, создание мультимедиа продуктов, применение мультимедиа технологий в профессиональной деятельности — 2016. — 180 с. — ISBN 978-5-9275-2171-5.
9. Системы виртуальной, дополненной и смешанной реальности : учебное пособие / А. А. Смолин, Д. Д. Жданов, И. С. Потемин [и др.]. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2018. — 59 с.
10. Джонатан, Л. Виртуальная реальность в Unity / Л. Джонатан ; перевод с английского Р. Н. Рагимов. — Москва : ДМК Пресс, 2016. — 316 с. — ISBN 978-5-97060-234-8.

11. Подвигалкин, В. Я. Робот в технологическом модуле : монография / В. Я. Подвигалкин. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 140 с. — ISBN 978-5-8114-6786-0.

12. Джозеф, Л. Изучение робототехники с помощью Python / Л. Джозеф ; перевод с английского А. В. Корягина. — Москва : ДМК Пресс, 2019. — 250 с. — ISBN 978-5-97060-749-7.

13. Евдокимов, П. В. C# на примерах : учебное пособие / П. В. Евдокимов. — 2-е изд. — Санкт-Петербург : Наука и Техника, 2017. — 320 с. — ISBN 978-5-94387-739-1.

Компьютерный тренажер на базе симулятора вертолета

М.Ю. Серебряков, И.С. Моисеев, А.А. Жиленков
*СПбГМТУ, Санкт-Петербург, Россия, dop3fun@gmail.com,
ilmoiseev@inbox.ru, zhilenkovanton@gmail.com*

Computer trainer based on helicopter simulator

Mikhail Y. Serebryakov, Ilya S. Moiseev, Anton A. Zhilenkov
*Saint-Petersburg State Marine Technical University, St. Petersburg, Russia,
dop3fun@gmail.com, ilmoiseev@inbox.ru, zhilenkovanton@gmail.com*

В современном мире тренажеры играют важную роль в обучении и подготовке специалистов различных профессий, включая пилотов вертолетов. Игровые движки, такие как Unity, предоставляют мощные инструменты для создания реалистичных и функциональных симуляторов.

С ростом сложности техники и увеличением стоимости реальных полетов возрастает потребность в качественных компьютерных тренажерах. Важность безопасности и эффективности обучения пилотов делает актуальной разработку реалистичных тренажеров.

Цель: создание реалистичного тренажера для обучения управлению вертолетом на базе игрового движка Unity.

Задачи: анализ требований к тренажеру, выбор и интеграция внешних зависимостей, моделирование движений вертолета, тестирование и анализ результатов.

В современной литературе и исследованиях выделяют различные типы тренажеров для подготовки и обучения пилотов. В данной статье рассматриваются следующие основные виды: полнопилотажные

[1], устройства летной подготовки [2], тренажеры для настольных компьютеров [3-4].

Анализ популярных игровых движков: Unity, Unreal Engine, CryEngine, Godot Engine.

Использование Unity как основного движка для разработки.

Интеграция динамических библиотек и ассетов для дополнительной функциональности.

Применение математических моделей [5-7] для имитации движений вертолета.

Разработан тренажер, ориентированный на детальное моделирование движений вертолета Aérospatiale Alouette II.

Тренажер предоставляет реалистичный опыт управления вертолетом, сравнимый с такими продуктами как DCS[3] и Microsoft Flight Simulator [4].

Разработанный симулятор успешно сочетает в себе реалистичность и функциональность, обеспечивая эффективное обучение управлению вертолетом.

Несмотря на возможные ограничения и неточности в моделировании, симулятор является ценным инструментом для обучения и тренировки.

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации программы «Приоритет 2030» (№ 075-15-2023-235 от 13.02.2023).

Литература

1. Симулятор вертолета Sikorsky S92: [Электронный ресурс]. // FRASCA. URL: <https://www.frasca.com/products/sikorsky-s92-simulator/>. (Дата обращения 20.04.2023).

2. HELI-SIM – BELL 206/407GX1: [Электронный ресурс]. // Precision Flight Controls. URL: <https://flypfc.com/shop/training-systems/rotary-wing/heli-sim-bell-206-407gx/>. (Дата обращения 20.04.2023).

3. Digital Combat Simulator: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.digitalcombatsimulator.com/>. (Дата обращения 20.04.2023).

4. Microsoft Flight Simulator: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.flightsimulator.com/>. (Дата обращения 20.04.2023).

5. Dang, B. Finite precision modeling of radar digital chaotic systems with dynamical properties analysis / B. Dang, A. Zhilenkov // AIP Conference Proceedings, Tamil Nadu, 27–28 сентября 2018 года. Vol. 2034.

– Tamil Nadu: American Institute of Physics Inc., 2018. – P. 020007. – DOI 10.1063/1.5067350. – EDN VHLXLU.

6. Chen, R. T. N.: Effects of Primary Rotor Parameters on Flapping Dynamics, NASA TP-1431, Jan. 1980.

7. Lisitsa, D. Prospects for the development and application of spiking neural networks / D. Lisitsa, 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. 926-929. – DOI 10.1109/ElConRus.2017.7910708. – EDN XNACWC.

Алгоритмы программы управляющего сигнала силового активного фильтра питания подводных роботов

А.В. Вынгра¹, С.Г. Черный^{1,2}

¹ФГБОУ ВО «КГМТУ», г. Керчь, Россия, *elag1995@gmail.com, sergiiblack@gmail.com*

²СПбГМТУ, Санкт-Петербург, Россия, *sergiiblack@gmail.com*

Algorithms of the program for generating the control signal of a power active filter

Aleksei V. Vyngra¹, Sergei G. Chernyi^{1,2}

¹*KSM TU, Kerch, Russia, elag1995@gmail.com, sergiiblack@gmail.com;*

²*Saint-Petersburg State Marine Technical University, St.Petersburg, Russia, sergiiblack@gmail.com*

Наличие в сети питания автономных подводных аппаратов помех и гармонических составляющих напряжения может привести к нестабильной работе устройства, выходу их строя систем управления и автоматики. Таким образом, соблюдение показателей качества электроэнергии в требуемых пределах при работе морских робототехнических систем является очень актуальной и важной задачей.

В настоящей работе рассмотрен один из этапов проектирования и исследования активного фильтра, устанавливаемого в автономных надводных аппаратах, заключающийся в разработке программного обеспечения его системы управления. Программа является основой работы силового активного фильтра с компенсацией по возмущению. Управляющий сигнал для трехфазной инверторной схемы формируется

путем сравнения заданного компенсирующего и фактического токов, с применением гистерезисного регулятора с обратной связью по току, организованной через аналого-цифровой преобразователь. Результатом работы программы является генерация необходимого управляющего сигнала с широтно-импульсной модуляцией активного фильтра, реализованного на платформах Cortex-M4 и STM32 [1].

Общий вид программируемого устройства приведен на рис. 1. Код программы формируется из следующих последовательных подпрограмм:

1. Подключение функциональных библиотек;
2. Конфигурирование тактирования;
3. Конфигурирование аналого-цифрового преобразователя;
4. Запуск аналого-цифрового преобразования;
5. Цикл инициализации широтно-импульсной модуляции;
6. Конфигурирование таймеров;
7. Конфигурирование и запуск портов ввода вывода;
8. Генерирование тактирующего сигнала инвертора.

Каждый блок программы реализован на языке программирования С. Обратная связь по току формируется через аналого-цифровой преобразователь [2].

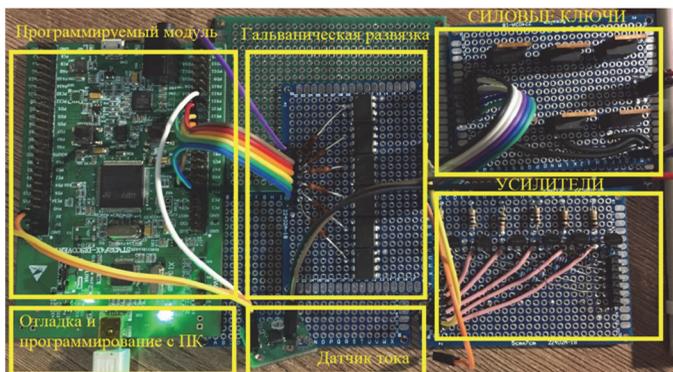


Рисунок 1 — Общий вид программируемого устройства

Таким образом, с применением данной программы трехфазный активный фильтр формирует управляющий сигнал для силовых ключей первой и второй комплиментарной пары (Фазы А, В) с помощью 2-х каналов ТИМ1 с запуском инверсных каналов [3].

Задание сигнала для компенсации гармонических и интергармонических составляющих тока фазы задается оператором или через

интерфейс программы IntergarmonicAnalyzer [4]. Пример кода задания периодического сигнала фазы В приведен ниже:

$$\begin{aligned} \text{finvert_B.Sum2} = & (\sin(3141.5926535897929 * \text{rtb_DigitalClock1} + \\ & 4.1887902047863905) * 60.0 + \sin(1256.6370614359173 * \\ & \text{rtb_DigitalClock1} + 4.1887902047863905) * 30.0) - \text{finvert_B.RegularADC_o3}; \end{aligned}$$

Далее с помощью гистерезисного регулятора с обратной связью по току формируется управляющий сигнал инвертора активного фильтра.

Разработанное и представленное программное обеспечение является программно-аппаратным средством для проектирования электротехнического оборудования морских робототехнических систем. Возможно применение для микроконтроллеров типа ARM Cortex_M4 и STM32, интеграция в существующие системы управления подводными аппаратами, а также запуск и отладка на IBM PC-совместимых персональных компьютерах.

Литература

1. Вынгра, А. В. Разработка алгоритмов и программного обеспечения для силовых активных фильтров судовых электроэнергетических систем / А. В. Вынгра // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2022. – № 2. – С. 73-79. – DOI 10.24143/2073-1574-2022-2-73-79. – EDN FGXORJ.
2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023611158 Российская Федерация. Формирование управляющего сигнала силового активного фильтра для компенсации интергармонических составляющих тока : № 2022686734 : заявл. 28.12.2022 : опубл. 17.01.2023 / А. В. Вынгра ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Керченский государственный морской технологический университет». – EDN EVHJX.
3. Вынгра, А. В. Проектирование, сборка и эксплуатация активного фильтра для компенсации интергармоник / А. В. Вынгра, Б. А. Авдеев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 12. – С. 519-523. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-12-519-524. – EDN HWLXVA.
4. Свидетельство 2020616882. «InterHamonics Analyzer»: программа для ЭВМ / Вынгра А.В. Авдеев Б.А. (RU) ; правообладатель ФГБОУ ВО «КГМТУ». № 2020616882; заявл. 08.06.2020 ; опубл. 25.06.2020, Бюл. № 2020615843, (Ч. 1.). 600 Мб.

КРУГЛЫЙ СТОЛ «ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

Методическое обеспечение образовательной деятельности в области робототехники

М.Е. Данилин, О.П. Меньшиков, К.Н. Юсупова
*НПО «Группа «Аванти», Иннополис, Россия, info@avgr.tech,
metod@avgr.tech, yusupova.k@avgr.tech*

Methodological support of educational activities in the field of robotics

Maksim E. Danilin, Oleg P. Menshikov, Kristina N. Yusupova
*RPA «Group Avanti », Innoopolis, Russia, info@avgr.tech, metod@avgr.tech,
yusupova.k@avgr.tech*

Промышленность в России развивается быстрыми темпами, а значит, ей нужны новые квалифицированные кадры – в том числе и инженеры [1]. В связи с этим возникает необходимость развития инженерного образования, разработки и внедрения уникальных методик преподавания дисциплин технической направленности.

Научно-производственное объединение «Группа «Аванти» является представителем высокотехнологичного производственного кластера Российской Федерации, заинтересованного в вопросе формирования квалифицированного кадрового ресурса инженерной сферы деятельности.

Компания развивает отечественные информационные технологии, в частности, разрабатывает, производит и популяризирует инновационные продукты в области робототехники, электроники и практического программирования.

Обладая своей лабораторией и производственной площадкой, опытными и высококвалифицированными специалистами, мы реализуем уникальную концепцию подготовки инженерных кадров от дошкольного до высшего образования.

Считаем, что навыки и компетенции, востребованные в эпоху бурных технологических перемен, ребята должны получать, начиная с детского сада. А далее следует выстраивать преемственность в технологическом образовании, поддерживать непрерывную связь между этапами технологического образования на разных ступенях образования подрастающего поколения, создавать условия для развития личности будущих инженерных кадров, сохранять, обогащать

и обновлять содержание образовательных потребностей, с учетом изменений, происходящих в жизни общества.

Наша стратегическая цель – заложить основу для формирования кадрового ресурса, занятого в высокотехнологичных производственных процессах.

Специалисты компании осуществляют техническое и методическое сопровождение продуктов, адаптируют, систематизируют и разрабатывают учебно-методические материалы по робототехнике, электронике, программированию и беспилотным летательным аппаратам в соответствии с ФГОС, реализуют их в школах, средне-специальных и высших учебных заведениях, а также учреждениях дополнительного образования.

Для реализации наших продуктов на базе учебных заведений, при сотрудничестве с ведущими научными центрами страны, мы провели повышение квалификации преподавателей, более чем из пяти регионов и 600 школ Российской Федерации.

Наша задача в рамках методического обеспечения образования – продуктивная реализация связки образование/профессия, без тематических, понятийных и компетентностных разрывов.

Таким образом, мы создаем образовательную среду для формирования у будущих специалистов практико-ориентированных навыков, для высокой адаптации и взаимодействия в рамках современного технологического уклада.

Литература

1. Профессия инженера снова приобретает популярность — Реальное время: [сайт]. - URL: <https://realnoevremya.ru/articles/217939-professiya-inzhenera-snova-priobretaet-populyarnost> (дата обращения: 26.09.2023)

**Разработка аппаратно-программной части для «умного»
пчелиного улья с целью проведения
научно-исследовательских работ со школьниками**

А.В. Проскурин, О.Г. Худасова, Ю.Г. Худасова,
С.Ю. Быканов
*ФГАОУ ВО Белгородский государственный национальный
исследовательский университет, Белгород, Россия,
hudasova_og@bsu.edu.ru*

**Development of hardware and software for a smart
bee hive for the purpose of conducting research works
with schoolchildren**

Artyom V. Proskurin, Olga G. Hudasova, Yulia G. Hudasova,
Stepan Yu. Bykanov
*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
«Belgorod National Research University, Belgorod, Russia,
hudasova_og@bsu.edu.ru*

Повышение уровня исследовательских работ школьниками в области пчеловодства (оценивание жизненно важных характеристик пчелосемьи, закономерность поведения семей и их реакций на факторы внешней среды с возможностью их моделирования) за счет разработки аппаратно-программной платформы умного пчелиного улья является актуальной. В ходе проведения работы была изучена особенность строения пчелиной семьи, рассмотрен анализ существующих конструкций ульев, обоснована механическая конструкция умного улья, создана 3D модель, а также подобран материал и компоненты, разработана электронная система регистрации показаний с датчиков физических величин, разработана аппаратно-программная микроконтроллерной системы, проведена реализация образца платформы в стационарных условиях.

Структура аппаратно-программной модели «умного» пчелиного улья представлена на рисунке (см. рис.1).

Основной проблемой пчеловодства является высокая гибель пчелиных семей. Это связано с отравлением пчел пестицидами. Для того, чтобы решить важные проблемы в сфере пчеловодства, нужно наладить эффективный контроль за оборотом агрохимии, ввести запрет на использование неоникотиноидов, для борьбы с фальсификатами наладить взаимодействие надзорных и правоохранительных органов для

недопущения распространения суррогатов, т.к. данная проблема затрагивает интересы и здоровье граждан.

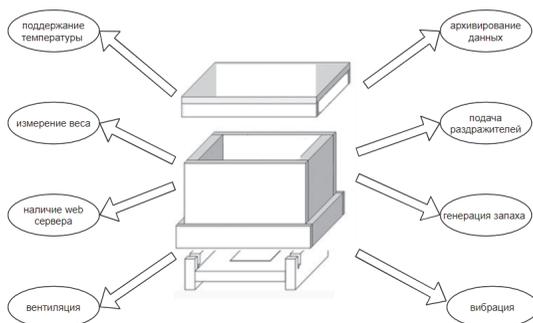


Рисунок 1 — Структура аппаратно-программной модели «умного» пчелиного улья

Разработка программно-аппаратной платформы даст возможность пчеловодам получать информацию в режиме реального времени о деятельности пчелиной семьи. Мониторинг позволяет вовремя узнать, что улей опал, пчелы готовятся к рою, имеют заболевание, что они замерзают или не хватает корма. Человек будет выезжать только в том случае, если требуется его вмешательство. Особенностью разработки является натурное моделирование возникающих в жизни пчел ситуаций по принципу «здесь и сейчас». Совмещение аппаратно-программной части и «дома для пчел» с учетом их взаимного влияния и соблюдения принципа «не навреди». Особое внимание уделено уменьшению воздействия на пчелосемью высокочастотного излучения, связанного с передачей данных для исследований. Создание «умного» пчелиного улья открывает широкие возможности для обучения и воспитания учащихся. Изучение жизнедеятельности пчел – благодатная тема для развития творческой инициативы учащихся, их познавательных интересов.

В ходе проделанной работы произведено внедрение данного образца, который позволяет учащимся исследовать оценивание жизненно важных характеристик пчелосемьи, закономерность поведения семей и их реакций на факторы внешней среды с возможностью их моделирования.

Литература

1. Головнев, В. И. Азбука пчеловода : популярная энциклопедия / В. И. Головнев. - Минск : Парадокс, 2000. - 384 с

2. Черевко, Ю.А. Пчеловодство / Ю.А. Черевко, Г.А. Аветисян.
- М.: АСТ, 2007. - 367 с.

Цифровая экосреда реализации образовательных технологий по робототехнике и мехатронике в дополнительном образовании детей

Д.Э. Салова, Т.А. Морозова, А.В. Варфоломеев
ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, Россия, 1556124@bsu.edu.ru, 1577600@bsu.edu.ru, varfolomeev@bsu.edu.ru

Digital eco-environment for the implementation of educational technologies in robotics and mechatronics in additional education for children

Daria E. Salova, Tatyana A. Morozova,
Alexander V. Varfolomeev
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod National Research University», Belgorod, Russia, 1556124@bsu.edu.ru, 1577600@bsu.edu.ru, varfolomeev@bsu.edu.ru

Сегодня цифровая экосреда является необходимым условием эффективного проектирования образовательных технологий по робототехнике и мехатронике в дополнительном образовании детей. В соответствии с этапами проектирования и реализации образовательных технологий, в цифровой экосреде определяются блоки разработки компетенций, содержания обучения, конкретных моделей обучения, диагностический и управляющие блоки. Для реализации обучения также крайне важны инструментальные средства обучения и ресурсы на основе цифровых технологий [1].

На рисунке 1 представлен состав цифровой экосреды обучения школьников в дополнительном образовании (см. рис. 1).

Цифровая экосреда обучения представляет собой систему, в которую включены элементы, взаимосвязанные между собой: при формировании технологической карты. Программа создания связывает в качестве средств обучения цифровые образовательные ресурсы, практикум по робототехнике, презентации. Выбор этих средств обучения также определяет методы обучения. Инструментальная среда обучения робототехнике образуется только в случае наличия всех ее

компонентов В рамках учебного содержания образовательной робототехники нами разработаны цифровые образовательные ресурсы. Они могут использоваться как отдельный продукт для обучения студентам и как составная часть инструментальной среды обучения: интегрировано с электронной программой проектирования образовательных технологий по робототехнике, при составлении технологической карты даются ссылки на материалы в соответствующих цифровых образовательных ресурсах [2]. Теоретический материал представляется и в схематическом виде с озвучиванием каждого шага программы. Каждый раздел среды завершается обобщающим блоком, который содержит интерактивные тренажеры и тесты по соответствующим темам. Результаты работы пользователя с виртуальными учебными объектами фиксируются преподавателем в электронном журнале.

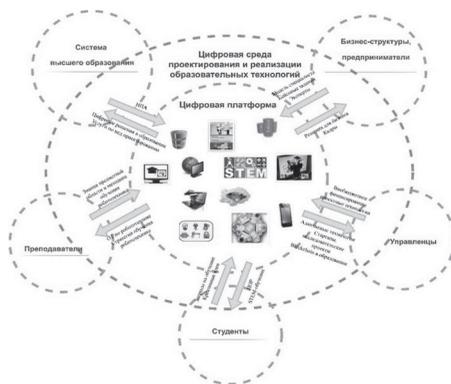


Рисунок 4 — Состав цифровой экосреды обучения

Результаты статистической обработки данных, полученных в ходе опытно-экспериментальной работы, показали, что использование в качестве методологической основы функциональной модели проектирования образовательных технологий на основе цифровых технологий повышает уровень проектирования преподавателями образовательных технологий робототехнике, использование цифровой экосреды при реализации образовательной технологии повышает уровень усвоения учебного материала по робототехнике школьниками на программах дополнительного образования.

Благодарности

Информация собрана на базе Открытой инжиниринговой школы НИУ «БелГУ».

Литература:

1. Нурбекова Ж.К., Мухамедиева К.М. и др. Цифровые образовательные ресурсы «Basics of programming educational robots» для специальности 5В011100-Информатика. (программа для ЭВМ). Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом. №958 от 13.12.2018г.
2. Вертай С.П., Штепа В.Н., Сасевич Е.И. Формирование инновационной экосреды для продвижения наукоемких стартапов //Проблемыэкономики.-2017.-№1(24).

Антропоморфный робот для проведения экскурсий в лаборатории робототехники

А.А. Малышев, А.Д. Московский

*НИЦ «Курчатовский институт», Москва, Россия, a.san.malyshev@mail.ru,
moscowskyad@gmail.com*

Anthropomorphic robot guide for laboratory of robotics

Alexander A. Malyshev, Anton D. Moscovsky

*NRC «Kurchatov Institute», Moscow, Russia, a.san.malyshev@mail.ru,
moscowskyad@gmail.com*

Одним из направлений деятельности НИЦ «Курчатовский институт» является научно-просветительская деятельность, в рамках которой в том числе проводятся экскурсии по историческим объектам и лабораториям института. Лаборатория робототехники является одним из таких объектов посещения.

К особенностям экскурсий по лабораториям можно отнести: отсутствие графика посещения; ограниченное время на подготовку; проведение непосредственно на территории и в рабочее время; представление развивающихся проектов; демонстрация работы прототипов. В лаборатории ведется работа сразу по нескольким проектам, поэтому проведение экскурсий требует вовлечения большого числа сотрудников, а необходимость демонстрации ещё больше отвлекает от

рабочего процесса – над прототипами постоянно ведется работа. Использование отдельного робота для проведения экскурсий решает проблему одновременного задействования многих специалистов и вопрос демонстрации, т.к. робот сам по себе является рабочим объектом.

Робот-экскурсовод Ментор-1 (рис. 1) антропоморфен, перемещается исключительно на колёсной платформе. Бортовая сенсорика включает в себя лазерный сканирующий дальномер, стереокамера и web-камера. Голова, челюсть, руки, ноги подвижны. Для экстренных случаев предусмотрено удалённое управление. Во время экскурсий робот делает указательные жесты и имитирует зрительный контакт, что, согласно исследованиям [1, 2], улучшает качество человеко-машинного взаимодействия.



Рисунок 5 — Робот-экскурсовод Ментор-1

Важной частью разработки является средство редактирования сценариев экскурсий, позволяющее быстро создавать новые сценарии или вносить исправления в старые. Быстрое внедрение изменений в них крайне важно, т.к. проекты постоянно развиваются, а значит, требуется регулярно актуализировать информацию по ним.

Сценарий задается конфигурационным YAML файлом, по которому автоматически строится дерево поведения, управляющее роботом. В файле указывается, какие действия роботом выполняются последовательно, а какие – параллельно. Во время выполнения действия возвращают свой статус, который может быть использован для корректировки поведения. Разработанный метод описания сценариев позволяет задать сложное поведение, включающее в себя демонстрации технологий и взаимодействие с людьми, а его простота – делать это, не погружаясь в программирование.

Большая часть экскурсии однотипна – робот чаще всего находится около экспонатов и ведет рассказ. Для таких частей разработан упрощенный формат представления сценария – обычный текстовый файл, содержащий озвучиваемый роботом текст и специальные метки, уточняющие поведение робота в конкретный момент рассказа. Сформированные таким образом фрагменты экскурсии вызываются деревом поведения, при этом часть базовых действий, например, установка фокуса внимания, выполняется в фоновом режиме автоматически.

С мая 2022 г. роботом проведено 30 экскурсий, которые посетили более чем 400 людей. Согласно проводимому в конце опросу, экскурсанты высоко оценили робота и проводимые им экскурсии. Данные, собранные в течение более чем 1 года, продемонстрировали интерес аудитории к роботу-экскурсоводу и к проводимым им интерактивным экскурсиям, а также позволил уменьшить нагрузку на сотрудников, в том числе при разработке сценариев.

Благодарности

Работа выполнена за счет государственного задания НИЦ «Курчатовский институт».

Литература

1. Zinina A.A. et al. The perception of robot's emotional gestures and speech by children solving a spatial puzzle // Comput. Linguist. Intellect. Technol. Proc. Int. Conf. "Dialogue 2020." 2020.
2. Velichkovsky B.M. et al. From Social Gaze to Indirect Speech Constructions: How to Induce the Impression That Your Companion Robot Is a Conscious Creature // Appl. Sci. 2021. Vol. 11

Опыт разработки и использования учебно-практических морских роботов в СПбГМТУ

М.Н. Чемоданов, И.В. Кожемякин, А.П. Блинков,
О.В. Захарьева

СПбГМТУ, Санкт-Петербург, Россия, chemodanov@smtu.ru

Experience of development and use of educational and practical marine robots in SPbSMTU

Michael N. Chemodanov, Igor V. Kozhemyakin,
Alexey P. Blinkov, Olga V. Zakhareva

SMTU, St. Petersburg, Russia, chemodanov@smtu.ru

В статье описывается опыт преподавания морской робототехники студентам СПбГМТУ, и последующий перенос этого опыта на преподавание робототехники старшим школьникам.

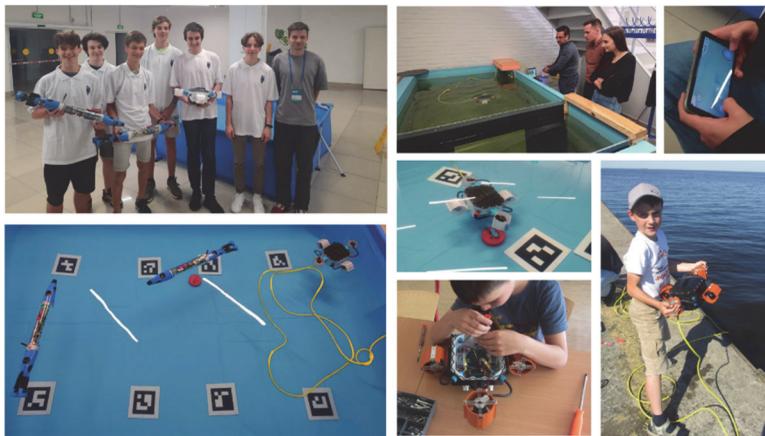
Программа преподавания робототехники была построена индуктивным методом, на основе реализованных в СПбГМТУ практических проектов в сфере морской робототехники. Выполненные проекты были проанализированы и разбиты на классы задач, стоящие перед разработчиком робототехнических систем.

Под выделенные классы задач был осуществлен поиск решённых задач среди известных роботизированных систем. Набор классов задач, примеров задач и их решений позволил составить задачник, а задачник, в свою очередь, позволил более прицельно и эффективно готовить специалистов.

Последние два года СПбГМТУ работает в программе «Инженерные классы». В рамках этой программы сотрудники СПбГМТУ преподавали основы морской робототехники старшим школьникам (10-11 класс).

По сравнению с обучением студентов, процесс обучения школьников имеют следующие отличия:

- нет возможности привлечь учеников на перспективу 3..5 лет;
- ограниченное свободное время работы у учеников, связанное с необходимостью подготовки к ЕГЭ;
- нет возможности вовлечь учеников в производственный процесс, вместо этого стоит задача дать наиболее общие, универсальные навыки и заинтересовать учеников темой;
- проблема масштабирования: в программе задействованы десятки классов.



**Рисунок 1 — Применение учебных морских роботов
в учебном процессе**

Таким образом, перед СКБ СПбГМТУ возникли задачи:

- а) построить облегченный и упрощённый курс подготовки робототехников;
- б) предложить учебные материалы, на которых можно будет учить школьников;
- в) сделать этот курс отчуждаемым и передаваемым другим учителям.

Руководствуясь ранее озвученными принципами в СКБ СПбГМТУ были разработаны два вида «учебных» подводных роботов («Трионикс» и «Гуппи»), на базе которых разработана программа подготовки учеников 10..11 класса. Слово «учебные» взято в кавычки, т.к. фактически эти роботы могут выполнять коммерческие работы и использоваться для исследовательской деятельности. Так, старшая модель робота «Трионикс» использовалась для выполнения работ по обследованию бухт острова Валаам [1], а по результатам работы на смене «Большие вызовы» была опубликована научная статья в зарубежном журнале [2] и ещё одна статья прошла рецензирование и ожидает публикацию.

На текущий момент завершается подготовка открытых учебных материалов отчуждаемого курса, который позволит школьным учителям преподавать программу морской робототехники после кратких курсов подготовки.

Литература

1. <https://habr.com/ru/companies/trionixlab/articles/758444/>
2. 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.

Опыт внедрения образовательных наборов подводной робототехники в образовательные учреждения

Ю.А. Вебер, Р.Г. Котлев, И.А. Путинцев, Д.М. Репин
ООО «Подводные дроны», Санкт-Петербург, Россия, info@trionix-lab.ru

Experience in introducing educational kits of underwater robotics into educational institutions

Yuri A. Veber, Ruslan G. Kotlev, Ivan A. Putintsev,
Danil M. Repin
Podvodnye Drony LLC, St. Petersburg, Russia, info@trionix-lab.ru

В настоящее время в отечественном образовании существует большой интерес к образовательной робототехнике. Данная сфера науки и техники является достаточно сложной и одновременно интересной для детей и студентов образовательных учреждений.

Детский телеуправляемый подводный робот «Трионикс» является конструктором для сборки и позволяет обучающимся осваивать сразу несколько инженерных дисциплин: 3-d моделирование, программирование, схемотехнику, прототипирование.

Автономный подводный робот «Гуппи» (см. рис.1) позволяет собрать настоящий торпедообразный аппарат и научить его выполнять различные задания под водой с использованием технического зрения. Например: поиск объекта, следование вдоль линии, обследование бассейна по маршруту.

В ряде школ Санкт-Петербурга роботы были применены в рамках проекта «Инженерные классы». Опыт показал, что главным в образовательном процессе по-прежнему остается учитель – педагог, который дает детям азы робототехники.



Рисунок 1 — Программирование автономного подводного робота «Гуппи» в испытательном бассейне

Роботы спасатели в виртуальной среде RCJ Rescue Simulation

Д.А. Анисимов, Е.С. Шандаров

ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР), Томск, Россия, shandarov@mail.ru

Rescue robots in the virtual environment RCJ Rescue Simulation

Daniil A. Anisimov, Evgeniy S. Shandarov

«Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics» (TUSUR University), Tomsk, Russia, shandarov@mail.ru

Открытый российский чемпионат по робототехнике РобоКап Россия проводится с 2016 года и направлен на развитие участников в области инженерии, электроники, IT и искусственного интеллекта [1]. Программа мероприятия включает в себя соревнования роботов-спасателей в виртуальной среде лиги RCJ Rescue Simulation. Начиная с 2023 года правила лиги сильно трансформировались и теперь, в качестве среды симуляции, используется ПО с открытым исходным кодом Webots, а робот может быть оснащен широким набором

датчиков и исполнительных устройств, что существенно расширяет, с одной стороны, его возможности, с другой предъявляет возросший уровень требований к подготовке участников.

Среда симуляции, полигон и оснащение робота

В среде симуляции сформирован полигон, на котором происходит операция спасения. Полигон - это лабиринт, состоящий из 4 зон с разным уровнем сложности. Задача робота: двигаться по лабиринту, минуя преграды и препятствия, находить жертв и знаки опасности и «спасти» или «обозначить» их. Жертвы и знаки опасности представлены изображениями, нанесенными на стены лабиринта.

Участник соревнований может воспользоваться готовой моделью робота, оснащенного базовыми датчиками и камерой СТЗ или создать собственного «спасателя» с продвинутым оснащением.

Очки участнику начисляются за прохождение зон лабиринта, найденные объекты и специфические операции, например, картографирование. Важно отметить, что для нахождения жертв и знаков опасности, участники должны использовать СТЗ с подключенной RGB видеокамерой. Здесь арсенал используемых средств может включать в себя как базовые операции над изображениями, так и использование продвинутых систем распознавания изображений на базе OpenCV и даже нейронных сетей.

Поскольку лига RCJ Rescue Simulation в версии 2023 является новой для команд России, нами было принято решение разработать учебно-методические материалы и провести обучение потенциальных участников. В итоге было разработан мини учебный курс, состоящий из 3 лекций и шаблон программы для новых участников.

С использованием разработанных учебно-методических материалов в марте 2023 года было проведено обучение команд Красноярского края и Томской области

Благодаря проведенной работе по привлечению и обучению участников новой лиги, нам удалось успешно провести соревнования в роботов-спасателей в симуляционной среде в рамках Открытого Российского чемпионата по робототехнике РобоКап Россия 2023, 11-14 мая 2023 года в Томске. Участие в турнире приняли 6 команд школьников и студентов младших курсов из Красноярска, Томска, Перми.

Литература

1. Ронжин А. Л. Международные соревнования роботов по футболу Robocup и перспективы участия в них российских команд / А.

Л. Ронжин, Л. А. Станкевич, Е. С. Шандаров // Робототехника и техническая кибернетика. – 2015. – №2(7). – С. 24-29.

2. Официальный Российский сайт RoboCup лига RCJ Rescue Simulation [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://robocuprussiaopen.ru/about/leagues/RCJ-rescue-simulation/>, свободный (дата обращения 14.09.2023).

3. Официальный сайт платформы [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://v23.erebus.rcj.cloud/>, свободный (дата обращения 14.09.2023).

Развитие робототехнических соревнований Кубок РТК – «Высшая лига»

Г.В. Казанцев, П.А. Гаврилов, И.В. Сеньковски,
А.В. Печуркин, С.Ю. Станкевич
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия,
georgiy.kazantsev.91@mail.ru, p.gavrilov@rtc.ru, senkowski@yandex.ru,
apechurkin@gmail.com, sveta@rtc.ru

Development of robotic competitions RTK Cup – «Vyshaya Liga»

Georgiy V. Kazantsev, Petr A. Gavrilov, Ilya V. Senkovski,
Aleksandr V. Pechurkin, Svetlana Yu. Stankevich
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, georgiy.kazantsev.91@mail.ru, p.gavrilov@rtc.ru, sen-
kowski@yandex.ru, apechurkin@gmail.com, sveta@rtc.ru

Непрерывная модернизация промышленного производства, развитие технологий и высокая конкуренция в сфере робототехники вынуждают производить экономически оптимизированные системы. Отмечается тенденция к замене традиционного промышленного оборудования и роботов, зависящих от оператора, современными мобильными, автономными и высокофункциональными робототехническими системами [1].

Автономные системы должны извлекать информацию из окружающей среды с помощью специальных устройств и использовать полученные данные, чтобы безопасно передвигаться и производить требуемые манипуляции осмысленным и преднамеренным образом. В современной соревновательной робототехнике различные датчики

получили большое распространение в связи с их низкой стоимостью, простотой работы, универсальностью и технической базе по эксплуатации. Однако применение датчиков часто ограничено в возможностях анализа и интерпретации получаемых данных, что приводит к неточным результатам вычислений без использования фильтрации либо более сложных алгоритмов обработки сигналов, поскольку принцип работы датчиков основан на использовании физических, химических или механических свойствах, таких как температура, давление, отраженный свет и т.д. При этом, системы технического зрения (далее – СТЗ) используют алгоритмы и модели машинного обучения для анализа и обработки полученных визуальных данных и в меньшей степени зависят от условий среды.

Тенденции в сторону доступности технологий проявляются последние 10-15 лет, поэтому рынок СТЗ и нейронных сетей в текущем десятилетии переживает бурный рост. Камеры встраиваются во всевозможные устройства, объекты и вещи — как мобильные, так и стационарные. Современные высокоскоростные видеочипы, надежное интернет-соединение и облачные серверные технологии позволили выполнять высокопроизводительные вычисления в режиме реального времени, а доступ к технической базе и оборудованию сейчас доступен широкому кругу пользователей.

Можно выделить следующие тренды развития технологий СТЗ ближайшем будущем и их проявления:

- тренд внедрения робототехники в совместной работе с СТЗ в повседневную жизнь человека сможет полностью избавить человека от выполнения монотонных и рутинных задач, множество из которых робот выполнит быстрее и эффективнее;
- тренд автономности до сих пор остается актуальным [2] и востребованным, так как автономность является одной из главных задач, решаемых робототехникой и, в частности, СТЗ;
- тренд создания многоуровневого программного обеспечения для роботов смещает акцент при разработке робототехнических комплексов на систему управления, оставляя второстепенными конструирование и технологию производства.

Соревнования «Кубок РТК Высшая лига» направлены на решение задач очувствления робота, автономной навигации, супервизорного управления, создания автономных роботов, а также выявление талантливой молодежи и ее подготовка к решению задач, имитирующих проблематику больших вызовов Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации.

Каждая зона полигона «Кубок РТК Высшая лига» представляет собой испытания, которые необходимо пройти в автономном режиме с помощью камер и датчиков. Так, полигон «Городская среда - автовождение» является имитацией городского квартала с дорожными знаками и светофорами, где целью испытания является проезд робота в точку, обозначенную специальным символом, соблюдая правила дорожного движения.

Полигон «Теплица – сбор урожая» направлен на решение задачи сбора урожая в виде овощей различных цветов, размещенных на ветках вдоль стен, в макете теплицы.

Испытание «Тушение пожара» является имитацией тушения условного пожара на складе, где роботу необходимо проехать по линии до огнетушителя определенного цвета, захватить его, подняться по пандусу к горящему складу и бросить в ворота с очагом возгорания.

На полигоне «Медицина – доставка лекарств» представляющим собой лабиринт, имитирующий больничный коридор с лекарствами на стеллаже в определенном месте, задачей робота будет доставка лекарств из хранилища в палату пациента.

Таким образом, при участии в соревнованиях Кубок РТК, школьники и студенты технических ВУЗов получают возможность объективным образом оценить свои навыки в различных смежных областях робототехники и выбрать направление дальнейшего обучения. Результаты исследования текущих трендов в робототехнике позволяют сказать, что соревнования Кубок РТК Высшая Лига соответствуют тренду внедрения СТЗ и систем автономной навигации.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 075-01595-23-04 ««Разработка образовательно-тренировочного комплекса для освоения обучающимися комплексного подхода к оживлению роботов, проведение командных робототехнических соревнований регионального и федерального уровней по автономной навигации роботов на реконфигурируемом лабиринте-полигоне»».

Литература

1. Kragic D., Kyrki V., Recent Trends in Computational and Robot Vision // Unifying Perspectives in Computational and Robot Vision – С. №1- Р. 1-10.

2. JI De S. Pio, The Of Castro, An De C. Júnior. Mobile robotics as instrument to support computer learning. Brazilian Symposium on Computers in Education (Brazilian Symposium on Informatics in Education-SBIE), vol. 1 (2006), pp. 497-506.

Кубок РТК. Развитие робототехнических соревнований в соответствии с вызовами современности

И.В. Сеньковски, П.А. Гаврилов, Г.В. Казанцев,
А.В. Печуркин, С. Ю. Станкевич

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, senkowski@yandex.ru,
p.gavrilov@rtc.ru, georgiy.kazantsev.91@mail.ru, apechurkin@gmail.com,
sveta@rtc.ru*

RTC Cup. Development of robotics competitions in accordance with the modern challenges

Ilya V. Senkovski, Petr A. Gavrilov, Georgy V. Kazantsev,
Aleksandr V. Pechurkin, Svetlana Yu. Stankevich
*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, senkowski@yandex.ru, p.gavrilov@rtc.ru,
georgiy.kazantsev.91@mail.ru, apechurkin@gmail.com, sveta@rtc.ru*

Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации [1] (далее – Стратегия), утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 (в ред. Указа Президента Российской Федерации от 15 марта 2021 г. № 143). Установлено, что первенство в исследованиях и разработках, высокий темп освоения новых знаний и создания инновационной продукции являются ключевыми факторами, определяющими конкурентоспособность национальных экономик и эффективность национальных стратегий безопасности. В этой связи особенно актуален растущий тренд роботизации и автоматизации сфер промышленности, безопасности и сервиса, наблюдаемый в последние годы. Обеспечение компетентными кадрами в области робототехники промышленности Российской Федерации – комплексная задача, решаемая, в числе прочего, при помощи робототехнических соревнований, позволяющих привлечь к сфере робототехники талантливых учащихся школ и ВУЗов,

предоставить им площадки для коллаборации, мотивировать на углубление знаний и навыков.

Сфера робототехники развивается, подобно прочим сферам и отраслям промышленности, отвечая на существующие и перспективные задачи и вызовы. В настоящее время робототехника в целом, и подготовительный этап обучения специалистов (робототехнические соревнования) должны соответствовать обозначенным в Стратегии большим вызовам.

В настоящем докладе представлен обзор некоторых существующих соревнований по робототехнике, изложены подходы к развитию робототехнических соревнований «Кубок РТК» [2] в соответствии со Стратегией.

Полигон для соревнований в рамках «Кубка РТК» в 2023 году дополнен тематическими зонами – робомиссиями (см. рис. 1), отвечающими задачам, поставленным в Стратегии. Так, участникам соревнований предстоит при помощи своих робототехнических комплексов решить несколько задач в рамках каждой из робомиссий:

- изолировать муляж токсичного объекта – в рамках робомиссии «Безопасность»;
- перекрыть подачу газа в объект с утечкой – в рамках робомиссии «Цифровая революция»;
- очистить солнечные панели от загрязнений – в рамках робомиссии «Энергетика»;
- прополоть сорняки и собрать урожай корнеплодов в рамках робомиссии «Продовольственная безопасность».



Рисунок 1 — Концептуальное изображение полигона робомиссий

При описанном выше совершенствовании робототехнических соревнований, участники активнее внедряют сквозные технологии разработки сложных изделий. Для участников школьного возраста Кубок РТК предоставляет возможность определить свое будущее направление обучения на раннем этапе.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 075-01595-23-04 ««Разработка образовательно-тренировочного комплекса для освоения обучающимися комплексного подхода к очувствлению роботов, проведение командных робототехнических соревнований регионального и федерального уровней по автономной навигации роботов на реконфигурируемом лабиринте-полигоне»».

Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации».
2. Кубок РТК. Робототехнические соревнования: [сайт]. URL: <https://cup.rtc.ru/>.

КРУГЛЫЙ СТОЛ «БЕСПИЛОТНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ»

Перспективы развития малых беспилотных летательных аппаратов коптерного типа

В.И. Бегун, А.Л. Калинин, А.А. Шабунин
*ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Санкт-Петербург, Россия,
toni_kalinin_88@mail.ru*

Prospects for the development of small copter-type unmanned aerial vehicles

Vladimir I. Begun, Anton L. Kalinin, Andrey A. Shabunin
*VUNC Navy «Naval Academy», St. Petersburg, Russia,
toni_kalinin_88@mail.ru*

Анализ опыта современных вооруженных конфликтов, позволяет сделать вывод, что в настоящее время существует тенденция повышения роли:

- малочисленных хорошо оснащенных тактических формирований типа усиленное отделение (боевая группа);
- расширения объема и повышения качества одиночной боевой подготовки военнослужащих всех категорий.

В частности, опыт боевых действий свидетельствует что в основе боевого порядка находятся мобильные боевые группы, которые кроме стрелкового оружия вооружены противотанковыми ракетными комплексами, крупнокалиберным пулеметом, легким минометом, снайперским вооружением и др. При этом высокая результативность действий во многом достигается за счет ведения разведки с помощью малых беспилотных летательных аппаратов «коптерного» типа (рис. 1), нанесения поражения противнику с помощью дронов «камикадзе» и применения современных оптико-электронных средств разведки и комплексов связи.

Боевые действия наглядно показали, умение применять хотя бы простые беспилотные летательные аппараты «коптерного» типа и переносные средства борьбы с ними (ружье «Антидрон») являются жизненно необходимыми.

Основными преимуществами средств воздушной разведки являются [1 с. 50-53]:

- возможность использования различной целевой нагрузки для работы в различных условиях видимости с различным диапазоном

выдаваемой информации (от видео в режиме реального времени до создания 3D карт);

- большая глубина ведения разведки;
- способность вскрывать объекты до начала их активной деятельности;
- возможность определения координат отдельных целей в составе групповой, определять реальные размеры цели, выделять уязвимые места и наиболее важные цели;
- возможность оценить результаты стрельбы на поражение в реальном времени .



Рисунок 1 — Беспилотный летательный аппарат коптерного типа

В перспективе беспилотные летательные аппараты «коптерного» типа представляют интерес для ВС РФ в части решения следующих основных задач:

- поиск и обнаружение противника;
- поражение противника;
- контроль поражения цели;
- ведение разведки местности, наблюдение за боевыми действиями.

Проведенный анализ позволил определить перспективные совершенствования развития малых беспилотных летательных аппаратов «коптерного» типа в интересах ВС РФ, основными из которых являются: создание малогабаритных и многофункциональных беспилотных летательных аппаратов «коптерного» типа; поставка в войска многофункциональных беспилотных летательных аппаратов «коптерного» типа; разработка программ подготовки операторов многофункциональных беспилотных летательных аппаратов «коптерного» типа.

При этом основным аспектом разработки многофункциональных беспилотных летательных аппаратов «коптерного» типа в интересах ВС РФ является обязательный учет специфики решаемых войсками служебно-боевых задач, форм применения и способов их действий.

Литература

2. Научно-методическое обоснование способов применения беспилотных летательных аппаратов для разведки и поражения целей. Монография. – СПб: 2022. 412 с.

Моделирование траектории движения беспилотного летательного аппарата самолетного типа при посадке на роботизированное транспортное средство

А.Ю. Гетманцев, Т.В. Меньшакова

ГЛИЦ им. В.П. Чкалова МО РФ. Ахтубинск, Россия, tomamens@mail.ru

Simulation of the trajectory of an aircraft-type unmanned aerial vehicle when landing on a robotic vehicle

Alexey Y. Getmantsev, Tamara V. Menshakova

*State Flight Test Center V.P. Chkalova Ministry of Defense of Russia,
Akhtubinsk, tomamens@mail.ru*

Проведение испытаний авиационных комплексов, авиационных средств поражения, летательных аппаратов и их систем, требует использования полигонов с безукоснительным выполнением требований безопасности испытаний. При решении этой задачи может использоваться беспилотный летательный аппарат (БЛА) для воздушного наблюдения, определения координат штатного и нештатного падения летательных аппаратов, авиационных средств поражения и их отделяемых частей. Для оперативности он должен автоматически осуществлять взлет и посадку на роботизированное транспортное средство, которое выступает в качестве центра ресурсного обеспечения. Роботизированный транспорт-носитель комплектуется сменными аккумуляторами или резервуаром с топливом и топливным насосом для дозаправки БЛА, а также мощной радиостанцией для ретрансляции команд и видеопотока.

Ключевая задача – это автоматическое наведение и посадка БЛА на движущееся транспортное средство. Существующие методы

наведения БЛА или ракет предназначены для наведения на неподвижные цели, а конечный участок их траектории обычно заканчивается пикированием. По критерию минимума промаха на высокоподвижную наземную цель эти методы наведения не являются оптимальными. Возникает необходимость синтеза новых методов наведения БЛА самолетного типа по снижающейся траектории при минимальном промахе в пределах допуска системы посадки и удержания БЛА. При большом удалении от цели наведение БЛА выполняется обычно только в горизонтальной плоскости. При малом удалении необходимо постоянное обновление информации о местонахождении цели и БЛА, векторе скорости и ускорении по трем координатам, с учетом фактической высоты расположения точки начала системы посадки и удержания БЛА. Рассматриваемый метод наведения «Погоня» требует знать только координаты БЛА и транспорта-носителя (цели) (рис. 1).

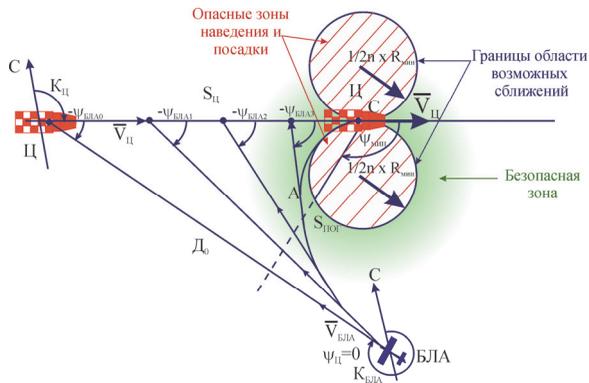


Рисунок 1 — Ограничения метода наведения «Погоня»

Упрощенный прогнозно-аналитический способ наведения – это расчет на плоскости курса и времени полета БЛА, определение координаты точки посадки. При этом не учитываются реальная трехмерная динамическая система состояний БЛА, перегрузки, углы органов управления БЛА, маневрирование транспорта-носителя и т.д. Радиус разворота БЛА ограничен предельной перегрузкой, что удлиняет кривую погоня. БЛА не должен пересекать границы опасной области сближений. Неожиданный маневр транспорта-носителя путем изменения скорости или курса компенсируется корректировкой траектории БЛА. При попадании в опасную зону наведение БЛА и

его посадка сходу на цель принципиально невозможны без повторного захода. Уточненная трехмерная модель совместного движения БЛА и транспортного средства может быть исследована с применением аппарата решения задачи наведения с учетом особенностей режима «Погоня» при построении динамической системы оценивания управляемого движения в виде уравнений в пространстве состояний.

Синтез многоуровневой архитектуры системы наведения и автоматической посадки беспилотного летательного аппарата на движущееся транспортное средство

А.Ю. Гетманцев, Т.В. Меньшакова, Н.В. Тихомиров
ГЛИЦ им. В.П. Чкалова МО РФ, г. Ахтубинск, Россия, tomamens@mail.ru

Synthesis of a multilevel guidance system architecture and automatic landing of an unmanned aerial vehicle on a moving vehicle

Alexey Y. Getmantsev, Tamara V. Menshakova,
Nikita V. Tikhomirov
*State Flight Test Center V.P. Chkalova Ministry of Defense of Russia,
Akhtubinsk, tomamens@mail.ru*

С развитием автоматизации и роботизации все активнее становится вопрос интеграции новых роботизированных систем с уже существующими системами и комплексами различного назначения. Это дает возможность получить новые свойства или значительно расширить их область и кратность применения. Острым является вопрос объединения возможностей, которые дает беспилотный летательный аппарат (БЛА), и достоинств подвижного транспортного средства (автомобиль, катер и т.д.), выступающего в качестве взлетно-посадочной платформы этого БЛА. Таким транспортным средством может быть, например, пожарный автомобиль с БЛА для разведки пожарной обстановки.

Актуальным является применения БЛА для контроля безопасности летных испытаний на авиационных полигонах, с автоматической дозарядкой (дозаправкой) БЛА, без привлечения технического персонала. Рассматривается структура комплексной радиосистемы

управления (наведения) и автоматической посадки БЛА самолетного или вертолетного (квадрокоптерного) типов на движущийся роботизированный транспорт-носитель.

Управление движением БЛА или транспортного средства разделяется на управление перемещением центра масс объекта и управление поворотом БЛА и транспортного средства относительно своих центров масс (управление ориентацией) для придания им необходимой траекторной или взаимной ориентации в момент посадки БЛА на перемещающееся транспортное средство.

Разрабатываемая радиотехническая система автоматического наведения использует самонаведение как основной способ формирования посадочной траектории БЛА. Предлагается использовать моноимпульсный фазовый метод определения направления на источник излучения. Ввиду существенных ограничений и низкой точности для высокоточного наведения неприменимы спутниковая навигационная система, радиомаячно-пеленгационная система, оптико-электронная, инфракрасная или лазерная системы наведения. Передающая антенна разработанной радиосистемы должна быть компактной спирального типа с однолепестковой диаграммой направленности, а составная приемная антенна на БЛА должна иметь 4 четвертьволновые щелевые приемные антенны. Дискретно меняющаяся диаграмма направленности передающей антенны иметь ширину 102° и 48° по уровню 0,7 для рабочих частот соответственно 2 и 2,5 ГГц.

Рассчитанные характеристики и разработанные структурная и функциональная схемы радиосистемы наведения подтверждают возможность ее практического применения. Определение направления на источник радиоизлучения проводится фазовым методом измерением амплитуды и фазы принимаемых сигналов. В дополнение к частотной модуляции попеременно используется амплитудная манипуляция для передачи дополнительных закодированных данных с транспорта-носителя на борт БЛА.

Безусловно, комбинация нескольких видов систем определения собственных и взаимных координат дает большую точность наведения и увеличивает радиус действия радиосистемы, но БЛА имеет ограничения по массе, энергетике и фактическим условиям эксплуатации, что существенно снижает возможности по комплексированию. После вывода БЛА в заданные координаты, с необходимыми линейными и угловыми скоростями, углами ориентации БЛА относительно транспорта-носителя, должна полностью погаситься остаточная кинетическая энергии БЛА и он должен зафиксироваться на

борту транспорта-носителя с подключением к его коммуникационным и топливным устройствам. Рассмотренный способ наведения и посадки БЛА обеспечивает посадку на движущийся объект в автоматическом режиме в любых метеоусловиях при минимуме дополнительного оборудования.

Поведение беспилотного летательного аппарата мультроторного типа при выходе из строя одного двигателя

Т.Е. Девятковский¹, П.М. Трефилов²

*¹Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, Москва,
Россия, timdev04@gmail.com*

*²Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, Москва,
Россия, petertrfi@gmail.com*

Behavior of an unmanned aircraft when one engine is disabled

Timofei E. Deviatkovskii¹, Petr M. Trefilov²

*¹Institute of Management Problems. V.A. Trapeznikov RAS, Moscow, Russia,
timdev04@gmail.com*

*²Institute of Management Problems. V.A. Trapeznikov RAS, Moscow, Russia,
petertrfi@gmail.com*

В наше время очень распространено использование беспилотных летательных аппаратов, каждый человек сталкивался напрямую или косвенно с техникой такого типа. Повсеместно используются БПЛА например, в доставке, разного рода, многие компании переходят именно на такой вид доставки своих товаров [1], ресурсов и т.п. вещей. Так же БПЛА внедряют во все возможные системы спасения, летательные аппараты используются для поиска людей, анализа территории. Становится понятно, что БПЛА, в частности квадрокоптеры, занимают важную часть системы в абсолютно разных сферах деятельности.

Основной проблемой при использовании такого вида техники, всё равно остаётся возможное его падение и в следствии потеря дорогостоящих комплектующих. Падение может возникать по многим причинам, которые делятся на несколько классов: 1) БПЛА может подвергнуться воздействию из вне (погодные условия); 2) В ходе не

грамотного управления пилотом (если БПЛА управляется не программно); 3) У БПЛА происходит выход из строя какого-либо компонента конструкции.

Наиболее частой проблемой является выход из строя одного из двигателей. Такая проблема может возникнуть по многим причинам, например, поломка пропеллера двигателя, неисправность самого мотора или же перегрев мотора, с последующим выходом из строя [2].

БПЛА не может потерять сразу два и более двигателя, только если эта проблема не связана с полётным контроллером. Исходя из этого можно понять, что наиболее возможная проблема, это выход из строя только одного двигателя.

Таким образом требуется дальнейшее исследование данной проблемы, и нахождение её возможного решения.

В качестве цели исследования выступает разработка универсального алгоритма для БПЛА, исходя из упрощенной и моделируемой ситуации с данными от полетного контроллера БПЛА. Упрощённая модель подразумевает собой идеальную систему, отсутствие внешних факторов воздействия на летательный аппарат.

При выходе из строя одного из двигателей, БПЛА выставляет приоритетную задачу полётному контролеру, с помощью которой и находится неисправный двигатель.

Для нахождения неисправного двигателя используются данные с гироскопа и полётного контроллера. Расчёты производятся по нескольким плоскостям, с определёнными областями допустимых значений на координатных прямых. Таким образом, алгоритм работает путем сравнения координат передних двигателей БПЛА в отдельной координатной плоскости с фиксированными значениями, соответствующими горизонтальному положению БПЛА.

После нахождения неисправного двигателя, программа выполняет задачу стабилизации БПЛА, а вскоре и его посадки.

Для проверки разработанного алгоритма, проводились испытания в программе X-Plane [3], с дополнениями к программе, под нужды проекта. Во время испытаний БПЛА находился в идеальных условиях.

Данное исследование вносит вклад в область моделирования динамических технических в интеллектуальной транспортной среде, предлагая новый подход к моделированию поведения БПЛА и разрабатывая комплексное решение для аварийной посадки. Наш подход может быть применен для обеспечения безопасности и надежности полетов в различных сценариях и условиях эксплуатации.

Литература

1. Drone delivery increases purchase intent for more than one-third of consumers (36%). – Available at: <https://www.prnewswire.com/news-releases/drone-delivery-data-36-of-online-shoppers-are-more-likely-to-purchase-an-item-delivered-by-drone-300989686.html>.
2. James Cabahug, Hossein Eslamiat Failure Detection in Quadcopter UAVs Using K-Means Clustering // MDPI and ACS Style – 2022.
3. Peng Lu, Qingbo Geng, "Real-time Simulation System for UAV Based on Matlab/Simulink", IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), 2010.

Миниатюрный тепловой датчик давления на основе тепловой конвекции газа для прецизионного измерения высоты в пилотируемых летательных аппаратах

Г.Д. Демин, П.П. Ким, Н.А. Дюжев

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (МИЭТ), Зеленоград, Россия, gddemin@edu.miet.ru

Miniature pressure sensor based on thermal gas convection for precision altitude measurement in manned aircraft

Gleb D. Demin, Pavel P. Kim, N.A. Djuzhev

National Research University of Electronic Technology (MIET), Zelenograd, Russia, gddemin@edu.miet.ru

Высокочувствительные датчики давления на основе микроэлектромеханических систем (МЭМС), изготавливаемые с применением фотошаблонных заготовок, представляются привлекательными для ряда перспективных приложений, таких как теле- и биомедицина (диагностика диабетической стопы, контроль давления), автомобильная и аэрокосмическая промышленность (навигация, альтиметры), робототехника. Последние достижения в области технологии тонкопленочных МЭМС структур обеспечивают их низкое энергопотребление и высокую чувствительность при малых размерах. Ввиду ряда недостатков существующих МЭМС сенсоров давления (электромагнитные - большие габариты, резонансные - термическая нестабильность, пьезоэлектрические - высокая чувствительность к вибрациям, оптические - необходимость калибровки оптики, емкостные - нелинейность зависимости емкости от давления), поиск

альтернативных концепций датчиков давления, устойчивых к агрессивным средам и обладающих высокой чувствительностью как при низком, так и при высоком давлении, является одной из приоритетных задач [1]. Несмотря на то, что мембранные тепловые датчики широко используются для точного измерения линейного ускорения и расхода газа [2, 3], способ определения приложенного к мембране давления за счет регистрации теплового перераспределения конвективного потока нагретого газа, расположенного в специальной полости под мембраной, ранее не рассматривалась. В данной работе предложена оригинальная конструкция МЭМС термодатчика для высокоточного измерения давления. Принцип его действия заключается в регистрации изменения температуры термодпар вблизи нагревателя в полости с газом, которое возникает при микромеханической деформации расположенной над полостью диэлектрической мембраны (рис. 1). Такой подход позволяет улавливать мельчайшие 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.

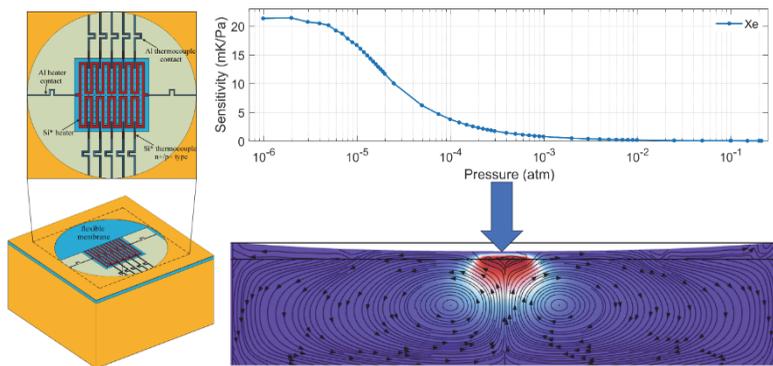


Рисунок 1 — Концепция датчика давления на основе тепловой конвекции газа: на вставке - чувствительность как функция перепада давления (для Xe)

Проведен анализ чувствительности сенсора для различных газов (Kr, Xe, Ar) в диапазоне давлений от 0.01 до 100 кПа. Показано, что максимальная чувствительность достигается для газа Xe (~ 21.36

мК/Па), что связано с его наибольшей молекулярной массой. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании сенсоров аэрокосмического назначения.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (НИР «Разработка базовых маршрутов проектирования дизайнера и изготовления фотошаблонов», соглашение FSMR-2023-0014).

Литература

1. P. Song, et al., *Micromachines* 11(1), 56 (2020).
2. N.A. Djuzhev, et al., *Sens. Act. A: Phys.* 330, 112832 (2021).
3. S. Azadi Kenari, et al., *Micromachines* 14(7), 1280 (2023).

Общая структура системы визуальной навигации БПЛА по видеоданным

К.Д. Коновалов, С.В. Кулешов

*Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН,
Санкт-Петербург, kodmko@mail.ru*

General structure of the UAV visual navigation system based on video data

Konstantin D. Konovalov, Sergey V. Kuleshov

*St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg, kodmko@mail.ru*

Проблема навигации беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является одной из наиболее важных в области беспилотной техники. На сегодняшний день наиболее распространёнными подходами к решению данной проблемы являются спутниковые системы навигации и системы радионавигации [1], инерциальные системы навигации [2], а также гибридные системы, включающие в себя подсистемы навигации разных типов [3]. Также перспективным типом систем навигации являются системы видеонавигации, использующие видеоданные с бортовых камер БПЛА и спутниковые снимки местности [4].

Авторским коллективом была разработана общая архитектура системы видеонавигации БПЛА (см. рис. 1).



Рисунок 1 — Архитектура системы видеонавигации БПЛА

Первым элементом данной системы является подсистема подготовки данных. В данную подсистему загружаются спутниковые снимки местности предполагаемого района полетов БПЛА. Эти снимки с помощью нейросетевого классификатора размечаются с использованием основных категорий объектов: «вода», «деревья», «земля, песок», «здания», «дороги», «иное». Результаты классификации подстилающей поверхности переводятся в инвариантное представление, которое затем загружается в память системы управления БПЛА. Все описанные выше операции в целях экономии вычислительных ресурсов и времени производятся на этапе предполетной подготовки.

Вторым элементом системы является подсистема разметки видеоданных. Данная система обрабатывает видеоданные, полученные с бортовых камер БПЛА. В зависимости от времени года и времени суток выбирается один из доступных нейросетевых классификаторов, с помощью которого производится разметка полученных данных с использованием вышеописанных категорий объектов. Далее аналогичным образом происходит преобразование полученной подстилающей поверхности к инвариантному представлению.

Третьим элементом системы является модуль позиционирования. Получая на вход два инвариантных представления – всей карты и изображения с бортовой камеры – он производит их сравнение и определяет координаты текущего положения БПЛА относительно карты местности.

Следующим элементом системы является модуль планирования маршрута. После получения полетного задания в виде координат конечной точки он производит поиск оптимальной траектории полета.

Оптимальность определяется избеганием тех областей, где возможна потеря опорных точек, то есть таких областей, где подстилающая поверхность состоит из одного типа объектов (например, водные пространства большой площади).

Последним элементом системы является подсистема управления полетом. Получив из модуля планирования маршрута требуемую траекторию, данная подсистема в режиме реального времени обрабатывает данные из модуля позиционирования и, в случае отклонения реальной траектории от ожидаемой, производит корректировку направления полета.

Описанная структура позволяет разработать автономную систему видеонавигации БПЛА, использующую для выполнения полета спутниковые снимки местности и видеоданные с бортовых камер.

Благодарности

Работа выполнена в рамках бюджетной темы № FFZF-2022-0005.

Литература

1. Агаев Ф.Г., Асадов Х.Г., Асланова А.Б. Многофункциональные беспилотные летательные аппараты. Оптимизация и синтез с учетом воздействия шумов // Труды МАИ. 2021. №16(117). С. 20.
2. Ковалева М.А., Бузаров М.М., Волошин С.Б., Галушкина Е.Ю. Проектирование и разработка инерциальной системы навигации как части автоматизированной системы управления беспилотным летательным аппаратом // Научный форум: технические и физико-математические науки : сборник статей по материалам VI международной заочной научно-практической конференции. 2017. №5(6). С. 43-49.
3. Ивашина Е.А., Корлякова М.О., Пилипенко А.Ю., Филимонов А.А. Интеграция системы технического зрения с платформенным инерциальным блоком системы навигации // Труды ФГУП «НПЦАП». Системы и приборы управления. 2014. №1. С. 51-59.
4. Кулешов С.В., Зайцева А.А. Варианты реализации системы технического зрения для автовзлета и автопосадки БАС // Известия ЮФУ. Технические науки. 2018. № 1(195). С. 284-293.

Контроль технического состояния промышленных систем при помощи беспилотных летательных аппаратов

А.В. Богомолов, Е.С. Солдатов, А.С. Солдатов
ЦНИИ ВВС Минобороны России, Щелково, Московская обл., Россия
a.v.bogomolov@gmail.com, volshebnoekoltso@mail.ru, soldat_11@mail.ru

Monitoring the technical condition of industrial systems using unmanned aerial vehicles

Alexey V. Bogomolov, Evgeny S. Soldatov, Alexey S. Soldatov
CSRI AF Russian Ministry of Defense, Shchelkovo, Moscow region, Russia,
a.v.bogomolov@gmail.com, volshebnoekoltso@mail.ru, soldat_11@mail.ru

Хранение и транспортировка криогенных продуктов (жидкого кислорода, жидкого азота, жидкого водорода, сжиженного природного газа и др.) при отсутствии регулярной диагностики теплоизоляции оборудования криогенных систем приводит к повышенным потерям, возникновению взрывопожароопасной ситуации и аварийным остановкам производственных процессов. При этом проведение диагностики вакуумной полости затруднено из-за крупных габаритов резервуаров, отсутствия стационарных датчиков давления вакуума, а также из-за расположения участков криогенных трубопроводов в труднодоступных для осмотра местах (на эстакадах, на большой высоте, в ограниченном пространстве).

С учетом вышесказанного актуальным является проведение регулярной диагностики технического состояния оборудования при помощи беспилотных летательных аппаратов (БЛА), благодаря которым появляется возможность проводить дистанционный осмотр участков поверхности оборудования, расположенных в труднодоступных местах [1]. Для корректного распознавания изображений наружного обледенения поверхности оборудования, полученных БЛА при помощи камеры, необходимо дополнительно контролировать текущие значения температуры и влажности окружающей среды, а также сопоставлять полученные данные с учетом климатических условий, зависящих от текущей даты и текущих значений GPS координат объекта.

БЛА осуществляет полет по заданному маршруту в автоматическом или полуавтоматическом (корректировка маршрута производится действиями оператора из центра мониторинга и управления) режиме [2]. При приближении БЛА к объекту мониторинга на заданное расстояние производится считывание информации с RFID-метки, размещенной на

поверхности оборудования, с целью идентификации конкретной единицы оборудования (сосуда, трубопровода и пр.) и облегчения последующего поиска места тепловой утечки. После идентификации единицы оборудования производится включение блоков для наблюдения: тепловизора и видеокамеры. Далее производится полет по заданному маршруту в области, прилегающей к объекту. В процессе полета в блоке управления БЛА производится обработка информации, поступающей от тепловизора и видеокамеры. Также обрабатывается информация от GPS/ГЛОНАСС ресивера о текущих координатах, от модуля навигации о высоте полета, а также данные о текущих окружающих условиях (температура, влажность воздуха и пр.). В случае использования БЛА в полуавтоматическом режиме информация в режиме реального времени направляется в диспетчерский центр мониторинга и управления.

Аналоги описанного БЛА в перспективе могут быть использованы в любой предметной области, где необходимо обнаружение и определение точного местоположения тепловых утечек, фиксируемых при помощи тепловизора или видеокамеры.

Литература

1. Балык О.А., Айвазян С.А., Богомолов А.В., Солдатов А.С. Методологические основы применения средств моделирования в процессе разработки и сертификации беспилотных авиационных систем. Математические методы в технологиях и технике. 2022. № 8. С. 39-43.
2. Soldatov E., Bogomolov A. Decision support models and algorithms for remote monitoring of the equipment state. In: CEUR Workshop Proceedings. Сер. «ITIDMS 2021 - Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Information Technologies and Intelligent Decision Making Systems»» 2021. Pp. 1-8.

Методика подготовки операторов беспилотных летательных аппаратов к пилотированию по приборам

А.С. Муравьев, И.С. Муравьев

*ЦНИИ ВВС Минобороны России, Щелково, Московская обл., Россия,
shishovec@rambler.ru, gniiivm.m@yandex.ru*

Methodology for training unmanned aerial vehicle operators for instrument piloting

Alexey S. Muraviov, Ivan S. Muraviov

*CSRI AF Russian Ministry of Defense, Shchelkovo, Moscow region, Russia,
shishovec@rambler.ru; gniiivm.m@yandex.ru*

Решение ряда практических задач отработки режимов применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) требует навыков управления им (пилотирования) по приборам [1, 2]. Для развития таких навыков разработана методика подготовки операторов БЛА к пилотированию по приборам в режиме зависания БЛА вне зоны влияния Земли. Методика подразделяется на два этапа: теоретическая подготовка и летная подготовка [3, 4].

Теоретическая подготовка включает отработку порядка действий оператора по управлению вниманием в течение времени, затрачиваемого на реальный заход. Для выполнения захода БЛА на посадку по приборам по «малоскоростной» глиссаде время отработки действий оператора составляет порядка 90 с, а для выполнения захода по приборам по траектории, которую будет выдерживать автоматика БЛА, время отработки действий оператора составляет порядка 50 с. При этом время нахождения на траектории снижения БЛА разделяется на этапы, характеризующиеся параметрами полета БЛА и действиями оператора с помощью органов управления, а, следовательно, и управлением вниманием оператора. После отработки действий на тренажере приступают к натурной (летной) подготовке.

Летная часть методики заключается в следующем. Днем в простых метеорологических условиях оператор БЛА выполняет висение. Этот элемент выполняется в три этапа. На первом этапе обучаемый оператор выдерживает высоту полета БЛА только общим шагом: в этот момент оператор-инструктор или автоматизированная система пилотирует БЛА, выдерживая заданное место висения и направление полета. Задача обучаемого оператора БЛА научиться выдерживать высоту висения сначала в пределах десяти метров,

например, 10-15, 20-30 м, затем в пределах единиц метров, например: 8, 12, 30 м. Опыт тренировок выполнения этого элемента показывает, что опытный оператор, не имеющий большого перерыва в профессиональной деятельности, сформирует навык в течение 30-40 мин тренировок выполнения висения.

После освоения висения обучаемому оператору БЛА необходимо выполнить горизонтальные разгоны и торможения по прямой на высоте 50-60 м, пилотируя БЛА по показаниям авиагоризонта, радиовысотомера и указателя малых скоростей полета. Разгоны выполняются с режима висения БЛА до скорости около 50 км/ч с последующим торможением и выдерживанием места висения. При этом обеспечивается контроль порядка распределения и переключения внимания оператора с выдачей информации об ошибках, допущенных оператором, и рекомендаций по их коррекции.

Разработанная методика потенциально эффективна при подготовке операторов БЛА к полетам по приборам за счет достигаемого повышения профессиональной надежности профессиональной деятельности операторов БЛА путем повышения уровня развития требуемых навыков.

Литература

1. Алешин С.В., Алпатов И.М., Анисимов А.Н., Артемов В.Н. и др. Человек и безопасность полетов: сборник статей. М.: Когито-Центр, 2013. 288 с.
2. Засядько К.И., Солдатов С.К., Богомолов А.В., Вонаршенко А.П., Язлюк М.Н. Психофизиологические особенности профессиональной деятельности летчика при визуальном поиске и обнаружении малоразмерных наземных объектов в сложных метеоусловиях // Психология. Психофизиология. 2020. Т. 13. № 4. С. 87-99.
3. Муравьев И.С., Коваленко Г.В. Методы обучения пилотов вертолетов навыкам безопасной посадки вне аэродрома в условиях неопределенности. СПб.: Наука, 2017. 142 с.
4. Зубов С.М., Комаров И.О., Батищев А.А., Муравьев И.С. Методы профессиональной подготовки пилотов вертолетов к заходу на выполнение поисково-спасательных работ // Проблемы безопасности полетов. 2022. № 10. С. 13-41.

**КРУГЛЫЙ СТОЛ «ПРОМЫШЛЕННАЯ
И ЛОГИСТИЧЕСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»**

**Исследование деформаций звеньев триптерона и методы
преодоления их негативного влияния**

Г.Н. Нагайцев

ИПМех РАН, Москва, Россия, ngnipmex@yandex.ru

**Investigation of deformations of tripterone links
and methods of overcoming their negative influence**

Georgij N. Nagajcev

*Ishlinsky Institute for Problem in Mechanics of the Russian Academy
of Sciences, Moscow, Russia, ngnipmex@yandex.ru*

Триптерон – это один из видов роботов замкнутой структуры. Триптероны на параллельных рельсах (рис. 1) имеют большой потенциал для применения на конвейерном производстве. Но классическая конструкция такого типа роботов имеет недостатки, связанные с возможностью потери ориентации рабочего органа из-за деформации его звеньев (рис. 2).

Одним из методов преодоления потери ориентации рабочего органа является добавление в конструкцию робота дополнительных компенсирующих звеньев, которые дублируют перемещения основных звеньев робота и, тем самым, препятствуют нежелательным вращательным движениям выходного звена [2]. Однако у этого метода имеется недостаток, связанный с увеличением габаритов конструкции.

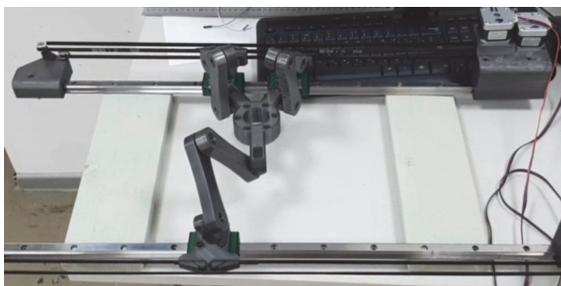


Рисунок 1 — Демонстрационная модель триптерона на параллельных рельсах

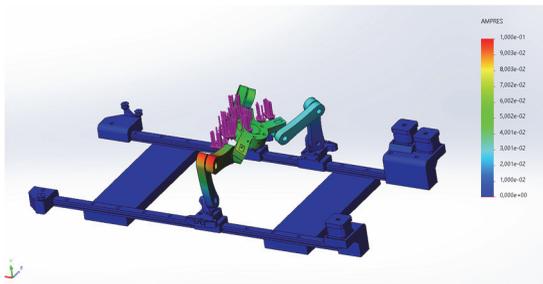


Рисунок 2 — Деформация триптерона при нагрузке величиной в 10Н

В данной работе в качестве альтернативного варианта для компенсации механических напряжений предлагается изменить конструкцию звеньев механических цепей триптерона. Для уменьшения габаритов мы рассматриваем дублирование кинематических цепей не на отдельных направляющих, а на тех же, где находятся управляющие кинематические цепи робота.

В дальнейшем планируется создание реальной модели модернизированного триптерона и проведение практических экспериментов.

Литература

1. Нагайцев Г.Н. РОБОТ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ ОСНОВАННОЙ НА ДИАДАХ НА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ РЕЛЬСАХ / Г.Н. Нагайцев // Материалы 1-го этапа студенческой научно-практической конференции «Автоматизация и информационные технологии (АИТ-2023)». Том 3: Сборник докладов института цифровых интеллектуальных систем. – М.: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», 2023. – С. 80.
2. Galoyan H. DESIGN AND ANALYSIS OF A NOVEL TRIPTERON-INSPIRED MICROMANIPULATOR WITH FLEXURE HINGES / H. Galoyan // ResearchGate. – 2023.
3. Yanlin X. Design and Modeling of a Novel Tripterone-Inspired Tri-axial Parallel Compliant Manipulator with Compact Structure/ X. Yanlin, L. Yangmin, C. Chifai // Micromachines. – 2022, 13, 678.

Роботизированный комплекс для обследования подстанций

Е.Д. Малаева, А.А. Любишев
ФГБОУ ВО КГЭУ, г. Казань, Россия, *malaeva_eva01@mail.ru*,
s.lyubishev@yandex.ru

Robotic complex for inspection of substations

Eva D. Malaeva, Alexander A. Lyubishev
Kazan State Energy University, Kazan, Russia, malaeva_eva01@mail.ru,
s.lyubishev@yandex.ru

При эксплуатации воздушных линий электропередачи возникает необходимость контроля за их текущим состоянием. [1]

Применение роботов в энергетике обусловлено экономией затрат на обслуживание объектов промышленной энергетики и с целью облегчить труд человека. Ведётся разработка прототипов на колёсной платформе. [2] Поэтому реализована система удалённого управления колёсной платформой.

Экспериментальный и опытный образец роботизированного комплекса со следующими возможностями:

- удалённое управление платформой;
- система автоматического пилотирования по заданному маршруту;
- автоматизированная оценка состояния объектов контроля с использованием: видеосъёмки в видимом и инфракрасном диапазонах; ультразвуковых детекторов; газоанализаторов; бесконтактных виброизмерителей;
- автоматическая генерация отчётов на основе текущего состояния и предиктивного анализа.



Рисунок 1 — Колёсная платформа и система пилотирования

Благодарности

Исследования выполнены в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет2030»: соглашение № 075-15-2021-1087 от 30.09.2021, соглашение №075-15-2021-1178 от 30.09.2021.

Литература

1. Горячев, М. П. Определение механических нагрузок на воздушных линиях электропередачи / М. П. Горячев, М. Ф. Садыков // Электроэнергетика глазами молодежи - 2018 : Материалы IX Международной молодежной научно-технической конференции. В 3-х томах, Казань, 01–05 октября 2018 года / Ответственный редактор Э.В. Шамсутдинов. Том 2. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2018.
2. Хамидуллин, И. Н. Обзор роботов для диагностики и обслуживания высоковольтных ЛЭП / И. Н. Хамидуллин, М. Ф. Садыков // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве : Материалы VII Национальной научно-практической конференции, Казань, 09–10 декабря 2021 года. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022.

Создание робота для мониторинга линии электропередач

Н.М. Якупов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», Казань, Россия, janijaz@yandex.ru

Creating a robot for monitoring power lines

Niyaz M. Yakupov

KSPEU, Kazan, Russia, janijaz@yandex.ru

Трудно представить себе обыденную жизнь без различного рода электрических приборов и устройств, для их работы необходима электрическая энергия переменного или же постоянного тока. Без нее в наше время не обходится ни одно производство, от функционирования предприятий напрямую зависит экономика страны. Нарушение подачи электроэнергии может привести к нарушению производства и остановке работы предприятия.

Причины таких нарушений могут быть из-за проблем с высоковольтными линиями электропередач (ВЛЭП). В холодное время года на линиях электропередач образуются гололедоморозевые отложения, являющиеся причиной обрыва проводов.

Благодаря мониторингу состояния ВЛЭП можно предупредить аварии, препятствующие ее нормальной работе. Однако в связи с их труднодоступностью рациональнее использовать автоматизированные средства мониторинга [1]. В данном тезисе описана разработка экспериментального образца робота для мониторинга ВЛЭП (см. рис. 1).

Корпус для данной установки был распечатан на 3D принтере, в качестве мотора были выбраны двигатели постоянного тока JGA16-030 16mm Diameter Slow Speed High Torque Micro 6V DC Gear Motor. В роли мозгов установки выступает Ni MyRIO [2], программируемый при помощи языков C и LabVIEW.



Рисунок 1 — Проверка работоспособности робота на участке ВЛЭП

Благодарности

Исследования выполнены в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет2030»: соглашение №075-15-2021-1087 от 30.09.2021, соглашение №075-15-2021-1178 от 30.09.2021

Литература

1. Электроэнергетика- осмотр, очистка, ремонт ЛЭП. <http://robotrends.ru/robopedia/elektroenergetika---osmotr-ochistka-remont-lep> [1].
2. Базовое руководство по проектам NI MyRIO. myRIO_project_essentials_guide.pdf (training-labview.ru)

Разработка промышленного экзоскелета для горно-металлургических предприятий Арктической зоны

В.А. Давыдов

ООО «Норникель Спутник», Москва, DavydovVlAn@nornik.ru

Development of an industrial exoskeleton for mining and metallurgical enterprises of the Arctic zone

Vladislav A. Davydov

LLC «Nornickel Sputnik», Moscow, DavydovVlAn@nornik.ru

Профессиональные заболевания, вызванные физическими перегрузками и перенапряжением опорно-двигательного аппарата, занимают лидирующее положение на производстве. Как правило, они возникают при работе, связанной с подъемом и перемещением тяжестей, длительным пребыванием в определенной позе, частыми наклонами и поворотами в быстром темпе.

Несмотря на технические и технологические преобразования, происходящие в отраслях экономики, доля физического труда и работы с перегрузками отдельных органов и систем все еще остается достаточно высокой.

В ряде работ применяются грузоподъемные машины и механическое оборудование для подъема и перемещения тяжелых объектов. Однако, данное оборудование невозможно применить везде, где это необходимо, что обусловлено ограничениями мобильности и проходимости грузоподъемных средств. В некоторых условиях работник вынужден полагаться только на свою опорно-двигательную систему, подвергая её разного рода перегрузкам, что влечет за собой высокий риск получения травм и развития соответствующих заболеваний.

Эта проблема послужила катализатором идеи применения экзоскелета в ряде работ, связанных с манипуляциями тяжелыми грузами посредством мышечной силы работника.

Требовалось разработать экзоскелет, способный снизить нагрузку на опорно-двигательный аппарат работника, которому необходимо поднимать, переносить и удерживать в различных статических позах грузы весом до 45 кг. Конструкция экзоскелета должна позволить осуществить настройку под габариты людей ростом от 160 до 190 см и весом от 60 до 120 кг.

Компанией «Норникель», совместно с АО НТЦ «РОКАД» выполнена разработка промышленного экзоскелета (ПЭ), для нужд собственных предприятий (см. рис. 1).



Рисунок 1 — Промышленный экзоскелет Норникеля

Параллельно разработке выполнялись комплексные исследования при помощи ФГБНУ «НИИ медицины труда имени академика Н. Ф. Измерова», которые призваны получить исходную информацию, необходимую для формирования медико-технических требований на изготовление ПЭ для конкретных профессий, работники которых нуждаются в защите опорно-двигательного аппарата от вредного производственного фактора – тяжести трудового процесса – что является неотъемлемой частью исследований безопасности и эффективности применения ПЭ.

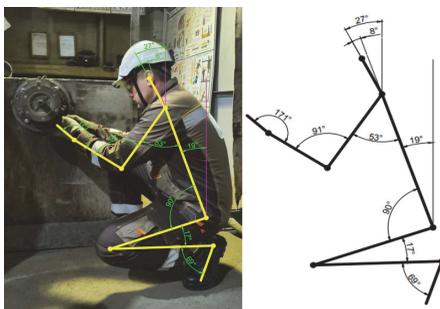


Рисунок 2 — Эпюра рабочей позы

В данной работе представлен обзор разработанного экзоскелета, анализ производственных операций, при выполнении которых целесообразно его применение и оценка результатов опытно-промышленных испытаний.

Конструктивные особенности промышленных экзоскелетов поддержки спины

И.С. Барынкин, А.И. Прядко, В.В. Варлашин
*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, i.barinkin@rtc.ru,
pryadko@rtc.ru, v.varlashin@rtc.ru*

Design features of industrial exoskeletons for back support

Ivan S. Barinkin, Alexey I. Pryadko, Victor V. Varlashin
*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, i.barinkin@rtc.ru, pryadko@rtc.ru, v.varlashin@rtc.ru*

В настоящей работе рассказывается о ключевых конструктивных особенностях экзоскелетов промышленного назначения, оснащенных модулем поддержки и разгрузки спины. Данные устройства предназначены для снятия или перераспределения нагрузки с опорно-двигательного аппарата человека при выполнении типовых ручных операций с грузами или инструментами, встречающимися на производстве. Конструирование подобных устройств оправдано высоким количеством травм позвоночника и мышц спины у работников предприятий, трудящихся на складе или сборочных линиях [1]. Применение экзоскелетов с разгрузкой спины позволит снизить количество производственных травм, возникающих при неправильной технике подъема груза.

Формируются общие требования к устройствам рассматриваемого типа [2]. Основанием для требований служат анатомическое строение туловища человека, кинематические особенности движения тела оператора при наклоне, и динамические особенности позвоночного столба и спины человека при нагружении, проявляющегося при совершении наклонов во фронтальной и сагитальной плоскости с грузом или инструментом. При удовлетворении данных требований, подобные устройства станут удобнее в использовании, а также будут способствовать снижению производственного травматизма.

Рассматриваются и анализируются различные технические решения, представленные как в виде патентов, так и в виде коммерческих продуктов. Дается подробное описание их конструкций и принципов работы, основанных на использовании пассивных упругих элементов и активных приводов. Выявляются достоинства и недостатки каждого технического решения, опираясь на ранее сформированные требования к конструктивным особенностям.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России 2023 года FNRG-2022-0020 1021101316102-1-2.2.2 № 075-01595-23-04 «Промышленный экзоскелетный комплекс с активными приводами и пассивными элементами разгрузки для повышения функциональных возможностей оператора при работе с тяжелым инструментом».

Литература

1. Бабанов Н. Д., Кубряк О. В. Физиологические методики в изучении «пассивных» промышленных экзоскелетов спины и нижних конечностей // Медицина труда и промышленная экология. – 2020. – Т. 60. – №. 5. – С. 318-328 – Текст: непосредственный
2. Мальчиков А. В. и др. Требования к конструкции и системе управления промышленного экзоскелета // Юность и знания-гарантия успеха-2019. – 2019. – С. 238-241.

Подходы к оценке и методы тестирования промышленных экзоскелетов

В.В. Варлашин, И.С. Барынкин, А.И. Прядко
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, v.varlashin@rtc.ru,
i.barinkin@rtc.ru, pryadko@rtc.ru

Approaches to evaluation and testing methods for industrial exoskeletons

Victor V. Varlashin, Ivan S. Barinkin, Alexey I. Pryadko
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, v.varlashin@rtc.ru, i.barinkin@rtc.ru, pryadko@rtc.ru

Объективная оценка качества и количества помощи рабочим, а также создание валидных методов тестирования экзоскелетов

является приоритетным направлением развития промышленных экзоскелетов, о чем говорит как принятие стандартов в данной области [1, 2], так и большое количество публикаций [3-7]. Современные исследования направлены на изучение как физиологической активности в процессе применения экзоскелетов [3-5], так и психологические аспекты применения [6]. Авторы [4] делят подходы к оценкам на три группы: *in vitro*, *in vivo* и *in silico*, рассматривая эффективность применения и методы по отдельности, что не позволяет в полной мере оценить тот или иной образец промышленного экзоскелета. В частности, в процессе разработки ГОСТ [2] техническим комитетом 320 «Средства индивидуальной защиты», подкомитетом 11 «Промышленные экзоскелеты», принято решение о разработке и сертификации испытательного стенда в виде массогабаритной модели человека со встроенными динамометрами.

В работе [7] предложен подход, в котором показатель эффективности экзоскелета рассматривается как совокупность количественных оценок его свойств с учетом весовых коэффициентов их значимости. Авторами предполагается назначение численных значений весовых коэффициентов экспертами, являющимися специалистами в предметной области, а также способы согласования весовых коэффициентов, назначенных разными экспертами.

Разработка объективного подхода позволит не только правильно и комплексно оценить эффективность экзоскелета, но и выработать методологию его подбора в зависимости от решаемых экзоскелетом задач.

Создание перечня атрибутов (техничко-эксплуатационных свойств экзоскелетов), характерных разным типам экзоскелетов, а также перечня возможных метрик и оборудования, необходимого для проведения исследований, является актуальной задачей и требует её детальной проработки.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России 2023 года FNRG-2022-0020 1021101316102-1-2.2.2 №075-01595-23-04 «Промышленный экзоскелетный комплекс с активными приводами и пассивными элементами разгрузки для повышения функциональных возможностей оператора при работе с тяжелым инструментом».

Литература

1. ГОСТ Р 1.16.320-1.086.20 "ССБТ. Средства индивидуальной защиты опорно-двигательного аппарата. Экзоскелеты промышленные. Классификация. Термины и определения" от 15.01.2023 // Росстандарт, 2021 - 30 с.
2. ГОСТ Р 1.16.320-1.087.20 "ССБТ. Средства индивидуальной защиты опорно-двигательного аппарата. Экзоскелеты промышленные. Общие требования. Методы определения защиты" от 15.01.2023 // Росстандарт, 2021 – 34 с.
3. Герегей А. М. и др. Современные методы оценки безопасности и физиологической эффективности применения промышленных экзоскелетов // ПРИ УЧАСТИИ Сети ВОЗ по оценке химического риска, RISE, специализированной группы по окружающей среде и неврологии Всемирной федерации неврологов, Университета Страсбурга (Франция), Университета штата Орегон (США), Университета Уппсала (Швеция), Национального института контроля пищевой продукции, Ханой (СРВ). – 2020. – С. 366.
4. Ralfs L. et al. Insights into evaluating and using industrial exoskeletons: Summary report, guideline, and lessons learned from the interdisciplinary project “Exo@ Work” // International Journal of Industrial Ergonomics. – 2023. – Т. 97. – С. 103494– Текст : непосредственный.
5. Li-Baboud Y. S. et al. Evaluation Methods and Measurement Challenges for Industrial Exoskeletons // Sensors. – 2023. – Т. 23. – №. 12. – С. 5604 – Текст : непосредственный.
6. Zheng L. et al. Evaluation and test methods of industrial exoskeletons in vitro, in vivo, and in silico: A critical review // Critical Reviews™ in Biomedical Engineering. – 2021. – Т. 49. – №. 4. – Текст : непосредственный.
7. Антохин Е.А. Методика оценки образцов активных экзоскелетов специального назначения, предназначенных для включения в состав экипировки военнослужащих / Е.А. Антохин // Робототехника и техническая кибернетика. – Т. 11. - № 1. – Санкт-Петербург : ЦНИИ РТК. – 2023. – С. 12-19. – Текст : непосредственный.

Захватные устройства для работы в стесненных пространствах

Д.О. Дохов¹, А.Э. Тарасов¹, А.Н. Тимофеев^{1,2}

¹ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, *d.dohov@rtc.ru*

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
(СПбПУ), Санкт-Петербург, Россия, *timofeevan@inbox.ru*

Gripping devices for working in cramped spaces

Daniil O. Dokhov¹, Alaxander E. Tarasov¹,
Andrey N. Timofeev^{1,2}

¹*Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics,
St. Petersburg, Russia, d.dohov@rtc.ru*

²*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU), St. Petersburg,
Russia, timofeevan@inbox.ru*

В экстремальных условиях встречаются задачи извлечения объектов манипулирования (далее – ОМ) из оборудования, статических конструкций и природных ниш, которые по размерам незначительно (порядка 10-15%) превышают поперечные габариты ОМ. В качестве ОМ могут быть опасные объекты, сменяемые блоки или узлы при обслуживании и ремонте. Манипуляторы для подобных задач обычно имеют дистанционное копирующее управление.

Ниши образуются грунтом или рядом располагающимися узлами или конструкциями. Существующие кисти, подобные руке человека, или клешневые хватные устройства (далее – ЗУ) при соответствующей грузоподъемности обычно слишком велики для эффективной работы в данных условиях, фактически они созданы для открытых пространств.

В нишах для захвата тяжелого ОМ необходимо кисть ввести в узкую щель между ОМ и стенкой ниши или соседним объектом, загнуть дистальную фалангу, подхватить ей объект и, придерживая противопоставленным пальцем, извлечь. Для этого кисть должна иметь возможность выводить пальцы в одну общую плоскость. Некоторые известные кисти могут это делать, но их поперечные габариты неприемлемо велики.

Простейшие двухпальцевые ЗУ недостаточно универсальны. А кисти с пятью пальцами слишком громоздки в области приводов на локтевом звене манипулятора. Минимально достаточными являются кисти с тремя пальцами, состоящие из двух фаланг. Они способны

контролировать положение центра тяжести и предотвращать опрокидывание ОМ.

Распространено размещение приводов пальцев на локтевом звене, как у человека, но это вызывает увеличение поперечных размеров руки манипулятора, что также затрудняет работу в узких нишах. Кроме того, усложняется передача движения к пальцам через шарнир запястья и другие элементы кисти.

С другой стороны, при требуемой грузоподъёмности и работы в нишах размещение приводов в пальцах на данный момент невозможно по причине отсутствия приводов с высокими удельными характеристиками. А размещение приводов в ладони увеличивает толщину кисти, что неприемлемо для работы в нишах.

В ЦНИИ РТК разрабатывается трёхпальцевая кисть, привода которой вынесены на локтевое звено. Привода не превышают размеры локтевого звена и соединены нитями с фалангами. Каждая фаланга требует две нити - рабочую и возвратную.

Управление сложной кистью с 12-15 степенями подвижности реально возможно только от задающей кисти, одеваемой оператором. Большинство имеющихся кистей имеет силовое очувствление только в направлении захватываемого объекта.

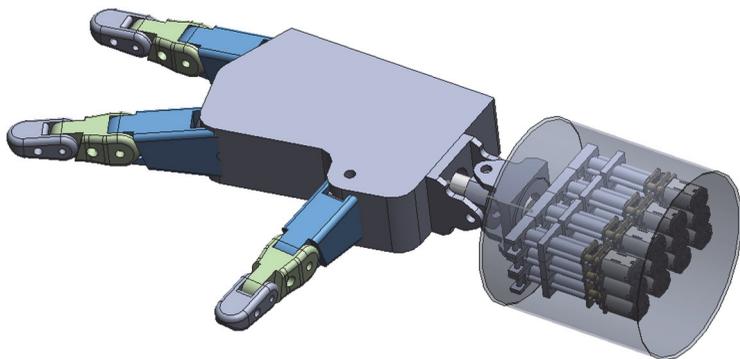


Рисунок 1 — Трёхпальцевая кисть

В нишах необходимо очувствление кисти как с внутренней стороны пальца, так и с тыльных, а также в поперечных направлениях. Соответственно, в тех же направлениях задающая кисть должна прилагать усилия к пальцам человека-оператора. С учётом подстройки геометрии задающей кисти для разных операторов решение этой задачи для пяти пальцев весьма затруднительно. Применительно к

трёхпальцевой кисти компоновка существенно упрощается. Приводы фаланг пальцев могут быть вынесены сбоку от большого, указательного пальцев и мизинца. Но в любом случае реализация требуемой компактности задающей кисти с практической точки зрения является нетривиальной задачей.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России 2023 года FNRG-2022-0012 1021051302301-9-2.2.2 №075-01595-23-04 «Разработка коллаборативного робота с ассистирующей двурукой антропоморфной манипуляционной системой для работы в пространствах малого объема».

Шарниры роботов на базе отечественных планетарно-дифференциальных редукторов

Ю.А. Новосёлов¹, А.Э. Тарасов¹, А.Н. Тимофеев^{1,2}

¹ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, yu.novoselov@rtc.ru

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ), Санкт-Петербург, Россия, timofeevan@inbox.ru

Robot hinges based on domestic planetary-differential reductor

Yurii A. Novoselov¹, Alaxander E. Tarasov¹,
Andrey N. Timofeev^{1,2}

¹*Russian state scientific center for robotics and technical cybernetics,
St. Petersburg, Russia, yu.novoselov@rtc.ru*

²*Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU), St. Petersburg,
Russia, timofeevan@inbox.ru*

Большинство шарниров роботов строится на базе волновых и планетарно-цевочных редукторов. Из-за практически монопольного производства подобных редукторов в недружественных странах и ограничений санкционной политики их использование весьма затруднительно в отечественной робототехнике.

Замена этих редукторов доступными планетарными и обычными цилиндрическими редукторами приводит к неприемлемому завышению массогабаритных характеристик.

Для решения этой проблемы в ЦНИИ РТК был разработан планетарно-дифференциальный редуктор.

В ЦНИИ РТК разрабатывается оригинальный манипулятор на базе планетарно-дифференциального редуктора.

Каждый шарнир состоит из бескорпусного вентильного электродвигателя, планетарно-дифференциального редуктора, углового датчика положения выходного звена и токосъёмника.

Редуктор встроен между опорами выходного звена. Токосъёмник расположен в свободной полости редуктора и электродвигателя – в центре на оси шарнира.

В ЦНИИ РТК разработано несколько типоразмеров данных шарниров. Характеристики приведены в таблице 1.

На базе данных шарниров разработан 5-степенной манипулятор (2 степени поворота входят в состав захватного устройства) для экстремальных условий работы с грузоподъёмностью 5 кг и рабочей зоной радиусом 0,7 м.

Используемый планетарно-дифференциальный редуктор обеспечивает самоторможение, что позволяет отказаться от использования тормозов.

Таблица 1 – Параметры шарниров на базе отечественных планетарно-дифференциальных редукторов

Типоразмер шарнира	Шарнир плечевой	Шарнир локтевой
Диаметр, мм	105	84
Длина, мм	135	105
Масса, кг	3	2
Момент номинальный, Н*м	52	35
Момент максимальный, Н*м	104	70
Передаточное отношение	108,4	225
Скорость, об/мин	27,7	24,4

Шарнир спроектирован с учётом использования материалов и технологий, распространённых в отечественном машиностроении. Количество экономически-затратных элементов меньше по сравнению с шарнирами на базе классических планетарных и цилиндрических редукторов, что ожидаемо должно снизить себестоимость шарнира.

Предлагаемый шарнир при освоении его производства отечественной промышленностью может быть перспективен в отечественной робототехнике и мехатронных системах.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России 2023 года FNRG-2022-0012 1021051302301-9-2.2.2 №075-01595-23-04 «Разработка коллаборативного робота с ассистирующей двурукой антропоморфной манипуляционной системой для работы в пространствах малого объема».

Вопросы разработки тазобедренного шарнира активного промышленного экзоскелета

А.И. Прядко, И.С. Барынкин, В.В. Варлашин
*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, pryadko@rtc.ru,
i.barinkin@rtc.ru, v.varlashin@rtc.ru*

Issues in the development of the hip joint of an active industrial exoskeleton

Alexey I. Pryadko, Ivan S. Barinkin, Victor V. Varlashin
*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, pryadko@rtc.ru, i.barinkin@rtc.ru, v.varlashin@rtc.ru*

Современные тенденции повышения эффективности ручного труда на производстве в частности при выполнении погрузочно-разгрузочных работ, особенно такелажных работ, предполагающих поднятие и перемещение разнообразных тяжелых и/или объёмных предметов, а также при монтаже или сборке узлов и агрегатов, предполагающих удержание и фиксацию деталей или инструмента при выполнении работ, сопровождаются повышением статических и динамических физических нагрузок на опорно-двигательный аппарат работника.

Действенным способом снижения тяжести данного вида ручного труда в последнее время является применение промышленных экзоскелетов. Они являются носимыми на человеке–операторе средствами индивидуальной защиты опорно-двигательного аппарата, компенсирующими и перераспределяющими нагрузку и предотвра-

щающие или снижающие негативное воздействие тяжести трудового процесса на человека. Промышленные экзоскелеты используются при манипуляциях с грузами и предназначены для усиления физических возможностей человека [1].

В работе рассмотрены проблемы, возникающие при разработке активных промышленных экзоскелетов, которые представляют собой внешнюю механическую несущую конструкцию, которая прикрепляется к телу человека с помощью манжет. В общем случае, принцип действия экзоскелета такого типа основан на передаче нагрузки с человека на механический силовой каркас и компенсации изгибающих моментов в суставах. Кинематически и конструктивно экзоскелеты устроены подобно скелету человека, при этом его звенья соединяются посредством шарниров, часть из которых могут быть оснащены накопителями потенциальной энергии, создающими необходимые моменты в тех или иных шарнирах, что помогает оператору выполнять заданные операции, снижая уровень нагрузки на мышечную систему. В случае же оснащения шарниров активными силовыми приводами можно достичь практически полной разгрузки человека.

Предложен вариант реализации активного тазобедренного шарнира комбинированного действия, объединяющего в себе пассивные накопители упругой энергии – газовую пружину и винтовую пружину сжатия, и активный привод дожатия винтовой пружины. Рассмотрены вопросы разрешения технического противоречия, заключающегося в необходимости обеспечения накопления необходимого запаса упругой энергии для разгрузки вставания оператора из положения приседа с грузом при такой организации функционирования тазобедренного шарнира, которая обеспечивает удобство оператора в экзоскелете в режиме нестесненного шагания в вертикальном положении, а также обеспечение работы эффективного функционирования экзоскелета в широком диапазоне разрешенных санитарными нормами охраны труда рабочих температур от -40°C до $+55^{\circ}\text{C}$.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России 2023 года FNRG-2022-0020 1021101316102-1-2.2.2 № 075-01595-23-04 «Промышленный экзоскелетный комплекс с активными приводами и пассивными элементами разгрузки для повышения функциональных возможностей оператора при работе с тяжелым инструментом».

Литература

1. Оразов, А. Т. Аналитический обзор принципиальных и компоновочных схем современных экзоскелетов / А. Т. Оразов // Молодежный вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2013. – № 3(8). – С. 84-92. – Текст: непосредственный.

Применение VR-технологий для управления антропоморфной манипуляционной системой

М.Г. Фиков, В.В. Варлашин
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, m.fikov@rtc.ru,
v.varlashin@rtc.ru

Application of VR technologies to control an anthropomorphic manipulation system

Mikhail G. Fikov, Victor V. Varlashin
Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, m.fikov@rtc.ru, v.varlashin@rtc.ru

Возможность использования технологий виртуальной и дополненной реальности в контуре мониторинга и дистанционного управления различного рода робототехническими устройствами позволяет изменить подходы к их телеуправлению [1]. Несмотря на высокие достижения в области искусственного интеллекта, существующие решения не позволяют в полной мере решать такие сложные задачи, как обследование завалов, поиск пострадавших, манипулирование с опасными объектами.

«Традиционные» системы управления на базе пультов с плоским экраном и задающими рукоятками ограничивают восприятие оператором окружающей среды. Перспективными решениями в данной области видятся технологии VR.

Наиболее продвинутые решения в данной области [2] предполагают использование VR-гарнитур (HMD (англ. head mounted display), или VR-шлем) для управления манипуляционными системами. Использование визуальных данных в формате стереоскопического изображения позволяет представить информацию в наиболее интуитивной форме для восприятия.

Существующие исследования показывают [3], что управление антропоморфными манипуляционными системами включает в себя режимы телеоперирования и телеприсутствия, при этом телеприсутствие может быть разделено на две категории [1]:

- с эгоцентрическим отображением состояния робота;
- с робоцентрическим отображением состояния робота;

Авторы работ [1-3] в качестве основной проблемы применения VR-технологий выделяют задержки в контуре управления двух типов:

- задержка видеок кадров;
- задержка команд управления.

Такие временные двунаправленные задержки требуют поиска новых подходов к управлению антропоморфными манипуляционными системами и решений проблем задержки алгоритмическими методами.

Одним из современных способов решения данной проблемы является метод поддержки оператора, описанный в работе [4]. Метод заключается в следующем: на изображении, поступающие на пульт управления оператора, накладывается дополнительная визуальная информация о положении объекта управления в тот момент, когда он получит формируемые команды, то есть строится предсказание по описанной в работе [4] модели объекта. Результаты исследования показывают эффективность предложенного метода и позволяют предположить возможность применения данного подхода к антропоморфным манипуляционным системам.

В работе рассмотрена конфигурация эргатической системы управления двурукой антропоморфной манипуляционной системой на основе технологий VR, обеспечивающая интуитивно-естественное управление манипуляторами. Подготовленные в ходе разработки системы управления трехмерные модели манипуляционной системы реализованы в пакете Unity и используются как для управления манипуляторами, так и для разработки учебно-тренировочных комплексов, в которых имитируются возможные нестационарные задержки в контуре управления.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России 2023 года FNRG-2022-0012 1021051302301-9-2.2.2 №075-01595-23-04 «Разработка коллаборативного робота с ассистирующей двурукой антропоморфной манипуляционной системой для работы в пространствах малого объема».

Литература

1. Кугуракова В. В. и др. Удаленное управление роботизированным устройством с использованием технологий виртуальной реальности // Программные продукты и системы. – 2022. – Т. 35. – №. 3. – С. 348-361. – Текст: непосредственный.
2. Nakanishi J. et al. Towards the development of an intuitive teleoperation system for human support robot using a VR device // Advanced Robotics. – 2020. – Т. 34. – №. 19. – С. 1239-1253. – Текст: непосредственный.
3. Сычков, В. Б. Анализ способов взаимодействия оператора с антропоморфным манипулятором / В. Б. Сычков // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений (ITIDS'2019) : Труды VII Всероссийской научной конференции (с приглашением зарубежных ученых): в 3 томах, Уфа, 28–30 мая 2019 года. Том 2. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2019. – С. 190-195. – Текст: непосредственный.
4. Попов Д.С. Использование дополненной реальности при дистанционном управлении мобильными роботами в условиях наличия задержек в каналах передачи информации / Д.С. Попов // Робототехника и техническая кибернетика. – Т. 10. - № 4. – Санкт-Петербург : ЦНИИ РТК. – 2022. – С. 275-280. – Текст : непосредственный.

Перспективные полупроводниковые материалы для применения в экстремальных условиях

И.Э. Новиков

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, Novikov@rtc.ru

Promising semiconductor materials for extreme applications

Igor E. Novikov

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russia, Novikov@rtc.ru*

Анализ тенденций развития атомной промышленности, ядерной энергетики, военной и космической техники, а также техники предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций показывает необходимость разработки изделий электроники нового поколения - так называемой «экстремальной электроники». Это приборы и

схемы, способные работать в экстремальных условиях при повышенных уровнях радиации, температуры и химической активности. Исследования и производство широкозонных полупроводниковых материалов направлены на создание изделий электроники, способных удовлетворить этим требованиям [1,2,3]. К таким материалам относятся в первую очередь карбид кремния (SiC) и нитрид галлия (GaN). Арсенид галлия (GaAs) обладает большей, чем у кремния шириной запрещенной зоны, при этом является относительно дешевым и промышленно освоенным полупроводником. Изделия на их основе способны обеспечить реализацию уникальных свойств, принципиально недоступных для изделий на базе применения классического кремния.

Карбид кремния (SiC)

Карбид кремния является одним из наиболее радиационно-стойких полупроводников, перспективных для использования в экстремальных условиях. Ширина запрещенной зоны SiC составляет от 3.28 до 3.03 эВ (в зависимости от политипа). Карбид кремния обладает химической стабильностью, значительным напряжением пробоя, высокой теплопроводностью, высокой стойкостью к повышенным температурам (рабочая температура кристалла более 600°C против 200°C для кремния) и радиационным излучением, высокой температурой Дебая, которая характеризует его устойчивость к внешним воздействиям, возможностью легирования его акцепторными и донорными примесями. Его высокие рабочие температуры, высокая механическая прочность и хорошая теплопроводность позволяет работать с большими мощностями, недостижимыми для других полупроводников. В настоящее время SiC широко используется в составе силовых приборов и устройств специального назначения с повышенными требованиями надежности по рабочим температурам и устойчивости к ионизирующему излучению [1,2,3].

Кроме того, SiC рассматривается как материал, перспективный для производства на его основе детектора высокоэнергичных излучений, способного работать в экстремальных условиях высокой дозовой загрузки для обеспечения современных и проектируемых ускорителей элементарных частиц [1].

Арсенид галлия (GaAs)

Арсенид галлия занимает второе после кремния место по использованию в полупроводниковой электронике.

Его уникальные свойства – высокие значения дрейфовой скорости и подвижности в электрических полях низкой напряженности электронов (в шесть раз большая, чем в кремнии) определяют его преимущества в СВЧ диапазоне. Кроме того, малая величина времени жизни неосновных носителей и большая, чем у кремния ширина запрещенной зоны делают арсенид галлия перспективным материалом для создания радиационно-стойких приборов и интегральных схем.

К недостаткам этого материала относят низкую теплопроводность, что приводит к проблемам при проектировании мощных интегральных схем [2].

Нитрид галлия (GaN)

Начиная с 1994 г. нитрид галлия проходит стадию бурного развития. Ширина его запрещенной зоны при комнатной температуре составляет 3.4 эВ, что на 2 эВ больше, чем у GaAs. Наличие высоких подвижности и концентрации носителей в сочетании с широкой запрещенной зоной обуславливает уникальное сочетание частотных и мощностных свойств GaN приборов, а также возможность работать при повышенных температурах. Приборы на его основе способны работать в значительно более широком диапазоне частот и при более высоких температурах, а также с большей выходной мощностью по сравнению с приборами или на любом освоенном в производстве полупроводниковом материале.

К недостаткам нитрида галлия относят высокую стоимость приборов, а также проблемы подложек для его формирования [2].

В настоящее время разработка и применение таких полупроводников, как карбида кремния, арсенида галлия, нитрида галлия получили широкое развитие [2,3]. Реализация их свойств и обеспечение конкурентоспособности изделий на их основе критически зависят от решения технологических проблем, связанных с их изготовлением. Изучение их свойств, в том числе устойчивости к радиационному воздействию, возможности изменения электрофизических параметров и другие существенных характеристик различными методами, включая радиационное легирование [4], является актуальной задачей научных исследований.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2023-0001 1022113000016-5-2.5.1 № 075-01595-23-01 «Исследование влияния нейтронного излучения на свойства полупроводниковых материалов».

Литература

1. Калинина, Е.В. Управление электрофизическими параметрами слоев карбида кремния и создание приборов для эксплуатации в экстремальных условиях / Е.В. Калинина, – Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук – Санкт-Петербург 2009 – 251 с.
2. Громов Д.В., Краснюк А.А. Материаловедение для микро- и наноэлектроники: Учебное пособие. М.: МИФИ, 2008. – 156 с.
3. Современные и перспективные полупроводниковые материалы для микроэлектроники следующего десятилетия (2020-2030 гг.) А. А. Демидов, С. Б. Рыбалка. Брянский государственный технический университет / Прикладная математика & Физика, 2021, том 53, №1. С. 53–72.
4. Брудный, В.Н. Радиационные эффекты в полупроводниках / В.Н. Брудный // Вестник Томского государственного университета. – 2005 – №285: Серия «Физика». – С. 95 – 102.

Перспективные материалы в области полупроводниковой техники для решения задач экстремальной робототехники

О.В. Вольпяс, Ю.Ю. Бунькова, М.В. Ремизов
*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Российская Федерация,
o.volpyas@rtc.ru, yu.bunkova@rtc.ru, m.remizov@rtc.ru*

Advanced materials in the field of semiconductor technology for solving tasks of extreme robotics

Olga V. Volpyas, Yulia Yu. Bunkova, Mikhail V. Remizov
*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
St. Petersburg, Russian Federation, o.volpyas@rtc.ru, yu.bunkova@rtc.ru,
m.remizov@rtc.ru*

Исследования полупроводниковых материалов, их структуры и свойств актуальны для разработки и внедрения перспективных технологий, направленных в том числе на реализацию новых свойств полупроводниковых материалов для развития микроэлектроники и применения, например, в качестве элементов компонентной базы, обеспечивающей радиационную стойкость измерительной аппаратуры для экстремальных условий.

В настоящее время широкое применение получают новые полупроводниковые материалы. Но их использование зачастую ограничено определенной областью, и возможности некоторых из них до сих пор не до конца изучены.

Особо чистый германий (ОЧГ)

ОЧГ обладает уникальными свойствами и является перспективным материалом в таких сферах, как радиационная безопасность, солнечная энергетика и космические технологии. Детекторы ионизирующего излучения на основе ОЧГ обладают высоким энергетическим разрешением, лежащим в пределах от 1 до 2 кэВ, а эффективность регистрации гамма-квантов доходит до 100 %. Но производство ОЧГ – дорогостоящий технологический процесс, в том числе и по обеспечению степени очистки образцов.

Материалы со структурой перовскита

Перовскитные материалы активно изучаются научным сообществом. Толерантность к дефектам, возможность изменения ширины запрещенной зоны в широком диапазоне от 1,4 до 2,3 эВ, а также большое разнообразие соединений с разными свойствами делают перовскитные соединения перспективными материалами при производстве приборов и устройств солнечной энергетике и радиационного контроля.

Металлоорганические материалы

Металлоорганические материалы представляют собой химические соединения, состоящие из катионов или кластеров металлов и органических лиганд. Преимуществами металлоорганических соединений является их простой синтез, высокая чувствительность к рентгеновскому излучению (при небольших размерах детекторов). Минимальная детектируемая доза составляет 0,705 мкГр с⁻¹, что является рекордным значением среди всех детекторов на основе поликристаллических материалов. Материалы могут быть использованы при производстве детекторов химических элементов, лазеров, светодиодов.

В настоящее время активно развиваются новые способы изучения свойств полупроводниковых материалов. В качестве объектов исследований чаще выступают такие перспективные полупроводники, как ОЧГ, перовскиты и металлоорганические соединения.

Благодарности

Результаты получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России FNRG-2023-0001 1022113000016-5-2.5.1 № 075-01595-23-01 «Исследование влияния нейтронного излучения на свойства полупроводниковых материалов».

Литература

1. Алейников Ю.В. Моделирование полупроводникового детектора из особо чистого германия / Ю.В. Алейников, Ю.А. Попов, И.В. Прозорова, [и др.] // Известия ТПУ. – 2017. – Т. 328, №7. – С. 76-85.
2. Moure C. Recent advances in perovskites: Processing and properties / C. Moure, O. Peña // Progress in Solid State Chemistry. – 2015. – V. 43, № 4. – P. 123-148.
3. Zhichao H. Luminescent metal–organic frameworks for chemical sensing and explosive detection / H. Zhichao, B.J. Deibert, J. Li // Chemical Society Review. – 2014. – V. 43, № 16. – P. 5815-5840.
4. Самойлова Н. Амины с длинными «хвостами» повысили стабильность перовскитных солнечных элементов / Н. Самойлова // Элементы большой науки : электронный журнал. – URL: https://elementy.ru/novosti_nauki/433621/Aminy_s_dlinnymi_khvostami_povyсили_stabilnost_perovskitnykh_solnechnykh_elementov. – Дата публикации: 17.03.2020.
5. Кондратьев В.Ф. Результаты разработки портативного ОЧГ спектрометра гамма-излучения с электроохлаждением для полевых применений / В.Ф. Кондратьев, Э.Л. Лошевич, А.Б. Пчелинцев [и др.] // Ядерная и радиационная безопасность. 2015. № 3. – С. 54-56.
6. Wang Y. Direct Radiation Detection by a Semiconductive Metal–Organic Framework / Y. Wang, X. Liu, F. Zhai // Journal of the American Chemical Society. – 2019. – V. 141, № 20. – P. 8030-8034.

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

34^{-я} Международной научно-технической конференции
«ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

23-24 ноября 2023 года,
Санкт-Петербург, Россия

ABSTRACTS

of the 34th International Scientific and Technological Conference
«EXTREME ROBOTICS»

November 23-24, 2023,
Saint Petersburg, Russia

Подписано в печать 25.10.2023

Формат А5. Печать – цифровая. Тираж 400 экз.

Отпечатано в ООО «РА ФОРТУНА» с оригинал-макета заказчика