

EXTREME ROBOTICS (ER-2017)

Сборник тезисов
международной научно-технической конференции

ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА

2-3 ноября 2017 года, Санкт-Петербург

Abstracts of the International
Scientific-and-Technological Conference

EXTREME ROBOTICS

November 2-3, 2017, Saint-Petersburg, Russia



ISSN 2310-5305

Включен в базу данных РИНЦ с 06.05.2014
Подписной индекс в каталоге «Роспечать» - 59896

Журнал «РОБОТОТЕХНИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-56391 от 11 декабря 2013 г.

Журнал является рецензируемым изданием

РОБОТОТЕХНИКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ КИБЕРНЕТИКА

выпускается с 2013 года

научно-технический журнал

Журнал «Робототехника и техническая кибернетика» с 29.05.2017 включён 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», сформированный в соответствии с приказом Минобрнауки России от 25 июля 2014 г. № 793 с изменениями, внесенными приказом Минобрнауки России от 03 июня 2015 г. № 560 и Правилами на основе рекомендаций Высшей аттестационной комиссии (ВАК) при Минобрнауки России



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)

Издатель



Цели и задачи

- Содействие повышению научно-технического и технологического уровня создаваемых средств робототехники и технической кибернетики
- Информационная поддержка профильных организаций
- Анализ и прогнозирование научно-технического развития робототехники и технической кибернетики, обсуждение проблем высшей школы, рецензирование учебников и учебных пособий
- Привлечение молодых специалистов к деятельности журнала, предоставление им «площадки» для публикации результатов их научной и практической деятельности

Адрес редакции: Россия, 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., 21
Тел.: +7(812) 552-13-25, e-mail: zheleznyakov@rtc.ru, www.rusrobotics.ru

ОРГАНИЗАТОР Государственный научный центр Российской Федерации
«Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики»
ORGANISER Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics



ПРИ ПОДДЕРЖКЕ SUPPORTED BY



ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА INFORMATION SUPPORT

ЖУРНАЛ
«Труды СПИИРАН»

ЖУРНАЛ «Мехатроника,
автоматизация, управление»

ЖУРНАЛ «Робототехника
и техническая кибернетика»

Сборник тезисов
Международной научно-технической конференции

ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА

2-3 ноября 2017 года, Санкт-Петербург

Abstracts
of the International Scientific and Technological Conference

EXTREME ROBOTICS

November 2-3, 2017, Saint-Petersburg, Russia



УДК 004.896.007.52

ББК 32813

Э41

ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА. // Сборник тезисов
Международной научно-технической конференции. –
СПб: Издательско-полиграфический комплекс "Гангут", 2017.- 272 с.

Материалы сборника отражают круг актуальных проблем и задач в сфере робототехнических систем и средств безопасности, представленных на Международной научно-технической конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА (ЭР-2017)».

Проект реализован при поддержке Минобрнауки России

Тезисы опубликованы в авторской редакции.

Дизайн Ирины Купцовой, e-mail: kuptzova@rtc.ru

EXTREME ROBOTICS. // Abstracts of the International Scientific and Technological Conference. – Saint-Petersburg: «Gangut», 2017. – 272 p.

The materials of these collected articles embrace a range of vital problems and tasks in the sphere of safety facilities and robotic systems intended for a space activity which have been discussed at the International Scientific and Technological Conference «EXTREME ROBOTICS (ER-2017)».

The project is held under support of Ministry of Education and Science of the Russian Federation

Abstracts are published with author's correction only.

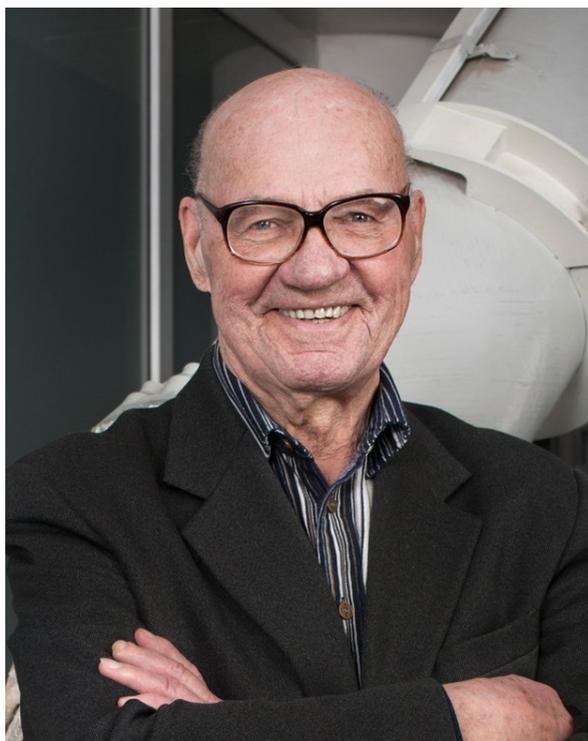
Design by Irina Kuptcova, kuptzova@rtc.ru

Оформление

©ООО "ИПК "Гангут"

ISBN 978-5-85875-522-7

©ЦНИИ робототехники и технической кибернетики, 2017



*Основатель и первый директор ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, д.т.н.,
профессор, заслуженный деятель науки и техники Российской
Федерации, почетный главный конструктор ГНЦ РФ ЦНИИ РТК,
председатель программного комитета конференции
«ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА»*
Юревич Евгений Иванович

*Founder and First Director of the Russian Scientific Center for
Robotics and Technical Cybernetics (RTC), Doctor of Technical Sciences,
Professor, Honoured Science and Technology Worker of the Russian
Federation, Honorary Chief Designer of RTC,
Chairman of the Program Committee
of EXTREME ROBOTICS Conference*
Evgeny Yurevich



Уважаемые коллеги!

*От имени
межведомственной рабочей группы
Военно-промышленной комиссии
Российской Федерации
приветствую участников
международной научно-
технической конференции
«ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ
РОБОТОТЕХНИКА».*

*Обеспечение безопасности
государства и его населения –
комплексная задача, включающая в
себя развитие системы
предотвращения чрезвычайных
ситуаций, системы помощи и
поддержки пострадавших, в том
числе совершенствование
технического оснащения поисково-
спасательных служб.*

Dear Colleagues!

*On behalf of the Interagency
Task Force of the Military-Industrial
Commission of the Russian
Federation I greet participants of the
International Scientific-and-
Technological Conference
«EXTREME ROBOTICS».*

*Ensuring the security of the
state and its population is a complex
task including the development of a
system for preventing emergencies, a
system of assistance and support to
victims including updating technique
of search and rescue services.*

*I am glad that the Conference
devoted to these problems is held
annually in St. Petersburg. Scientists
and young specialists, developers and
customers will be able to become*

Я рад, что в Санкт-Петербурге ежегодно проходит конференция, посвященная этим вопросам. Ученые и молодые специалисты, разработчики и заказчики смогут стать участниками интересных дискуссий по ключевым вопросам в сфере робототехнических систем и средств безопасности, получить информацию об актуальных направлениях исследований в данной области, публично представить и обсудить результаты своих исследований и разработок.

Уверен, что конференция не только предоставит дополнительные возможности для ведения прямого диалога между разработчиками продукции и представителями министерств и ведомств, отвечающих за обеспечение обороноспособности государства и его национальной безопасности, но и будет способствовать подготовке и воспитанию молодых специалистов.

Желаю участникам конференции успешной и плодотворной работы!

Руководитель
межведомственной рабочей
группы Военно-промышленной
комиссии Российской Федерации

participants of the interesting discussions on the key questions in the sphere of robotic systems and security equipment, to get information on current research trends in this field, to publicly present and discuss the results of their research and development.

I am sure that this Conference will give not only additional possibilities for direct dialogue between product developers and representatives of the ministries and agencies, which are responsible for ensuring a defense capability of the state and its national security, but will contribute also to the training and education of young specialists.

I wish all participants of the Conference successful and fruitful work!

Head of the Interagency Task Force
of the Military-Industrial Commission
of the Russian Federation



О.В. Мартьянов
Oleg Martyanov



Уважаемые коллеги!

Приветствую участников 28-й Международной научно-технической конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА» в государственном научном центре Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики».

Сегодня экстремальная робототехника относится к наиболее перспективному направлению науки и техники, определяющему темпы и характер развития многих отраслей. Необходимость создания робототехнических средств нового поколения ставит задачу межотраслевого характера,

Dear Colleagues!

I am glad to welcome participants of the 28th International Scientific and Technological Conference «EXTREME ROBOTICS» at the Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), Saint-Petersburg, Russia.

Today extreme robotics belongs to the most promising direction of science and technology, determining the pace and nature of development of many industries. The need to create robotic devices of a new generation robotic tools poses a task of an interbranch nature associated with a development of mechatronic technologies, an implementation of the principles

связанную с развитием мехатронных технологий, реализацией принципов унификации и миниатюризации.

В этом году конференция состоится в расширенном формате, и ее заседания пройдут на базе выездных площадок, предоставленных Военной академией связи им. С.М. Буденного, Политехническим университетом Петра Великого, Первым Санкт-Петербургским государственным медицинским университетом им. академика И.П. Павлова, а также Центром детско-юношеского технического творчества и информационных технологий г. Пушкина.

Уверен, что в этом году общение представителей силовых министерств и ведомств России, научных и учебных организаций, бизнеса и промышленности позволит выработать как новые стратегии развития экстремальной робототехники, так и сформировать предложения по перспективным образовательным технологиям подготовки кадров для высокотехнологичных производств.

Желаю плодотворной работы всем участникам конференции!

Директор-главный конструктор
ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, д.т.н.

of unification and miniaturization.

This year the conference will be held in an expanded format, and its sessions will be held on the basis of distributed venues provided by the Military Academy of the Signal Corps named after S.M. Budjonny, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Pavlov First Saint-Petersburg State Medical University, as well as the Center for Children and Youth Technical Creativity and Information Technologies in Pushkin town.

I am sure that this year the communication of representatives of the Russian power ministries and agencies, scientific and educational organizations, business and industry will allow both developing new strategies of development of extreme robotics and forming proposals on promising educational technologies for training personnel for high-tech industries.

I wish fruitful work to all participants of the Conference!

Director-Chief Designer RTC,
Doctor of Technical Sciences



А.В. Лопома
Alexander Lopota

ОРГАНИЗАТОР

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

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ

- *Министерства образования и науки Российской Федерации*
- *Военно-промышленной комиссии Российской Федерации*
- *Министерства обороны Российской Федерации*
- *Федеральной службы безопасности Российской Федерации*
- *Федеральной службы войск национальной гвардии Российской Федерации*
- *Министерства внутренних дел Российской Федерации*
- *Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий*
- *Министерства промышленности и торговли Российской Федерации*
- *Министерства здравоохранения Российской Федерации*
- *Государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос»*
- *Федерального агентства научных организаций*
- *Фонда перспективных исследований*
- *Российской академии наук*
- *Ассоциации государственных научных центров «Наука»*
- *Правительства Санкт-Петербурга*
- *Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ)*

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА

- *Теоретический и прикладной научно-технический журнал «Мехатроника, автоматизация, управление», Москва*
- *Журнал «Труды СПИИРАН», Санкт-Петербург*
- *Научно-технический журнал «Робототехника и техническая кибернетика», Санкт-Петербург*
- *Журнал «Новый Оборонный Заказ. Стратегии», Санкт-Петербург*

ORGANIZER

- *Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC), Saint-Petersburg, Russia*

WITH SUPPORT OF

- *Ministry of Education and Science of the Russian Federation*
- *Military-Industrial Commission of the Russian Federation*
- *Ministry of Defence of the Russia*
- *Federal Security Service of the Russian Federation*
- *Federal service of troops of national guard of the Russian Federation*
- *Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation*
- *EMERCOM of Russia*
- *Ministry of Industry and Trade of the Russian Federation*
- *Ministry of Health of the Russian Federation*
- *State space corporation ROSKOSMOS*
- *Federal Agency for Scientific Organizations*
- *Fund of perspective researches*
- *Russian Academy of Sciences*
- *State Scientific Centers of the Russian Federation Association*
- *Government of St. Petersburg*
- *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*

INFORMATION SUPPORT

- *Journal «Mechatronics, Automation, Control», Moscow, Russia*
- *Journal «Proceedings SPIIRAS», Saint-Petersburg, Russia*
- *Journal «Robotics and Technical Cybernetics», Saint-Petersburg, Russia*
- *Journal «New Defensive Order. Strategy», Saint-Petersburg, Russia*

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель:

- **Юевич Евгений Иванович**, д.т.н., профессор, почетный главный конструктор ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург

Почетный сопредседатель:

- **Мартьянов Олег Викторович**, руководитель межведомственной рабочей группы Военно-промышленной комиссии Российской Федерации

Заместитель председателя:

- **Грязнов Николай Анатольевич**, к.ф.-м.н., заместитель директора по научной работе ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург

Ученый секретарь:

- **Павлов Владимир Анатольевич**, к.т.н., заместитель начальника сектора ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург

Члены программного комитета:

- **Андреев Виктор Павлович**, д.т.н., профессор, МГТУ «СТАНКИН», Москва
- **Брискин Евгений Самуилович**, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой ВолгГТУ, Волгоград
- **Заборовский Владимир Сергеевич**, д.т.н., профессор СПбПУ; заместитель главного конструктора ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург; член Международной ассоциации академических, исследовательских и промышленных предприятий (IARIA)
- **Каталинич Бранко**, доктор, президент Международной ассоциации ДАААМ, Австрия
- **Кутузов Владимир Михайлович**, д.т.н., ректор СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург
- **Максимов Андрей Станиславович**, председатель Комитета по науке и высшей школе Санкт-Петербурга
- **Павловский Владимир Евгеньевич**, д.ф.-м.н., профессор, ведущий научный сотрудник ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва; член Научного совета РАН по робототехнике и мехатронике, Москва
- **Пряничников Валентин Евгеньевич**, д.т.н., профессор ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва; представитель Международной ассоциации по автоматизации в машиностроении (DAAAM International Vienna) в России
- **Ронжисин Андрей Леонидович**, д.т.н., заместитель директора по научной работе СПИИРАН, Санкт-Петербург
- **Рудской Андрей Иванович**, академик РАН, ректор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
- **Филимонов Николай Борисович**, д.т.н., профессор, главный редактор теоретического и прикладного научно-технического журнала «Мехатроника, автоматизация, управление (МАУ)», Москва
- **Ющенко Аркадий Семенович**, д.т.н., профессор, заместитель заведующего кафедрой «Робототехнические системы и мехатроника» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

CONFERENCE PROGRAM COMMITTEE

Chairman:

- **Yurevich Eugeny**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honorary Chief Designer of RTC, Saint-Petersburg

Honorary Co-Chairman:

- **Martyanov Oleg**, Head of the Interagency Task Force of the Military-Industrial Commission of the Russian Federation

Deputy Chairman:

- **Gryaznov Nikolay**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Deputy Director for Science of RTC, Saint-Petersburg

Academic Secretary:

- **Pavlov Vladimir**, Candidate in Technical Sciences, Deputy Head of Department, RTC, Saint-Petersburg

Members of Program Committee:

- **Andreev Victor**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Moscow State Technical University of Technology «STANKIN», Moscow
- **Briskin Eugeny**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of Chair, Volgograd State Technical University, Volgograd
- **Filimonov Nikolay**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Editor of monthly scientific-and-technological and production journal «Mechatronics, Automation and Control», Moscow
- **Katalinic Branko**, Doctor, President of the DAAAM International Association, Austria
- **Kutuzov Vladimir**, Doctor of Technical Sciences, Rector of ETU «LETI», Saint-Petersburg
- **Maksimov Andrey**, Chairman of Committee for Education and Higher School of Saint-Petersburg
- **Pavlovsky Vladimir**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, leading researcher of Institute for Problems in Mechanics of the RAS, Moscow; member of RAS Academic Council on Robotics and Mechatronics
- **Pryanichnikov Valentine**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Institute for Problems in Mechanics of RAS, Moscow; representative of the International Association «DAAM International Vienna» in Russia
- **Ronzhin Andrey**, Doctor of Technical Sciences, Deputy Director for Research of St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences
- **Rudskoy Andrey**, Academician of the Russian Academy of Science, Rector of Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University
- **Yushchenko Arkady** Doctor of Technical Sciences, Professor, Baumann State Technical University, Moscow
- **Zaborovsky Vladimir**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU); Director of Institute of Computer Sciences and Technologies of SPbPU; the head of the department «Telematics» at RTC; Deputy Chief Designer of RTC, Saint-Petersburg; member of the International Academy, Research and Industry Association (ARIA)

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель:

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

Заместитель председателя:

- **Коренко Наталья Львовна**, руководитель информационно-аналитического центра ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург

Секретарь:

- **Вольпяс Татьяна Владимировна**, заместитель начальника сектора ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург

Члены организационного комитета:

- **Горская Ирина Васильевна**, генеральный директор АГНЦ «Наука», Москва
- **Доброхотов Андрей Викторович**, советник Президента АО «ОСК»
- **Ермолов Иван Леонидович**, д.т.н., ИПМех РАН, Москва; ученый секретарь Научного совета РАН по робототехнике и мехатронике; представитель Европейской ассоциации по робототехнике (EURON)
- **Иванов Александр Владиславович**, начальник научно-производственного комплекса ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
- **Качаев Эльгиз Идрисович**, председатель Комитета по развитию предпринимательства и потребительского рынка Санкт-Петербурга
- **Колодяжный Дмитрий Юрьевич**, вице-президент по техническому развитию АО «ОСК»
- **Кондратьев Александр Сергеевич**, к.т.н., заместитель директора ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
- **Костарев Сергей Валерьевич**, начальник федерального государственного казенного военного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург
- **Лобин Михаил Александрович**, генеральный директор исполнительной дирекции, первый вице-президент ОО «Союз промышленников и предпринимателей Санкт-Петербурга»
- **Михайлов Борис Борисович**, к.т.н., доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
- **Уемура Кензуке**, доктор, директор ITAC Ltd, Япония
- **Шнайдер Франк**, доктор, начальник отдела Фраунгхоферовского института связи, обработки информации и эргономики, Германия
- **Юдин Виктор Иванович**, к.ф.-м.н., заместитель главного конструктора ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург

CONFERENCE ORGANIZING COMMITTEE

Chairman:

- **Lopota Alexander**, Doctor of Technical Sciences, Director and Chief Designer of RTC, Saint-Petersburg

Deputy Chairman:

- **Korenko Natalia**, Head of Center for Information and Analysis, RTC, Saint-Petersburg

Secretary:

- **Volpyas Tatiana**, Deputy Chief of Sector, RTC, Saint-Petersburg

Members of organizing committee:

- **Dobrokhotov Andrey**, adviser to the President of United Shipbuilding Corporation
- **Ermolov Ivan**, Doctor of Technical Sciences, IPMech RAS, Moscow ; academic secretary of RAS Academic Council on Robotics and Mechatronics; representative of European Association in Robotics (EURON)
- **Gorskaya Irina**, General Director, Association of State Scientific Centers of Russia «Nauka», Moscow
- **Ivanov Alexander**, Chief of Scientific-Industrial Complex of RTC, Saint-Petersburg
- **Kachaev Elgese**, Chairman of Committee for Entrepreneurship and Consumer Market Development of Saint-Petersburg
- **Kolodyazhniy Dmitriy**, vice-president for technical development of United Shipbuilding Corporation
- **Kondratyev Alexander**, Candidate of Technical Sciences, Deputy Director of RTC, Saint-Petersburg
- **Kostarev Sergey**, Chief of Military Academy of the Signal Corps named after S.M. Budjonny, Saint-Petersburg
- **Lobin Mikhail**, general director of executive directorate, first vice-president of Union of Industrialists and Entrepreneurs of St. Petersburg
- **Mikhailov Boris**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor in Baumann State Technical University, Moscow
- **Yudin Victor**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Deputy Chief Designer of RTC, Saint-Petersburg
- **Schneider Frank**, Doctor, Head of Cognitive Mobile Systems Department of the Fraunhofer Institute for Communication, Information Processing and Ergonomics (FKIE), Germany
- **Uemura Kensuke**, Doctor, Director of ITAC Ltd., Japan

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ, ЧИСЛЕННОЕ И НАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РТК / THEORETICAL, COMPUTATIONAL AND FULL-SCALE MODELING OF ROBOTIC SYSTEMS	28
<i>И.А. Васильев</i> ПАРАМЕТРИЧЕСКИ-АППРОКСИМАЦИОННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ МАНИПУЛЯТОРОВ	28
<i>I.A. Vasiliev</i> PARAMETRICALLY-APPROXIMATE METHOD FOR SOLVING THE INVERSE KINEMATIC PROBLEM FOR MANIPULATORS	29
<i>В.Г. Градецкий, М.М. Князьков, А.Н. Суханов, В.Г. Чащухин</i> КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МИНИАТЮРНЫХ РОБОТАХ*	30
<i>V. Gradetsky, M. Knyazkov, A. Sukhanov, V. Chashchukhin</i> OSCILLATORY PROCESSES IN ELECTROMAGNETIC MINIATURE ROBOTS.....	31
<i>А.А. Пускарёв, Б.Б. Михайлов</i> МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НАЧАЛЬНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ В ЗАДАЧАХ АППРОКСИМАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	32
<i>A.A. Piscariov, B.B. Mikhailov</i> INITIAL ESTIMATE EVALUATION METHODS IN 3D-SURFACE APPROXIMATION TASKS	32
<i>В.Н. Казанцев, В.А. Павлов</i> ТЕРМИНОЛОГИЯ И ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МОДУЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ РОБОТОВ	33
<i>V.N. Kazantsev, V.A. Pavlov</i> TERMINOLOGY AND APPROACHES TO A DEFINITION OF MODULAR ROBOT STRUCTURE	33
<i>И.В. Ватаманюк, А.И. Савельев</i> МОБИЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА КАК КОМПОНЕНТ КИБЕРФИЗИЧЕСКОГО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА.....	34
<i>I.V. Vatamaniuk, A.I. Savelyev</i> MOBILE ROBOTIC PLATFORM AS A COMPONENT OF CYBER-PHYSICAL SMART SPACE	36
<i>О.М. Капустина</i> АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ КУКА YOUBOT, ПАРАМЕТРИЗОВАННОЕ ОБОБЩЁННЫМИ КООРДИНАТАМИ ЕГО ПЛАТФОРМЫ.....	38
<i>O.M. Kapustina</i> AN ANALITICAL SOLUTION OF THE INVERSE KINEMATICS PROBLEM OF KUKA YUBOT, PARAMETERIZED BY GENERALIZED COORDINATES OF ITS PLATFORM	39

<i>В.А. Глазунов, А.К. Алешин, К.А. Шалюхин, Г.В. Рашоян, А.В. Антонов, А.М. Попов, В.Ф. Юдкин</i> СИНТЕЗ И АНАЛИЗ РОБОТОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СРЕДАХ	41
<i>Glazunov V.A., Aleshin A.K., Shalyukhin K.A., Rashoyan G.V., Antonov A.V., Popov A.M., Yudkin V.M.</i> SYNTHESIS AND ANALYSIS OF PARALLEL STRUCTURE ROBOTS FOR WORKING IN EXTREME ENVIRONMENTS	41
<i>И.В. Шардыко, В.В. Титов</i> ЧАСТНЫЙ СЛУЧАЙ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ ШЕСТИСТЕПЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА И МЕТОДИКА БЫСТРОГО РЕШЕНИЯ ТРАЕКТОРНОЙ ЗАДАЧИ В ПРОСТРАНСТВЕ ОБОБЩЁННЫХ КООРДИНАТ	43
<i>I. Shardyko, V. Titov</i> A CLOSED-FORM SOLUTION OF IK TASK FOR A 6-DOF MANIPULATOR WITH PITCH AXES OFFSET AND A TECHNIQUE OF FAST JOINT SPACE TRAJECTORY COMPUTATION	45
<i>В.М. Копылов</i> СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ КОЛЕБАНИЙ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ	47
<i>V.M. Kopylov</i> A METHOD FOR MEASURING OF OSCILLATIONS OF SPACECRAFT PAYLOAD	48
<i>И.А. Васильев</i> АЛГОРИТМЫ ДВИЖЕНИЯ КОЛЁСНО-ШАГАЮЩЕЙ ПЛАТФОРМЫ	50
<i>I.A. Vasilyev</i> ALGORITHMS OF MOTION OF THE WHEELED-WALKING PLATFORM	50
<i>И.А. Васильев</i> ВЫВОД ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА N-ГО ПОРЯДКА НА ОСНОВЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ	51
<i>I.A. Vasilyev</i> DERIVATION OF THE DIFFERENTIAL CONTROLLER OF THE N-TH ORDER ON THE BASIS OF THE DYNAMICS OF THE SYSTEM.	51
<i>В.Я. Вилисов</i> ОБУЧЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОМУ ПОВЕДЕНИЮ В УСЛОВИЯХ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ	52
<i>V.Ya. Vilisov</i> LEARNING A ROBOTIC SYSTEM HOW TO BEHAVE IN AN OPTIMAL MODE IN THE CONDITIONS OF RESISTANCE	54
<i>В.М. Московченко, В.В. Баранов</i> МОДЕЛЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РОБОТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ	56
<i>Moskovchenko V.M., Baranov V.V.</i> MODEL OF IMPACT ON ROBOTIC SYSTEMS	56
<i>В.М. Московченко, О.С. Лаута, Д.А. Иванов, М.А. Коцыняк, И.Б. Саенко</i> ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ	58

<i>Moskovchenko V.M., Lauta O.S., Ivanov D.A, Kotcynayk M.A., Saenko I.B.</i> APPLICATION OF THE METHOD OF CONVERTING STOCHASTIC NETWORKS FOR INTELLECTUAL IMPACTS MODELING	58
<i>В.М. Московченко, В.Е. Дементьев, М.А. Коцыняк, А.П. Нечепуренко, В.А. Краснов</i> ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ПРОТОКОЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РОБОТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ	61
<i>Moskovchenko V.M., Dementiev V.E., Kotcynayk M.A, Nechepurenko A.P., Krasnov V.A.</i> APPROACH TO FORECASTING OF IMPACTS ON ROBOTIC SYSTEMS	61
<i>П.П. Белоножко</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ОДНОСТЕПЕННЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ НА ПОДВИЖНОМ И ШАРНИРНО ЗАКРЕПЛЕННОМ ОСНОВАНИИ.....	64
<i>P.P. Belonozhko</i> COMPARATIVE ANALYSIS OF DYNAMICS OF ONE- DEGREE OF FREEDOM MANIPULATORS ON MOVABLE AND HINGED FOUNDATIONS.....	64
<i>Е.С. Брискин, Я.В. Калинин</i> ОБ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫХ ПОХОДКАХ ШАГАЮЩИХ РОБОТОВ... ..	66
<i>E.S. Briskin, Ya.V. Kalinin</i> ON ENERGETICALLY EFFICIENT GAITS OF WALKING ROBOTS.....	66
<i>В.С. Гришин</i> ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	68
<i>V.S. Grishin</i> SEMIREALISTIC SIMULATION APPLICATION TO DESIGN AND ANALYZE ROBOTICS SYSTEMS.....	68
<i>Н.А. Павлюк</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПОРНОЙ КОНСТРУКЦИИ ТАЗОВОГО МЕХАНИЗМА АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА АНТАРЕС.....	70
<i>N.A. Pavluk</i> MODELING OF BEARING SUPPORT STRUCTURE FOR PELVIC MECHANISM OF ANTHROPOMORPHIC ROBOT ANTARES	72
<i>А.Л. Коротков, М.А. Ногин, А.В. Рогов, О.А. Шмаков</i> ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МРК СВЕРХЛЕГКОГО И ЛЕГКОГО КЛАССОВ .	74
<i>A.L. Korotkov, M.A. Nugin, A.V. Rogov, O.A. Shmakov</i> TEST SITE FOR EVALUATION OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF MOBILE ROBOTIC COMPLEXES OF ULTRA-LIGHT AND LIGHT CLASSES ...	74
<i>А.И. Опарин</i> ОПЕРАТИВНОЕ КОМПЛЕКТОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ГРУППИРОВОК РАЗНОРОДНЫХ СРЕДСТВ ВЕДЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАБОТ	76
<i>A.I. Oparin</i> OPERATIONAL FORMATION AND APPLICATION OF HETEROGENEOUS GROUPS TO REALIZE UNDERSEA RESEARCH AND WORK	76

<i>Н.В. Малютин</i> ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАСЧЁТНО-АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА СТОЙКОСТИ АППАРАТУРЫ К ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ.....	77
<i>N. V. Malyutin</i> PRACTICE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF ANALYTICAL METHODS FOR THE ANALYSIS OF EQUIPMENT RESISTANCE TO EXTREME DESTABILIZING FACTORS EXPOSURE.....	78
<i>О.Ю. Осипов, Мещеряков Р. В., Шепеленко М.Г.</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОМАШИННОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	80
<i>O.Yu. Osipov, Meshcheryakov R.V., Shepelenko M.G.</i> DESIGNING DIGITAL MODELS OF ELEMENTS OF THE ELECTROMASHINE PART OF ELECTROMECHATRONIC MODULES OF ROBOTIC SYSTEMS	81
<i>И.А. Васильев</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ СПАСАТЕЛЬНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СПАСАТЕЛЬНЫХ ГРУППАХ.....	82
<i>I.A. Vasilyev</i> SIMULATION OF RESCUE ROBOT FOR USE IN RESCUE OPERATIONS GROUP	82
<i>А.С. Шалумов</i> ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ВНЕШНИЕ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ ФАКТОРЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	83
<i>A.S. Shalutov</i> AUTOMATED MODELING OF EXTREME EXTERNAL FACTORS IN DESIGN OF ROBOTIC SYSTEMS	83
<i>Л.А. Станкевич, К.М. Сонькин, Ф.В. Гунделах</i> ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ЧЕЛОВЕКОМ И РОБОТОМ НА БАЗЕ НЕИНВАЗИВНОГО ИНТЕРФЕЙСА «МОЗГ-КОМПЬЮТЕР».....	85
<i>L.A. Stankevich, K.M. Sonyikin, F.V. Gundelakh</i> HUMAN-ROBOT INTERACTION BASED ON NONINVASIVE BRAIN-COMPUTER INTERFACE	85
<i>М.В. Архипов, В.Ф. Головин, Е.А. Вжесневский</i> ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ ИНТЕРФЕЙС МАНИПУЛЯЦИОННОГО РОБОТА.....	87
<i>M.V. Arkhipov, V.F. Golovin, E.A. Vzhesnevsky</i> HUMAN-MACHINE INTERFACE OF THE MANIPULATION ROBOT.....	89
<i>А.В. Васильев</i> РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОЛНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОГО МИНИ-РОБОТА С РЕКОНФИГУРИРУЕМЫМ ШАССИ.....	91
<i>A.V. Vasiliev</i> DEVELOPMENT AND STUDY OF THE COMPLETE COMPUTER MODEL MOTION OF MOBILE MINI-ROBOT WITH RECONFIGURABLE CHASSIS TRANSPORT SYSTEM	92

<i>Г.А. Прокопович, И.В. Подмазов</i> НОВЫЙ СПОСОБ ДВИЖЕНИЯ СФЕРИЧЕСКОГО РОБОТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕКУПЕРАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.....	93
<i>G.A. Prokopovich, I.V. Podmazov</i> A NEW KIND OF SPHERICAL ROBOT MOTION USING THE MECHANICAL ENERGY RECUPERATION.....	93
<i>Д. Гусев</i> ВОПРОСЫ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ В СОВРЕМЕННОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ	95
<i>D. Gusev</i> ISSUES OF CYBERSECURITY IN MODERN ROBOTICS	97
<i>С.Р. Орлова</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБОКОЙ СВЕРТЧНОЙ СЕТИ SSD В ЗАДАЧЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ И АВТОМОБИЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА	99
<i>S.R. Orlova</i> EXPLORING OF DEEP CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK SSD FOR PEOPLE AND CAR DETECTION BY THE MOBILE ROBOT VISION SYSTEM	99
<i>Д.С. Аниськин, А.Б. Андреев</i> РАСЧЁТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРЯМОУГОЛЬНОГО КРЫЛА С СИММЕТРИЧНЫМ ПРОФИЛЕМ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS CFX	100
<i>D.S. Aniskin, A.B. Andreev</i> COMPUTATIONAL RESEARCHES OF AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF A RECTANGULAR WING WITH A SYMMETRIC PROFILE BY MEANS OF A ANSYS CFX PROGRAM COMPLEX.....	100
<i>С.А. Гавриленко, В.В. Давыдчик, И.А. Елисеев, С.И. Севастьянов</i> ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ СОСТАВА КОМПЛЕКСА ПРИЁМНЫХ СРЕДСТВ СВЯЗИ МАЛОГАБАРИТНОГО РОБОТИЗИРОВАННОГО ПОДВОДНОГО ОБЪЕКТА	101
<i>S.A. Gavrilenko, V.V. Davydchik, I.A. Eliseev, S.I. Sevastjanov</i> THE TIME-PROBABILITY MODELS AND METHODS FOR MOTIVATION OF THE COMPOSITION OF RECEIVING COMPLEX OF COMMUNICATIONS FOR COMPACT ROBOTIC SUBMARINE OBJECT	102
УПРАВЛЕНИЕ РТК / ROBOTIC SYSTEM CONTROL.....	103
<i>Д.Н. Степанов, Е.Ю. Смирнова</i> МЕТОД КОРРЕКЦИИ ОЦЕНКИ ПОЛОЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЗУАЛЬНОЙ ЛОКАЦИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ ОРИЕНТИРОВ	103
<i>D.N. Stepanov, E.Yu. Smirnova</i> A METHOD OF MOBILE ROBOT POSITION ESTIMATION CORRECTION USING VISUAL LOCATION OF NATURAL LANDMARKS	105
<i>К.И. Кий</i> АЛГОРИТМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА СИГНАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В ДОРОЖНОЙ СЦЕНЕ.....	106
<i>K.I. Kiy</i> COMPUTER VISION ALGORITHMS FOR ANALYZING SIGNAL OBJECTS IN A ROAD SCENE	106

<i>С.Н. Кириллов, И.В. Косткин</i> АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ПРЕДОБРАБОТКИ ПОДВОДНЫХ И НАДВОДНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ МЕШАЮЩИХ ФАКТОРОВ	107
<i>S.N. Kirillov, I.V. Kostkin</i> ADAPTIVE ALGORITHM FOR PROCESSING UNDERWATER AND OVERWATER IMAGES UNDER INFLUENCE OF INTERFERENCE FACTORS	109
<i>А.Г. Лесков, Е.В. Селиверстова</i> АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ И ВЫБОРА СПОСОБА ЗАХВАТА ДЕФОРМИРУЕМОГО ОБЪЕКТА ..	111
<i>A.G. Leskov, E.V. Seliverstova</i> PLANNING AND CHOICE OF METHOD OF CAPTURE OF THE DEFORMABLE OBJECT ALGORITHM	111
<i>В.П. Макарычев</i> АДАПТИВНОЕ ВИЗУАЛЬНОЕ СЕРВОУПРАВЛЕНИЕ РОБОТОВ	113
<i>V.P. Makarychev</i> ADAPTIVE VISUAL SERVO CONTROL OF ROBOTS	115
<i>Ю.И. Минкин, А.В. Панченко, А.Ю. Шканаев, И.А. Коноваленко, Д.Н. Путинцев, Р.Н. Садеков</i> ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПШЕНИЦЫ ВНУТРИ ЗЕРНОВОГО БУНКЕРА КОМБАЙНА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ	117
<i>Yu.I. Minkin, A.V. Panchenko, A.Yu. Shkanaev, I.A. Konovalenko, D.N. Putbntcev, R.N. Sadekov</i> VISION SYSTEM: A TOOL FOR EVALUATING THE QUALITY OF WHEAT IN A GRAIN TANK	117
<i>А.В. Панченко, А.Ю. Шканаев, Д.А. Крохина, Д.В. Полевой, Р.Н. Садеков</i> АНАЛИЗ ГРАНИЦ ВАЛКОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТРАЕКТОРИЕЙ ДВИЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМБАЙНА	118
<i>A.V. Panchenko, A.Yu. Shkanaev, D.A. Krochin, D.V. Polevoy, R.N. Sadekov</i> ANALYSIS OF STRAW ROW IN THE IMAGE TO CONTROL THE TRAJECTORY OF THE AGRICULTURAL COMBINE HARVESTER	118
<i>Е.А. Шиповалов, В.Е. Пряничников</i> АВТОПЛАНИРОВАНИЕ МИССИЙ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ БОРТОВЫМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ С ГИБРИДНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ	119
<i>E.A. Shipovalov, V.E. Pryanichnikov</i> AUTOMATED MISSION PLANNING FOR MOBILE ROBOTS USING ON-BOARD COMPUTERS WITH HYBRID ARCHITECTURES	120
<i>А.С. Ющенко, К.Р. Лебедев, С.Х. Забихафар</i> УПРАВЛЕНИЕ КВАДРОКОПТЕРОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АДАПТИВНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ	121
<i>A.S. Yushenko, K.R. Lebedev, S.H. Zabihafar</i> ADAPTIVE NEURAL NETWORK CONTROL OF QUADROTOR HELICOPTER	122
<i>В.Е.Павловский, А.Ю. Шамин</i> ДИНАМИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РОБОТОМ-БУЕРОМ С РАЗЛИЧНОЙ ФОРМОЙ ПАРУСА	123

<i>V.E. Pavlovsky, A.Yu. Shamin</i> DYNAMICALLY OPTIMAL CONTROL OF THE ROBOT- YACHT WITH DIFFERENT FORMS OF THE SAIL	124
<i>Ю.А. Жуков, Е.Б. Коротков, Н.С. Слободзян</i> УПРАВЛЕНИЕ ВЫСОКОТОЧНОЙ СИСТЕМОЙ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА БАЗЕ ГЕКСАПОДА С «ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ДАТЧИКОМ ПОЛОЖЕНИЯ».....	125
<i>Y. A. Zhukov, E. B. Korotkov, N. S. Slobodzyan</i> CONTROL OF HIGH-PRECISION SPACE APPLICATION SYSTEM OF POSITIONING AND ORIENTATION ON THE BASIS OF HEXAPODE WITH "THE SPATIAL SENSOR OF POSITION"	126
<i>Е.С. Брискин, Н.Г. Шаронов, Я.В. Калинин, А.В. Малолетов, В.А. Серов</i> ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ С ДВИЖИТЕЛЯМИ, ДИСКРЕТНО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИМИ С ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ.....	127
<i>E.S. Briskin, N.G. Sharonov, Ya.V. Kalinin, A.V. Maloletov, V.A. Serov</i> ON THE FEATURES OF MOTION CONTROL OF MOBILE ROBOTS WITH WALKING LOCOMOTOR OF DISCRETE INTERACTING WITH THE SUPPORT SURFACE	127
<i>А.В. Борисов</i> МОДЕЛЬ ЭКЗОСКЕЛЕТА СО ЗВЕНЬЯМИ ПЕРЕМЕННОЙ ДЛИНЫ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ МАСС НА ЗВЕНЕ: ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ МАСС НА ЕГО ДИНАМИКУ	128
<i>A.V. Borisov</i> THE MODEL OF THE EXOSKELETON WITH LINKS OF VARIABLE LENGTH WITH AN ARBITRARY NUMBER OF LUMPED MASSES ON THE LINK: STUDY OF THE INFLUENCE OF THE LOCATION OF THE MASSES ON ITS DYNAMICS.....	129
<i>Д.А. Добрынин</i> ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ОБУЧАЕМОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТОМ....	130
<i>D.A. Dobrynin</i> DESIGN OF LEARNING CONTROL SYSTEM FOR EXOSKELETON CONTROL TASKS	131
<i>С.В. Манько, С.А.К. Диане, В.М. Лохин, А.К. Новосельский</i> ГРУППОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ РОБОТАМИ В ЗАДАЧАХ РАЗБОРА ЗАВАЛОВ И ДЕМОНТАЖА ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ.....	132
<i>S.V. Manko, S.A.K. Diane, V.M. Lokhin, A.K. Novoselsky</i> ROBOTIC GROUP CONTROL FOR DEBRIS REMOVAL AND CONSTRUCTION DISASSEMBLY IN THE ATOMIC INDUSTRY	133
<i>С.Р. Эприков, В.Е. Пряничников</i> ТЕХНОЛОГИИ МНОГОАГЕНТНОГО ПРАВЛЕНИЯ РОБОТАРИУМАМИ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ЯЧЕЙКАМИ С ОДНОВРЕМЕННОЙ ИМУЛЯЦИЕЙ.....	134
<i>S.R. Eprikov, V.E. Pryanichnikov</i> TECHNOLOGY OF MULTI-AGENT CONTROL OF ROBOTARIUM AND PRODUCTION CELLS WITH SIMULTANEOUS SIMULATION.....	137

<i>А.В. Назарова, Мэйсинь Чжэй</i> РАСПРЕДЕЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ В МНОГОАГЕНТНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ.....	139
<i>A.V. Nazarova, Meixin Zhai</i> DISTRIBUTED PROBLEM SOLVING IN MULTI-AGENT ROBOTIC SYSTEM.....	140
<i>Л.А. Мартынова, Г.В. Конюхов, И.В. Пашкевич, Н.Н. Рухлов</i> МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ ПОДХОД К ГРУППОВОМУ УПРАВЛЕНИЮ АНПА ПРИ ВЕДЕНИИ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ.....	141
<i>L.A. Martynova, G.V. Konyukhov, I.V. Pashkevich, N.N. Rukhlov</i> MULTI- AGENT APPROACH TO THE GROUP MANAGEMENT OF AUV IN CONDUCTING SEISMIC EXAMINATION.....	142
<i>С. Л. Зенкевич, Хуа Чжэу, Мэйсинь Чжэй</i> УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТОВ В ГРУППЕ НА ОСНОВЕ СГЛАЖИВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ	143
<i>S. L. Zenkevich, Hua Zhu, Meixin Zhai</i> THE MOVEMENT CONTROL OF ROBOTS IN A GROUP BASED ON THE SMOOTHING TRAJECTORY.....	144
<i>В.Г. Градецкий, И.Л. Ермолов, М.М. Князьков, Е.А. Семёнов, С.А. Собольников, А.Н. Суханов</i> ОСОБЕННОСТИ ГРУППОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РОБОТОВ, ОСНАЩЕННЫХ ДВИЖИТЕЛЯМИ ВЫСОКОЙ ПРОХОДИМОСТИ, ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЕДИНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ.	146
<i>V.G. Gradetsky, I.L. Ermolov, M.M. Knyazkov, E.A. Semenov, S.A. Sobolnikov, A.N. Sukhanov</i> INTERACTION PECULIARITIES FOR COMMON TRANSPORTATION TASK WITHIN A GROUP OF UGVs EQUIPPED WITH HIGH PASSABILITY MOVERS.....	147
<i>С.Л. Герасюто, И. В. Подмазов, Г.А. Прокопович, В.А. Сычёв</i> МУЛЬТИКАМЕРНАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ СФЕРИЧЕСКОГО РОБОТА	148
<i>S.L. Gerasuto, I.V. Podmazov, G.A. Prokopovich, V.A. Sychev</i> MULTI- CAMERA VISION SYSTEM FOR A SPHERICAL ROBOT	148
<i>Г.А. Прокопович, В.А. Сычёв</i> РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ МЕХАТРОННЫХ БОРТОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ МИКРОРОБОТАМИ	149
<i>G.A. Prokopovich, V.A. Sychev</i> MECHATRONIC ONBOARD COMPUTATION SYSTEM CONCEPTUALIZATION FOR GROUP CONTROL OF MICROROBOTS.....	149
<i>С.Н. Шляев, А.С. Шляев, А.А. Жуков, Р.Н. Закиров, В.Г. Градецкий, Н.Н. Болотник</i> КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОРОБОТОМ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	151
<i>Shilayev S.N., Shilayev A.S., Zhukov A.A., Zakirov R.N., Gradetsky V.G., Gradetsky V.G., Bolotnik N.N.</i> CONCEPT OF A CONTROL SYSTEM OF THE MICROROBOT FOR SPACE APPLICATION	151

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ РТК / CONSTRUCTIVE DECISIONS AND APPLICATIONS OF ROBOTIC SYSTEMS	153
<i>М.И. Маленков, В.А. Волов, Н.К. Гусева, Д.Н. Кузьменко, Е.А. Лазарев</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТНО-КОМПОНОВОЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ХОДОВЫХ КАЧЕСТВ ПЛАНЕТОХОДОВ.....	153
<i>M.I. Malenkov, V.A. Volov, N.K. Guseva, D.N. Kuzmenko, E.A. Lazarev</i> THE RESULTS OF THE DESIGN&LAYOUT RESEARCHES AIMED AT THE IMPROVEMENT OF THE TRAVERSABILITY OF THE PLANETARY ROVERS	155
<i>И.В. Рядчиков, Е.В. Никульчев, С.И. Сеченев, С.Г. Синица, А.В. Большаков, А. А. Фешин, А.М. Алотаки, А.Н. Смирнов, П.П. Волкодав</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ САМОСТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО ШАГАЮЩЕГО РОБОТА ANYWALKER.....	157
<i>I.V. Ryadchikov, E.V. Nikulchev, S.I. Sechenev, S.G. Sinitsa, A.V. Bolshakov, A.A. Feshin, A.M. Alotaki, A.N. Smirnov, P.P. Volkodav</i> DESIGN AND CONTROL OF SELF-STABILIZING ANGULAR ROBOTICS ANYWALKER.....	157
<i>А. Е. Гаврилов, А. В. Леонард, О. А. Мишустин, Д. М. Селюнин, С. Б. Хантимирова</i> УНИВЕРСАЛЬНАЯ ШАГАЮЩАЯ ИНСЕКТОМОРФНАЯ ПЛАТФОРМА.....	160
<i>A. E. Gavrilov, A. V. Leonard, O. A. Mishustin, D. M. Selyunin, S. B. Hantimirova</i> THE UNIVERSAL WALKING INSECTOMORPHIC PLATFORM.....	161
<i>Н.А. Грязнов, В.В. Харламов, С.А. Никитин, Д.Г. Шамарин, А.Ю. Карсеева, Г.С.Киреева</i> МЕДИЦИНСКИЙ РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ГЕМОРРОЯ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ КОАГУЛЯЦИИ ПОД ДОППЛЕР- КОНТРОЛЕМ.....	162
<i>N.A. Gryaznov, V.V. Kharlamov, S.A. Nikitin, D.G. Shamarin, A.Y. Karseeva, G.S. Kireeva</i> MEDICAL ROBOTIC APPRATUS FOR TREATMENT OF HEMORRHOIDS BY METHOD OF LASER COAGULATION UNDER DOPPLER CONTROL.....	164
<i>М.Б. Игнатьев, В.А. Ерохин, Я.А. Липинский, П.И. Макин</i> ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА АДАПТИВНОГО ШАГАЮЩЕГО РОБОТА ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ГАЗОПРОВОДА	166
<i>M.B. Ignatyev, V.A. Erokhin, Ya.A. Lipinskiy, P.I. Makin</i> INFORMATION- COMPUTATIONAL SYSTEM OF A ROBOT DESIGNED TO INSPECT THE PIPELINE	167

<i>Ю.В. Подураев</i> ПОДХОД И ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ КОЛЛОБОРАТИВНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ ХИРУРГИИ И БИОПРИНТИНГА	168
<i>Yu.V. Poduraev</i> APPROACH AND EXPERIENCE OF DESIGN OF MEDICAL COLLABORATIVE ROBOTICS FOR LASER SURGERY AND BIOPRINTING	168
<i>А.В. Синегуб</i> РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ МЕХАНОТЕРАПИИ И ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ ПАЛЬЦЕВ РУК.....	169
<i>A.V. Sinegub</i> DEVELOPMENT OF DEVICE FOR MECHANOTHERAPY AND ELECTROSTIMULATION OF FINGERS OF HANDS	169
<i>А.И. Мотиенко, А.Л. Ронжин, А.А. Алтунин, Б.И. Крючков, В.М. Усов</i> ЭВАКУАЦИЯ КОСМОНАВТА В СКАФАНДРЕ ВО ВРЕМЯ ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ С УЧАСТИЕМ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РОБОТОВ ..	170
<i>Motienko A.I., Ronzhin A.L., Altunin A.A., Kryuchkov B.I., Usov V.M.</i> A EVACUATION OF A COSMONAUT IN A SPACESUIT DURING EXTRAVENICULAR ACTIVITY ON THE LUNAR SURFACE WITH ASSISTANCE OF RESCUE ROBOTS	170
<i>А.А. Кошурина, В.Е. Гай, Р.А. Дорофеев, Е.М. Хапилов, С.С. Бобко</i> РАЗРАБОТКА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ В АВАРИЙНЫХ ШАХТАХ	172
<i>Koshurina A.A., Gai V.E., Dorofeev R.A., Napilov E.M., Bobko S.S.</i> THE DEVELOPMENT OF THE ROBOTIC PLATFORM FOR RESCUE OPERATIONS IN EMERGENCY COAL MINES	172
<i>А.Л. Коротков, М.А. Ногин, А.В. Рогов, О.А. Шмаков</i> ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МРК СВЕРХЛЕГКОГО И ЛЕГКОГО КЛАССОВ	174
<i>Korotkov A.L., Nogin M.A., Rogov A.V., Shmakov O.A.</i> TEST SITE FOR EVALUATION OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF MOBILE ROBOTIC COMPLEXES OF ULTRA-LIGHT AND LIGHT CLASSES ..	174
<i>М.В. Савин, С.Г. Цариченко</i> РОБОТ ДЛЯ ШАХТНЫХ РАБОТ.	176
<i>M.V. Savin, S.G.Tsarichenko</i> ROBOT FOR MINE	176
<i>Р.В. Гогин, Н.В. Заруцкий</i> РАЗРАБОТКА РЕКОНФИГУРИРУЕМОГО ДВИЖИТЕЛЯ КОЛЕСНОГО ТИПА ДЛЯ МОБИЛЬНОГО РТ ТС	178
<i>R.V.Gogin, N.V.Zarutskiy</i> DEVELOPMENT OF RECONFIGURATION MOVEMENT WHEEL TYPE FOR MOBILE RT TS	179
<i>И.В. Лазарев, А.Н. Тимофеев</i> МЕХАНИЗМ РАБОЧЕГО ОРГАНА МАНИПУЛЯТОРА КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	180
<i>I.V. Lazarev, A.N. Timofeev</i> END-EFFECTOR MECHANISM OF SPACE MANIPULATOR	180

<i>И.Л. Ермолов, А.Ф. Кононов, С.П. Хрипунов</i> НАПРАВЛЕНИЯ УНИФИКАЦИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ВОЕННОГО, СПЕЦИАЛЬНОГО И ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	181
<i>I.L. Ermolov, A.F. Kononov, S.P. Hripunov</i> UNIFICATION IN ROBOTICS.....	181
<i>А.И. Галкин</i> ОРГАНИЗАЦИЯ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОРСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ОПЕРАТИВНО-ВАЖНЫХ РАЙОНАХ МИРОВОГО ОКЕАНА.....	183
<i>Galkin I.A.</i> ORGANIZATION OF NAVIGATION SUPPORT FOR MARINE ROBOTIC COMPLEXES IN OPERATIONALLY IMPORTANT AREAS OF THE WORLD OCEAN	183
<i>Н.В. Малютин</i> ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МОРСКОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ОБНАРУЖЕНИЯ, ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И УТИЛИЗАЦИИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ И ПРЕДМЕТОВ	188
<i>N. V. Malyutin</i> PROMISING MARINE ROBOTIC SYSTEM FOR DETECTION, TRANSPORTATION AND DISPOSAL OF HAZARDOUS SUBSTANCES AND ITEMS	189
<i>А.А. Арыскин, А.Я. Ксензенко, Ю.С. Марзанов, Е.А. Прысев, В.Е. Пряничников, Р.В. Хелемендик, С.Р. Эприков</i> ПРОМЫШЛЕННАЯ АВТОМАТИКА С ДИСТАНЦИОННЫМ ДОСТУПОМ И АВТОМАТИЧЕСКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ ЛОГИЧЕСКИХ ПРОТИВОРЕЧИЙ ДЛЯ ИНДУСТРИИ 4.0	190
<i>A.A. Aryskin, A.J. Ksenzenko, Yu.S. Marzanov, E.A. Prysev, V.E. Pryanichnikov, R.V. Khelemendik, S.R. Eprikov</i> INDUSTRIAL AUTOMATION WITH REMOTE ACCESS AND AUTOMATIC RESOLUTION OF LOGICAL CONTRADICTIONS FOR INDUSTRY 4.0	192
<i>М.Б. Игнатъев, В.П. Попов, М.Б. Сергеев</i> ПРОБЛЕМЫ ВНЕШНЕГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЯМИ-НАРУШИТЕЛЯМИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ	194
<i>M.B. Ignatiev, V.P. Popov, M.B. Sergeev</i> THE PROBLEM OF THE EXTERNAL DRIVING OFFENDERS TO IMPROVE ROAD SAFETY .	194
<i>А.Н. Власенко, О.Е. Лапин</i> ПРИМЕНЕНИЕ КОДИРОВАННОЙ АПЕРТУРЫ ПРИ ВЕДЕНИИ ВОЗДУШНОЙ РАДИАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ МЕСТНОСТИ	195
<i>A.N. Vlasenko, O.Ev. Lapin</i> APPLICATION OF THE CODED APERTURE WHEN CONDUCTING AN AIR RADIATION SURVEY OF THE AREA.....	195
<i>А.В. Яскевич, И.Е. Чернышев</i> ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА НОВОГО ПЕРИФЕРИЙНОГО СТЫКОВОЧНОГО МЕХАНИЗМА	197

<i>A.V. Yaskevich, I.E. Chernyshev</i> DESIGNING OF PARALLEL MANIPULATOR FOR A NEW PERIPHERAL DOCKING MECHANISM	198
<i>A.B. Лопота, С.А. Половко, Е.Ю. Смирнова, П.К. Шубин</i> КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ МОРСКОЙ СПАСАТЕЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ АРКТИКИ.....	199
<i>A.V. Lopota, S.A. Polovko, E.Yu. Smirnova, P.K. Shubin</i> CONCEPTUAL ISSUES OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF MARINE RESCUE ROBOTICS IN EXTREME ARCTIC CONDITIONS.....	200
<i>И.Э. Новиков</i> ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВИАЦИОННОГО РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ.....	201
<i>I.E. Novikov</i> STUDY OF THE POSSIBILITIES OF THE EARTH'S SURFACE AERIAL RADIATION MONITORING EFFICIENCY INCREASING	203
<i>М.А.Гудков, В.Н. Лукьянчик, С.Н.Овсянников</i> К СОЗДАНИЮ НАЗЕМНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПЕРЕДОВОГО АВИАЦИОННОГО НАВОДЧИКА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АРМЕЙСКОЙ И ШТУРМОВОЙ АВИАЦИЕЙ	204
<i>M.A. Gudkov, V.N. Luk'yanchik, S.N.Ovsjannikov</i> THE CREATION OF A GROUND-BASED ROBOTIC COMPLEX OF ADVANCED AIRCRAFT AIMER FOR THE MANAGEMENT OF ASSAULT AND ARMY AVIATION.....	205
<i>В.А. Кожемякин</i> БЛОКИ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ ДИСТАНЦИОННО УПРАВЛЯЕМЫХ БЕСПИЛОТНЫХ СРЕДСТВ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА.....	206
<i>V.A. Kozhemyakin</i> GAMMA RADIATION DETECTION UNITS FOR USE WITH REMOTELY PILOTED AIRCRAFTS FOR RADIATION MONITORING PURPOSES	207
<i>Дудзиак М.</i> ФУНКЦИОНАЛЬНО-ЛОГИЧЕСКАЯ ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА ATHOS ДЛЯ ГРУПП РОБОТОВ С ВОЗМОЖНОСТЯМИ САМООРГАНИЗАЦИИ И НЕПРЕРЫВНОГО ОБУЧЕНИЯ.....	208
<i>M. Dudziak</i> ATHOS, A FUNCTIONAL-LOGIC OPERATING SYSTEM FOR ROBOT COMMUNITIES WITH SELF-ORGANIZATION AND PERSISTENT LEARNING CAPABILITIES	208
<i>Дудзиак М., Гранчин О.</i> СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ, НЕОПРЕДЕЛЕННЫЕ И НЕКООПЕРИРУЕМЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СЕТИ И СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ, ПОСТРОЕННЫЕ НА ОСНОВЕ СТОХАСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ	218

<i>M. Dudziak, O. Granichin</i> EXTREME COMPLEX SYSTEMS, UNCERTAIN AND UNCOOPERATIVE ROBOTIC NETWORKS, AND CONTROL STRATEGIES BASED UPON STOCHASTIC ALGORITHMS	218
<i>M. Tsepeleva, M. Dudziak</i> BRAINS, BOTS AND BUILDERS – MIRNOVA ACADEMY AND ITS “STEM” PROGRAM WITH ROBOTICS SERVING CHALLENGED YOUTH AND CREATIVE MENTORS	231
<i>В.М. Московченко, А.С. Максимов, С.Х. Киреев, М.А. Гудков, В.Е. Дементьев</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	240
<i>Moskovchenko V.M., Maksimov A.S., Kireev S.H., Gudkov M.A., Dementiev V.E.</i> SECURITY IN CONTROL OF ROBOTIC SYSTEMS USING NEURAL NETWORKS	240
<i>В.М. Московченко, В.В. Кузнецова, О.С. Лаута, А.М. Крибель, М.А. Коцыняк</i> ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЗАЩИТЫ КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ.....	249
<i>Moskovchenko M.V., Kuznetcova V.V., Lauta O.S, Kribel A.M. , Kotcynayk M.A.</i> APPROACH TO FORECASTING PROTOCOL IMPACTS ON ROBOTIC SYSTEMS	249
<i>А.Г. Неткачев, Д.Н. Бычковский</i> ПРИМЕНЕНИЕ 3D ПРИНТЕРА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РОБОТОВ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ	251
<i>Netkacheev A.G., Bychkovskiy D.N.</i> 3D PRINTED MOLDS IN PRODUCTION OF ROBOTS AND ROBOTIC COMPLEXES	251
<i>А. Комаров, А.В. Бахшиев</i> ОБЗОР АРХИТЕКТУР ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ	256
<i>A. Komarov, A.V. Bakhshiev</i> REVIEW OF ARCHITECTURES OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR COMPUTER VISION SYSTEMS IN MOBILE ROBOTICS	258
<i>В.В. Варлашин, О.А. Шмаков</i> ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛОКОМОЦИЙ ЗМЕЕВИДНОГО РОБОТА НА БАЗЕ СИСТЕМЫ ЗАХВАТА ДВИЖЕНИЯ.....	260
<i>V.V. Varlashin, O.A. Shmakov</i> HARDWARE AND SOFTWARE SYSTEM FOR CONDUCTING EXPERIMENTAL STUDIES OF LOCOMOTION OF SNAKE ROBOT BASED ON A MOTION CAPTURE SYSTEM	260
<i>Н.А. Рудянов, В.С. Хрущев</i> ОРГАНИЗАЦИЯ ПРИОБРЕТЕНИЯ И ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗНАНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПЕРСПЕКТИВНЫХ АВТОНОМНЫХ РТК ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ХОДЕ ОПЫТНО-ВОЙСКОВОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИСТАНЦИОННО-УПРАВЛЯЕМЫХ КОМПЛЕКСОВ	261

<i>N.A. Rudianov, V.S. Khruschev</i> ORGANIZATION OF THE ACQUISITION AND FORMALIZATION OF KNOWLEDGE OF INTELLIGENT SYSTEMS OF PROSPECTIVE AUTONOMOUS MILITARY RTK IN THE COURSE OF PILOT OPERATION OF REMOTE-CONTROLLED COMPLEXES.....	261
<u><i>А.К. Платонов</i></u> , <i>С.М. Соколов, А.А. Богуславский, Н.Д. Беклемишев, О.В. Трифонов, О.И. Давыдов</i> К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ДАЛЬНОМЕТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ В ЗАДАЧАХ МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ	2 62
<u><i>Platonov A.K.</i></u> , <i>Sokolov S.M., Boguslavskiy A.A., Beklemishev N.D., Trifonov O.V., Davydov O.V.</i> REGARDING THE CHOICE OF THE RANGE-FINDING SENSORS IN THE TASKS OF MOBILE ROBOTICS	262
<i>С.И. Антоненко, В.П. Макарычев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВИЖИТЕЛЕЙ ПОДВОДНОГО АППАРАТА	265
<i>S.I. Antonenko, V.P. Makarychev</i> STUDY OF UNDERWATER VEHICLE MOTOR DYNAMICS.....	266
<i>А.Я. Ксензенко, Ю.С. Марзанов, Е.А. Прысев, В.Е. Пряничников, В.В. Чернышев</i> ПРОТОТИПИРОВАНИЕ БЕСКОНТАКТНОГО ОБМЕНА ДАННЫМИ И ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ГРУППИРОВКИ ПОДВОДНЫХ РОБОТОВ-САТЕЛЛИТОВ С ШАГАЮЩЕЙ ПО ДНУ БАЗОВОЙ СТАНЦИЕЙ.....	268
<i>A.Ya. Ksenzenko, Ju.S. Marzanov, E.A. Prysev, V.E. Pryanichnikov, V.V. Chernyshev</i> PROTOTYPING OF A CONTACTLESS DATA EXCHANGE AND ENERGY SUPPLY FOR A GROUP OF UNDERWATER ROBOTS-SATELLITES WITH WALKING ON THE BOTTOM THE BASE STATION.....	269
<i>А.В. Чаднов, О.И. Палий, М.А. Гудков</i> РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ВОЕННОЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ И УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТИЗИРОВАННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ НА ОСНОВЕ ДОРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ LTE-ADVANCED PRO.....	270
<i>A.V. Chadnov, O.I. Paliy, M.A. Gudkov</i> DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES MILITARY MOBILE COMMUNICATION AND MANAGEMENT PILOTLESS MOBILE ROBOTIC COMPLEXES ON THE BASIS OF THE MODIFIED LTE-ADVANCED PRO TECHNOLOGY	270

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ, ЧИСЛЕННОЕ И НАТУРНОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ РТК / THEORETICAL, COMPUTATIONAL
AND FULL-SCALE MODELING OF ROBOTIC SYSTEMS**

И.А. Васильев

**ПАРАМЕТРИЧЕСКИ-АППРОКСИМАЦИОННЫЙ МЕТОД
РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ
МАНИПУЛЯТОРОВ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
vas@rtc.ru*

Решениям обратной кинематической задачи (ОКЗ) для манипуляционных роботов посвящены тысячи публикаций. Применяются различные аналитические и численные методы её решения. Автором данной статьи предлагается опробованный оригинальный метод решения. При решении прямой кинематической задачи составляются массивы зависимостей положений захватного устройства (эффектора) манипулятора от обобщённых координат звеньев. Затем производится аппроксимация полиномами больших размерностей.

Выгода такого подхода очевидна: во-первых, нет этапа непосредственно решения самой ОКЗ. Во-вторых, аппроксимация проводится в требуемых диапазонах обобщённого пространства, вне которых аппроксимации не существует. В-третьих, в отличие от численных методов решения здесь нет зависимости от конфигурации манипулятора. В-четвёртых, программный код строго унифицирован и структурирован.

Метод может применяться лишь для практического управления манипуляторами, и не пригоден для теоретических изысканий, так как в результате такой аппроксимации получаются громоздкие формулы.

Ключевые слова: Робот, манипулятор, кинематическая задача.

I.A. Vasiliev

**PARAMETRICALLY-APPROXIMATE METHOD FOR SOLVING
THE INVERSE KINEMATIC PROBLEM FOR MANIPULATORS**

*RTC, Saint-Petersburg
vas@rtc.ru*

Solutions of the inverse kinematical problem (IKP) for manipulative robots are devoted to thousands of publications. Various analytical and numerical methods for its solution are used. The author of this article proposes an original method of solution. When solving a direct kinematical problem, arrays of dependencies of the positions of the manipulator gripper (effector) on the generalized coordinates of the links are made up. Then an approximation is made by polynomials of large dimensions.

The benefit of this approach is obvious: firstly, there is no stage in directly solving the IKP itself. Secondly, the approximation is carried out in the required ranges of generalized space, outside of which there is no approximation. Third, unlike the numerical methods of solution, there is no dependence on the configuration of the manipulator. Fourthly, the program code is strictly unified and structured.

The method can be used only for practical control of manipulators and is not suitable for theoretical studies, because as a result of this approximation, cumbersome formulas are obtained.

Keywords: robot, manipulator, kinematical problem.

В.Г. Градецкий, М.М. Князьков, А.Н. Суханов, В.Г. Чащухин
КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
МИНИАТЮРНЫХ РОБОТАХ*¹

ИПМех РАН, Москва
gradet@ipmnet.ru

Рассматривается влияние генерируемых колебаний на характеристики электромагнитных миниатюрных роботов при прямом и реверсивном движении вдоль внутренних поверхностей труб малых диаметров. Показано влияние частоты, протяженности и длительности управляющих импульсов на изменение скорости и ускорения движения. Приводятся результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: миниатюрный робот, электромагнитный принцип действия, колебательные процессы, функциональные характеристики.

Исследование колебательных процессов, происходящих в миниатюрных электромагнитных роботах, проводится в ведущих мировых научных центрах и является актуальной задачей, поскольку позволяет выбрать наилучшие возможные характеристики, определить соответствие рабочих параметров требуемым значениям, улучшить качество и расширить возможности роботов. Миниатюрные роботы с электромагнитными приводными системами и технологическими датчиками на борту предназначены для прямого и реверсивного движения внутри труб малого диаметра (5мм-20мм) и могут быть использованы для анализа качества внутренних поверхностей труб, неразрушающего контроля и других инспекционных операциях, например, в энергетике, в авиационной и авиакосмической промышленности.

¹ Работа выполнена в рамках Комплексной программы фундаментальных исследований ОЭММПУ РАН III.4П.

V. Gradetsky, M. Knyazkov, A. Sukhanov, V. Chashchukhin
**OSCILLATORY PROCESSES IN ELECTROMAGNETIC
MINIATURE ROBOTS***

Institute for Problems in Mechanics RAS
gradet@ipmnet.ru

The generated oscillations effect on the characteristics of electromagnetic miniature robots under direct and reverse motion along the internal surfaces of small diameter pipes is considered.

The influence of the frequency, length and duration of the control pulses on the change in speed and acceleration of motion is shown. The results of experimental studies are presented.

Key words: miniature robot, electromagnetic operation principle, oscillatory processes, functional characteristics.

The study of oscillatory processes occurring in miniature electromagnetic robots is carried out at leading world scientific centers [1-6] and is an actual task, since it allows choosing the best possible characteristics, and determining the correspondence of operating variables to the required values, improving the quality and expanding the capabilities of robots.

Miniature robots with electromagnetic drive systems and technological sensors onboard are designed for direct and reversible movement inside small diameter pipes (5mm-20mm) and can be used for analysis of the quality of internal pipe surfaces, non-destructive testing and other inspection operations, for example, in power engineering, in aviation and aerospace industries [6-9].

* The work was carried out within the framework of the Complex Program of Fundamental Research of the Department of Power Engineering, Mechanical Engineering, Mechanics and Control Processes of the Russian Academy of Sciences III.4P.

А.А. Пискарев, Б.Б. Михайлов

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НАЧАЛЬНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ В ЗАДАЧАХ АППРОКСИМАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

В задачах аппроксимации часто используются итерационные методы, сходимость которых зависит от начального приближения. В этой статье сравниваются методы оценки начального приближения на основе геометрического анализа множества точек, полученных от системы объёмного зрения. Результаты оценки в дальнейшем используются для аппроксимации исходных точек криволинейными поверхностями.

Ключевые слова: объёмное зрение, аппроксимация поверхностей, нелинейная оптимизация, аналитическая геометрия.

A.A. Piscariov, B.B. Mikhailov

INITIAL ESTIMATE EVALUATION METHODS IN 3D-SURFACE APPROXIMATION TASKS

BMSTU, Moscow

Iterative methods are frequently used in approximation tasks. Their convergence strongly depends on initial estimate. In this article some initial estimate evaluation methods based on geometry analysis of 3D-vision point set are compared. Evaluation results are then used to approximate source points with curvilinear surfaces.

Keywords: volume sight, approximation of surfaces, nonlinear optimization, analytical geometry.

В.Н. Казанцев, В.А. Павлов
**ТЕРМИНОЛОГИЯ И ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ
МОДУЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ РОБОТОВ**

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург

Рассмотрен общий подход к интерпретации существующей терминологии и применению классификаций модульности компонентов сервисных роботов. Концепции разработки модульной архитектуры роботов рассмотрены с позиций компонентного и функционального подходов. Представлен краткий обзор разрабатываемых в настоящее время методов морфотроники и контактно-канального метода для структурного проектирования роботов.

V.N. Kazantsev, V.A. Pavlov
**TERMINOLOGY AND APPROACHES TO A DEFINITION OF
MODULAR ROBOT STRUCTURE**

RTC, Saint-Petersburg

A general approach to an interpretation of the existing terminology and to an application of the service robot component modularity classifications is considered. Concepts of the modular robot architecture development are considered from positions of the component and functional approaches. A brief overview of the morphotronic methods being developed currently and the contact & channel method used for the robots structural design is presented.

И.В. Ватаманюк, А.И. Савельев
МОБИЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА КАК
КОМПОНЕНТ КИБЕРФИЗИЧЕСКОГО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО
ПРОСТРАНСТВА

*Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации
 Российской академии наук, Санкт-Петербург
 vatamaniuk@ias.spb.su*

Предложена конфигурация мобильной робототехнической платформы (МРП), являющейся элементом киберфизического интеллектуального пространства (КФП). Представлено формальное описание компонентов МРП и сервисов, предоставляемых пользователю.

Ключевые слова: киберфизические системы, многомодальные интерфейсы, интеллектуальное пространство, мобильная робототехническая платформа

Рассмотрим корпоративное киберфизическое пространство (КФП) на примере многомодальной информационно-навигационной облачной системы (МИНОС) [1]. Ее основными компонентами являются: система корпоративного телевидения [2]; система автоматизации оборудования; система видеоконференцсвязи; система регистрации и идентификации пользователей; система навигации пользователя внутри помещений организации, дающая пользователю возможность проложить маршрут к интересующему его объекту, а также сервис сопровождения мобильной робототехнической платформы (МРП).

Опишем конфигурацию МРП MRP (рис. 1):

$$MRP = \langle H, S, SRV \rangle,$$

где $H = \langle M, T \rangle$ - аппаратное обеспечение, включающее: M – оборудование подвижной части платформы (двигатели, плата управления, датчики расстояния, система заряда и питания, сетевое оборудование), T – терминал (камера, микрофон, устройство вывода звука и сенсорный экран для взаимодействия с пользователем); $S = \{S_{dist}, S_{mot}, S_{pow}, S_{CPS}, S_U, S_{cam}, S_{mic}, S_{INT}\}$ – программное обеспечение, где: S_{dist} – блок обработки информации датчиков расстояния и одометрии, S_{mot} – блок управления движением, S_{pow} – блок управления питанием, S_{CPS} – блок коммуникации с КФП, $S_U = \{S_U^{pref}, S_U^{loc}, S_U^{act}, S_U^{stat}\}$

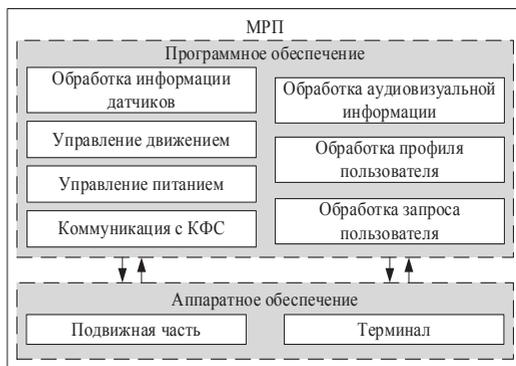


Рисунок 1. Структура МРП

– блок обработки информации о пользователе, включающий: S_U^{pref} – учет предпочтений пользователей, S_U^{loc} – последнее зарегистрированное местоположение пользователя, S_U^{act} – последние действия пользователя в КФП, S_U^{stat} – психофизическое и эмоциональное состояние пользователя, S_{cam} , S_{mic} – блоки обработки данных, поступающих с камеры и микрофона, включая: S_{speech} – блок распознавания речи, S_{face} – блок распознавания лиц, S_{INT} – блок взаимодействия с пользователем, включающий: S_{INF} – блок поиска необходимой информации, S_{TV} – блок корпоративного телевидения, S_{VC} – блок видеоконференцсвязи, S_{esc} – блок навигации и сопровождения пользователя; $SRV = \{SRV_{INF}, SRV_{TV}, SRV_{VC}, SRV_{esc}\}$ – сервисы, предоставляемые пользователю, включая: SRV_{INF} – поиск необходимой информации, SRV_{TV} – показ корпоративного телевидения, SRV_{VC} – видеоконференцсвязь, SRV_{esc} – навигация и сопровождение пользователя.

В отсутствие каких-либо активных действий пользователя, в то время, пока он находится в пределах видимости МРП, но не в активной зоне D_{act} , на экране МРП отображаются слайды корпоративного телевидения. Информацию о профиле пользователя МРП получает от КФП. Если пользователь входит в D_{act} , на экране отображается меню [1]: 1) показ слайдов; 2) информация об организации; 3) видеоконференцсвязь; 4) поиск помещения; 5) сопровождение пользователя. В случае бездействия пользователя МРП переходит в режим показа слайдов. В случае присутствия в D_{act} двух и более пользователей, МРП выбирает для дальнейшего взаимодействия ближайшего к ней пользователя. Предлагаемая МРП является модульной, предполагает событийно-ориентированное управление и может быть использована не только в рамках КФС, но и, к примеру, в роевой робототехнике.

1. Левоневский Д.К., Ватаманюк И.В., Савельев А.И. Многомодальная информационно-навигационная облачная система МИНОС для корпоративного киберфизического интеллектуального пространства. Программная инженерия. 2017. Т. 8. № 3. С. 120-128.
2. Левоневский Д.К., Ватаманюк И.В., Савельев А.И., Денисов А.В. Корпоративная информационная система обслуживания пользователей как компонент киберфизического интеллектуального пространства //Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2016. Т. 59. № 11. С. 906-912.

I.V. Vatamaniuk, A.I. Saveliev
**MOBILE ROBOTIC PLATFORM AS A COMPONENT OF CYBER-
 PHYSICAL SMART SPACE**

*St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian
 Academy of Sciences, St. Petersburg*
vatamaniuk@ias.spb.su

The paper discusses configuration of a mobile robotic platform as a component of a cyber-physical smart space. The components of the mobile robotic platform as well as the services provided to user are formally described. Some scenarios of user interaction with cyber-physical space through a mobile robotic platform are discussed.

Keywords: cyber-physical system, multimodal interface, smart space, mobile robotic platform

Let us consider a corporate cyber-physical environment by the example of a multimodal information and navigation cloud system (MINOS) [1]. Its main components are: corporate television system [2]; system of equipment automation; videoconferencing system; system of user registration and identification; system for user navigation inside the organization, which offers the user to map a route to the object of interest, as well as to escort him\her by the mobile robotic platform.

Consider the configuration of the mobile robotic platform *MRP* (fig. 1):

$$MRP = \langle H, S, SRV \rangle,$$

where $H = \langle M, T \rangle$ is the hardware, including motion module M (control board, motors, distance sensors, charge and power system, network equipment) and terminal T (camera, microphone, sound output, touchscreen); $S = \{S_{dist}, S_{mot}, S_{pow}, S_{CPS}, S_U, S_{cam}, S_{mic}, S_{INT}\}$ is the software, including: module of distance and odometer sensors data processing S_{dist} , motion control module S_{mot} , power control module S_{pow} , module of communication with other parts of cyber-physical environment S_{CPS} , $S_U = \{S_U^{pref}, S_U^{loc}, S_U^{act}, S_U^{stat}\}$ is the user data processing module including user preferences S_U^{pref} , last registered user location S_U^{loc} , last user actions in the cyber-physical environment S_U^{act} , user psychophysical and emotional state S_U^{stat} , camera image processing module S_{cam} , microphone sound processing

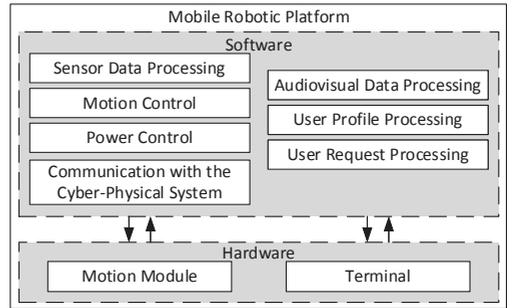


Figure 1.
 Structure of the mobile robotic platform

module S_{mic} , speech recognition module S_{spch} , face recognition module S_{face} , user interaction module S_{INT} including information search module S_{INF} , corporate television module S_{TV} , videoconferencing module S_{VC} , user navigation and escort module S_{esc} ;

$SRV = \{SRV_{INF}, SRV_{TV}, SRV_{VC}, SRV_{esc}\}$ are services provided to the user including search for necessary information SRV_{INF} , corporate television and slideshow SRV_{TV} , videoconferencing SRV_{VC} , user navigation and escort SRV_{esc} .

Consider some scenarios of user interaction. The mobile robotic platform is being in the slideshow mode in the absence of any active user action, while he/she is within the visibility of the mobile robotic platform but not in the active zone D_{act} . The slideshow can be personalized according to the user profile provided by the cyber-physical environment. When the user enters the active zone D_{act} , the mobile robotic platform displays the following menu: 1) slideshow; 2) information about organization; 3) videoconferencing; 4) room search; 5) user escort. In case of user's inactivity, the mobile robotic platform goes into the slideshow mode. If there are two or more users in the active zone D_{act} , the mobile robotic platform chooses the closest one for interaction. The proposed mobile robotic platform is modular, it assumes event-oriented control and can be used not only within the cyber-physical space, but also, for example, in swarm robotics.

1. Levonevskiy D.K., Vatamaniuk I.V., Saveliev A.I. MINOS Multimodal Information and Navigation Cloud System for the Corporate Cyber-Physical Smart Space. Software Engineering. 2017. vol. 8. no. 3. pp. 120-128.
2. Levonevskiy D.K., Vatamaniuk I.V., Saveliev A.I., Denisov A.V. Corporate information system of user service as a component of cyber-physical intellectual space. Journal of Instrument Engineering. 2016. vol. 59. no. 11. pp. 906-912.

О.М. Капустина
АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ
КИНЕМАТИКИ КУКА YOUBOT, ПАРАМЕТРИЗОВАННОЕ
ОБОБЩЁННЫМИ КООРДИНАТАМИ ЕГО ПЛАТФОРМЫ

*Национальный исследовательский университет “Московский
энергетический институт”, Москва,
KapustinaOM@mpei.ru*

При планировании движений и в процессе управления роботами требуется решать обратную задачу кинематики. Для кинематически избыточных механизмов эта задача является неопределённой, т.к. число уравнений меньше числа подлежащих определению обобщённых координат. Планируя движения и управляя роботом, важно знать все решения и иметь возможность выбирать отдельные. Численными методами находятся только некоторые из них. Аналитическое решение существует не для всех моделей роботов.

В докладе рассматривается робот КУКА youBot, представляющий собой управляемую платформу, несущую пятиосный манипулятор со схватом на конце руки. Меканум колёса обеспечивают возможность всенаправленного движения платформы. Открытое программное обеспечение робота позволяет широко применять его в исследованиях и образовании.

Ранее был представлен алгоритм получения точного аналитического решения обратной задачи кинематики КУКА youBot с учётом мобильности платформы. Для отбора отдельных решений было предложено три “параметра многозначности”: линейная и угловая координата положения платформы относительно рабочего органа и параметр, определяющий положение третьего шарнира руки (“локтя”) относительно звеньев.

В ряде задач требуется решать обратную задачу кинематики, считая известным положение платформы в абсолютном пространстве.

В настоящей работе показано, что набор параметров, определяющих отдельные решения обратной задачи кинематики КУКА youBot с учётом мобильности платформы не является единственным. Такими параметрами могут быть любые две из трёх обобщённых координат платформы на плоскости.

Представлены формулы точного аналитического решения обратной задачи кинематики КУКА youBot в зависимости от каких-либо двух обобщённых координат платформы. Рассмотрен пример вычисления точных решений с помощью Mathematica. Эксперименты, в которых реальный робот КУКА youBot был выставлен в положения, отвечающие

найденным в примере решениям, подтвердили правильность результатов.

Предложенные подходы могут быть использованы при анализе различных теоретических и практических проблем управления. Метод параметризации решения обобщёнными координатами платформы применим и для других типов мобильных роботов.

O.M. Kapustina

**AN ANALITICAL SOLUTION OF THE INVERSE KINEMATICS
PROBLEM OF KUKA YOBOT, PARAMETERIZED BY
GENERALIZED COORDINATES OF ITS PLATFORM**

*National Research University "Moscow Power Engineering Institute",
Moscow,
KapustinaOM@mpei.ru*

For motions planning and in the process of robots control, it is required to solve the inverse kinematics problem. For kinematically redundant mechanisms, the inverse kinematics problem is undefined, since the number of equations is less than the number of generalized coordinates to be determined. When planning the motions and control the robot, it is important to know all the solutions of this problem and be able to choose individual solutions. Numerical methods find only some of them. The analytical solution does not exist for all robot models.

In the report a robot KUKA youBot is considered, which is a controlled platform carrying five-axis manipulator with a gripper on the end of the arm. Mecanum wheels provide the possibility of omnidirectional motion of the platform. The open software of the robot makes it possible to widely use it in research and education.

An algorithm for obtaining an exact analytical solution to the inverse kinematics problem KUKA youBot taking into account the mobility of the platform was presented earlier. For the selection of individual solutions, three "redundancy parameters" were suggested: the linear and angular coordinate of the position and orientation of the platform relative to the end-effector and the parameter determining the orientation of the third joint ("elbow") relatively to the links.

In a number of problems it is necessary to solve the inverse kinematics problem, assuming that the position and orientation of the platform is known in absolute space.

In this work it is shown that the set of parameters that determine the individual solutions of the kinematics inverse problem KUKA youBot, taking

into account the mobility of the platform, is not the only one. These parameters can be any two of the three generalized coordinates of the platform in the plane.

Formulas of the exact analytical solution of the inverse kinematics problem KUKA youBot which depend on any two general coordinates of the platform are presented. An example of calculating exact solutions using Mathematica is considered. Experiments in which the real robot KUKA youBot was exposed in the configurations corresponding to the solutions found in the example, confirmed the correctness of the results.

The proposed approaches can be used in the analysis of various theoretical and practical problems of control. The method of parameterization of the solution by generalized coordinates of the platform is applicable to other types of mobile robots.

**В.А. Глазунов, А.К. Алешин, К.А. Шалюхин, Г.В. Рашиян,
А.В. Антонов, А.М. Попов, В.Ф. Юдкин**
**СИНТЕЗ И АНАЛИЗ РОБОТОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ
ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СРЕДАХ**

*Институт машиноведения имени А.А. Благонравова РАН, г. Москва
vaglznnv@mail.ru, aleshin_ak@mail.ru, constmeister@gmail.com,
gagik_r@bk.ru, ant.ant.rk@gmail.com, aproximandra@mail.ru,
vfyudkin@mail.ru*

**Glazunov V.A., Aleshin A.K., Shalyukhin K.A., Rashoyan G.V., Antonov
A.V., Popov A.M., Yudkin V.M.**
**SYNTHESIS AND ANALYSIS OF PARALLEL STRUCTURE ROBOTS
FOR WORKING IN EXTREME ENVIRONMENTS**

*Institute of Machines Science named after A.A. Blagonravov of the Russian
Academy of Sciences, Moscow
vaglznnv@mail.ru, aleshin_ak@mail.ru, constmeister@gmail.com,
gagik_r@bk.ru, ant.ant.rk@gmail.com, aproximandra@mail.ru,
vfyudkin@mail.ru*

Механизмы параллельной структуры состоят из нескольких кинематических цепей, соединяющих выходное звено с основанием, и могут воспринимать нагрузку подобно пространственным фермам. Данная конструкция наделяет механизмы параллельной структуры повышенными показателями точности и грузоподъемности по сравнению с традиционными манипуляционными механизмами консольного типа. Другое достоинство таких механизмов – возможность установки приводов вне рабочей зоны, что позволяет снизить инерционность и повысить быстродействие.

В настоящее время одной из серьезных проблем является решение задачи манипулирования моделями аэрокосмических систем в аэродинамической трубе в условиях интенсивного воздушного потока. Для решения этой задачи была разработана схема механизма параллельной структуры с шестью степенями свободы, отличительной особенностью которой является расположение всех приводов вне рабочей зоны. Такая конструкция позволяет как защитить приводы от воздействия окружающей среды, так и сохранить чистой окружающую среду от воздействия приводов. Подобное решение может найти применение и в других технических приложениях, в частности при испытаниях в таких агрессивных средах, как космос или океан.

Обратная задача о положении заключается в определении значений обобщенных координат механизма \mathbf{q} при известных векторе положения $(x_{pl} \quad y_{pl} \quad z_{pl})^T$ и углах ориентации $\varphi_{pl}, \theta_{pl}, \psi_{pl}$ выходного звена. Для

рассматриваемого механизма существует аналитическое решение данной задачи.

Прямая задача о положении заключается в определении вектора положения $(x_{pl} \ y_{pl} \ z_{pl})^T$ и углов ориентации $\varphi_{pl}, \theta_{pl}, \psi_{pl}$ выходного звена при известных значениях обобщенных координат механизма \mathbf{q} . Рассмотрим геометрическое решение данной задачи. В результате получим систему из 18 уравнений, 12 из которых являются квадратными и 6 – линейными, относительно 18 неизвестных, которыми являются координаты шести точек. Для этой системы уравнений не существует решения в аналитическом виде, поэтому будем искать численное решение.

Построение рабочей зоны механизма заключается в определении области пространства, которую может занимать выходное звено механизма (платформа) с учетом конструктивных и прочих ограничений. В рассматриваемом механизме такими ограничениями являются ограничения на диапазон изменения обобщенных координат механизма \mathbf{q} .

Определение рабочей зоны механизма будем проводить методом сканирования пространства вокруг платформы механизма с использованием решения обратной задачи о положении. Для построения рабочей зоны был составлен алгоритм. На основе полученного после сканирования пространства массива точек, принадлежащих рабочей зоне механизма, строится поверхность, охватывающая эти точки, а также определяется объем рабочей зоны.

Для проверки результатов, полученных при моделировании, была изготовлена экспериментальная установка. Установка включает в себя механизм, а также систему управления этим механизмом.

В ходе испытаний по управлению положением и ориентацией платформы можно визуально наблюдать подтверждение теоретических расчетов из пункта о решении обратной задачи о положении. Особенно наглядным является раздельное управление по какой-либо одной координате (углу ориентации): можно отчетливо наблюдать движение платформы вдоль этой координаты (изменение этого угла ориентации) с сохранением остальных координат и углов постоянными и соответствующими начальному положению платформы.

Результаты данной работы могут непосредственно использоваться в дальнейших исследованиях механизма, связанных с анализом особых положений, решением задачи о скоростях, динамическим анализом механизма. Полученное решение обратной позиционной задачи может использоваться для кинематического управления движением платформы, что было успешно продемонстрировано на экспериментальной установке.

И.В. Шардыко, В.В. Титов
**ЧАСТНЫЙ СЛУЧАЙ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ
КИНЕМАТИКИ ШЕСТИСТЕПЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА И
МЕТОДИКА БЫСТРОГО РЕШЕНИЯ ТРАЕКТОРНОЙ ЗАДАЧИ В
ПРОСТРАНСТВЕ ОБОБЩЁННЫХ КООРДИНАТ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
i.shardyko@rtc.ru, vitov@rtc.ru*

В статье представлено аналитическое решение обратной задачи кинематики для шестистепенного манипулятора, кинематическая схема которого близка к схеме манипулятора PUMA. Отличием является смещение осей шарниров тангажа плеча и тангажа локтя от главной оси манипулятора, что приводит к появлению в решении дополнительных компонент углов для данных шарниров. Приведённый алгоритм является точным, позволяет сравнительно просто осуществлять выбор оптимального решения из всех возможных и при этом требует выполнения лишь одной итерации для получения результата.

Также представлена методика реализации траекторного управления, в которой предлагается новый подход к расчёту интервалов времени между точками траектории и угловых скоростей шарниров в этих точках. Показано преимущество в быстродействии представленных алгоритмов относительно известных численных и оптимизационных алгоритмов.

Ключевые слова: манипуляторы; обратная задача кинематики; частное решение; траекторное управление; расчёт угловых скоростей шарниров

В ранее опубликованных работах авторов было представлено решение обратной задачи кинематики (ОЗК) для пятистепенного манипулятора. Рассматриваемый в данной статье манипулятор (далее – М1), имеет шесть степеней свободы, все из которых представлены шарнирами вращательного типа. Данная схема является широко известной, её общее описание достаточно часто встречается в литературе. Наиболее известным примером является манипулятор PUMA.

В настоящее время абсолютное большинство манипуляторов работает в декартовом пространстве в кинематических режимах, управляя положением определённой точки инструмента (ТСР), либо её скоростью, либо, в общем случае, траекторией. Траекторное управление в полном смысле предполагает синхронное движение шарниров через последовательность точек в определённые моменты времени с определённой скоростью. Задачей является построить требуемую

последовательность точек, определить интервалы времени между ними и рассчитать значения скорости в них при условии, что даны начальная и конечная точка для отрезка прямой либо достаточный набор точек для задания некоторой кривой. Для этого необходимо решить прямую и обратную задачи кинематики, а также прямую и обратную задачу мгновенной кинематики. Кроме того, необходим алгоритм учёта ограничений на угловые скорости и ускорения шарниров.

Для манипулятора PUMA известно частное решение ОЗК, имеющее до 8 возможных решений для каждой из возможных позиций ТСР, при этом под позицией понимается сочетание положения и ориентации. Аналогично PUMA, манипулятор M1 обладает т.н. сферическим запястьем. Кроме того, если рассматривать конфигурацию, когда звенья манипулятора параллельно одной оси, ось шарнира рыскания локтя (J4) и, соответственно, ось шарнира крена кисти (J6) также совпадают с осью шарнира рыскания плеча (J1) – главной осью манипулятора. Однако оси шарниров тангажа плеча и локтя при этом не пересекаются с главной осью. Таким образом, существует смещение оси J2 от главной оси и смещение J4 от плоскости осей шарниров J2 и J3, которые усложняют решение.

ОЗК была успешно решена, общее количество решений для позиционной подсистемы манипулятора составило четыре, для каждого из которых также существует два решения для ориентирующей подсистемы. Описан алгоритм выбора оптимального (наиболее подходящего) решения. Для оценки полного алгоритма ОЗК, было проведено его сравнение с типовым численным методом (градиентного спуска), показавшее существенно более высокую быстроту частного решения.

К манипуляторам часто предъявляется требование плавности движения вдоль некоторой кривой со скоростью ТСР, заданной в декартовом пространстве. Однако всегда существуют пределы скоростей и ускорений шарниров, вызванные ограничениями по мощности и геометрии. Эти пределы должны учитываться, что отражается в определении интервалов времени на перемещение между точками траектории. За основу был взят подход, предложенный в работах авторов Бьягиотти и Мелхорри (Biagiotti, Melchiorri), однако, вместо применения методик оптимизации, был разработан одноитерационный алгоритм, сочетающий плавность движения по траектории с быстрым временем расчёта за счёт отклонений от заданной скорости ТСР.

I. Shardyko, V. Titov
**A CLOSED-FORM SOLUTION OF IK TASK
FOR A 6-DOF MANIPULATOR WITH PITCH AXES OFFSET
AND A TECHNIQUE OF FAST JOINT SPACE TRAJECTORY
COMPUTATION**

*RTC, Saint-Petersburg
i.shardyko@rtc.ru, vtitov@rtc.ru*

The paper presents an analytical solution of inverse kinematics task for a 6-DOF manipulator with kinematics similar to that of PUMA, except additional angular components introduced by the linear offsets of the shoulder and elbow pitch axes from the main manipulator axis. The described procedure is exact, provides the convenient choice of the optimal solution from all the possible ones and requires only one iteration to obtain this solution. Implementation of trajectory control is proposed for which a new approach for computing the sequences of time intervals and joint speed is introduced. The results show the relative fastness of algorithms in comparison to the widely-known numerical and optimization techniques.

Keywords: manipulators; inverse kinematics; closed-form solution; trajectory control; joint speed computation

The authors have previously suggested a solution for a type of a 5-DoF manipulator, which can be found in. The manipulator in discussion (further referred as M1) has six DOF and all the joints of its kinematic chain are revolute. This type of structure is widely known, its description being easily found in literature, and the most famous example is PUMA.

For the present day, the absolute majority of manipulators operates in Cartesian space in kinematic mode, controlling the tool center point (TCP) position, velocity or, in general case, trajectory. Full trajectory control assumes synchronous motion of joints through a set of intermediate points at the certain moments of time with required speed. The task is to create this set, determine the time intervals and calculate the speed, with the beginning and end points as input for a line or with any sufficient set of points for a given curve. To achieve this, forward and inverse kinematics tasks (FK and IK) and instantaneous FK and IK are to be solved and an algorithm considering joint speed and acceleration bounds should be provided.

The case of PUMA has the known closed-form IK solution with a total of at most 8 solutions for any pose of the TCP, where pose includes both position and orientation. The manipulator in discussion also has a spherical wrist, and when all the pitch joints are oriented vertically, the axis of elbow rotation joint

(J4), and, naturally, the axis of wrist roll joint (J6), coincide with the axis of shoulder rotation joint (J1), which can therefore be called the main manipulator axis. However, the axes of shoulder pitch joint (J2) and elbow pitch joint (J3) do not intersect the main axis. In other words, there is an offset of J2 from the main axis along the X1 and an offset of J4 along the axis X3, which both complicates finding the solution.

The task has been solved with a total of four solutions for the position structure, and for each of them a pair of solutions for orientation structure exists. An algorithm is given to choose the optimal solution. To evaluate the proposed technique, it was compared with a common numerical method for IK task (method of gradient descent) and showed the significantly higher fastness.

It is often desired of manipulators to move smoothly along some curve or polygon with the velocity given in Cartesian space, referred as TCP velocity. However, there always are constraints on the speed and acceleration of joints due to power limitations. These constraints should be taken into account, which mainly results in defining the appropriate time intervals between trajectory points. The approach suggested by Biagiotti and Melchiorri has been considered, however, instead of applying optimization techniques, an algorithm of one iteration has been developed to combine the smoothness of a trajectory with a smaller time of execution. The price is the deviation from desired TCP velocity profile.

В.М.Копылов
СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ КОЛЕБАНИЙ ПОЛЕЗНОЙ
НАГРУЗКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, г. Санкт-Петербург

v.kopylov@rtc.ru

Измерение деформаций и усилий, возникающих при колебаниях протяженных упругих тел, является важной задачей в механике аэрокосмических объектов. Основным методом определения деформаций в настоящее время является фотограмметрия. Установки для фотограмметрии не являются компактными, и не могут использоваться на борту управляемого объекта. Для определения упругих сил могут использоваться силомоментные датчики, однако они не позволяют разделить колебательную и поступательную составляющие движения, что важно для управления. В данной статье предложен подход к измерению деформаций и усилий в упругом теле, закрепленном на жестком объекте (например, космическом аппарате), с помощью комбинации прямых интерферометрических измерений расстояния и последующей математической обработки с использованием конечно-элементной модели тела. Свертка конечно-элементной модели с помощью частотного анализа или методом Крэйга-Бамптона позволяет получить связь деформаций и усилий, возникающих в любом конечном элементе тела, с обобщенными координатами колебаний всего тела. Так как число обобщенных координат соответствует числу собственных частот, и обычно не превосходит 20, появляется возможность по относительно малому числу замеров определить полную картину колебаний. Для этих измерений предлагается использовать интерферометр схемы Майкельсона с несколькими измерительными и одним базовым плечом. Приведены основные расчетные соотношения метода, схема прибора и его ориентировочные характеристики.

Ключевые слова: протяженные упругие элементы, КА наблюдения, интерферометр, форма колебаний.

V.M. Kopylov
**A METHOD FOR MEASURING OF OSCILLATIONS OF
SPACECRAFT PAYLOAD**

RTC, Saint-Petersburg

Long flexible bodies' deformation and stress measuring is an important problem in aerospace engineering. Currently the main method of deformation measuring is photogrammetry. Photogrammetry mountings are not compact or portable, and cannot be installed onboard. It is possible to use force-torque sensors for stress measuring, but they can't separate oscillatory and translational movement, which is important for control system. In this paper a way to measure deformations and stress in flexible body, firmly fixed on the spacecraft, is suggested. This method is based on combination of direct interferometric distance measuring and following mathematical processing using a finite element body model. Finite element convolution by modal analysis or Craig-Bampton method allow to derive a relation between deformations and stresses of any finite element of body and generalized oscillation coordinates of all body. Since the number of generalized coordinates corresponds to the number of natural frequencies, and usually does not exceed 20, it becomes possible for a relatively small number of measurements to determine a complete picture of the fluctuations. For these measurements it is suggested to use a Michelson scheme interferometer with multiple measuring arms and one base arm. The basic method's equations, the scheme of the device and its approximate characteristics is provided.

Keywords: long flexible parts, observations spacecraft, interferometer, mode shape.

Bibliography

- [1] Yu. S. Manuilov, S. V. Zinov'ev, Y. V. Prishchepa, E. N. Aleshin, "Investigation of dynamic and energy of the compatibility of a positioning system and control the angular motion of space solar power station". News of higher educational institutions. Priborostroyeniye. №11, т.57, 2014.
- [2] Yu. N. Gorelov "the Concept of locally Autonomous control of an elastic spacecraft" XII all-Russian conference on control problems, Russian Academy of Sciences, Institute of problems of management n.a. V. A. Trapeznikov. 2014
- [3] Roy R. Craig Jr., Mervyn C. C. Bampton "Coupling of Substructures for Dynamic Analysis". AIAA Journal, Vol. 6, No. 7, July 1968
- [4] COSMOS/M user guide for UNIX, Windows NT & Windows 95. V. 1.75, 1996.
- [5] M. G. Ignat'ev, V. M. Kopylov, A. Kulakov, M. V. Sotnikov. "The program complex of simulation of stable motion of a spacecraft with elastic

- transformable structural elements". Bulletin of Siberian state aerospace University, n.a. academician M. F. Reshetnev, №3/2013
- [6] V. N. Brunets, I. P. Shmyglevskii. The use of quaternions in problems of orientation of a rigid body. – Moscow: Nauka, 1973.
- [7] Glantschnig F. "Digitale Langenmessgerate hoher Auflosing". Brown Boveri Mitteilungen, 1967, 54, Nr 4, S.172-179
- [8] V. Kolomiytsev. "Interferometers. Basic engineering theory. Usage.", Leningrad: Mashinostroyenie 1976. – 295c.
- [9] Kenneth A. Blumenstock & others, "ATLAS Beam Steering Mechanism Lessons Learned". 43rd Aerospace Mechanisms Symposium, p.1-14, Santa Clara, CA, 2016

И.А. Васильев
**АЛГОРИТМЫ ДВИЖЕНИЯ КОЛЁСНО-ШАГАЮЩЕЙ
ПЛАТФОРМЫ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, г. Санкт-Петербург
vas@rtc.ru*

Существуют задачи аккуратного перемещения грузов, т.е. такого перемещения, когда ускорение транспортного средства, передаваемое на груз, строго ограничено. При этом перемещение груза требуется организовать по пересечённой местности.

Эту задачу решают двояко: либо улучшением качества подвески колёс, т.е. более мягкой подвеской. Либо применением чисто шагающего привода. В данной работе применён новый подход, при котором совмещены колесные и шагающие привода. Для пересечённой местности применяются алгоритмы шагания, а для ровных поверхностей – обычные колёса.

Применение такого подхода для колёсно-шагающих платформ очень широко – от ликвидации последствий аварий и катастроф (перемещение раненых) до помощи в разведке природных ресурсов.

Ключевые слова: алгоритмы, робототехника, робот, колёсно-шагающая платформа.

I.A. Vasilyev
**ALGORITHMS OF MOTION OF THE WHEELED-WALKING
PLATFORM**

*RTC, Saint-Petersburg
vas@rtc.ru*

There are tasks of accurately moving loads, i.e. such movement, when the acceleration of the vehicle, transferred to the cargo, is strictly limited. At the same time, the movement of the cargo is required to be organized over rough terrain.

This problem is solved in two ways: by either improving the quality of the wheel suspension, i. e. softer suspension, or using a purely walking drive. In this paper, a new approach is applied, in which wheeled and stepping drives are combined. Alteration algorithms are used for the crossed terrain, and for normal surfaces, conventional wheels are used.

The application of such an approach for wheel-walking platforms is very broad from the elimination of the consequences of accidents and disasters (moving the wounded) to aid in the exploration of natural resources.

Key words: algorithms, robotics, robot, wheel-walking platform.

И.А. Васильев

ВЫВОД ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА N-ГО ПОРЯДКА НА ОСНОВЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ.

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, г. Санкт-Петербург
vas@rtc.ru*

В статье описывается простой вывод регулятора. Зная динамику системы можно «заставить» систему двигаться по требуемым траекториям. Для этого уравнения, отвечающие за форму траектории параметризуются для требуемых граничных условий. Затем подставляются в уравнения динамики. Таким образом получаются уравнения управления системой. Замечательно то, что в результате получаются ПИД-регуляторы. То есть, в статье описан аналитический вывод регуляторов.

Ключевые слова: робот, система управления, регулирование.

I.A. Vasilyev

DERIVATION OF THE DIFFERENTIAL CONTROLLER OF THE N-TH ORDER ON THE BASIS OF THE DYNAMICS OF THE SYSTEM.

*RTC, Saint-Petersburg
vas@rtc.ru*

The article describes a simple output of the regulator. Knowing the dynamics of the system, you can "force" the system to move along the required trajectories. For this, the equations responsible for the shape of the trajectory are parametrized for the required boundary conditions. Then they are substituted into the equations of dynamics. Thus, the system control equations are obtained. Remarkably, the result is PID regulators. That is, the article describes the analytical conclusion of regulators.

Keywords: robot, control system, regulation.

В.Я. Вилисов
**ОБУЧЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ОПТИМАЛЬНОМУ
ПОВЕДЕНИЮ В УСЛОВИЯХ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ**

*ООО «Энергия ИТ», Моск. обл., г. Королев
vvib@yandex.ru*

Большую группу прикладных отраслей, где существует острая потребность в использовании максимально автономных робототехнических систем (РТС), составляют сферы с экстремальными условиями [1-3]. В данной работе рассмотрены ситуации, которые могут быть описаны антагонистическими матричными играми (АМИ) с нулевой суммой [4].

Применение тех или иных моделей в практике проектирования систем или управления ими основано на выборе типа (структуры) и параметров моделей, в максимальной степени адекватных объекту. Для обеспечения адекватности моделей в подавляющем большинстве случаев используется нормативный подход [3], при котором структура и параметры моделей выбираются и обосновываются априори, на стадии их разработки и начальной настройки.

Предлагаемый в данной работе подход к обеспечению адекватности модели основан на принципах адаптации структуры и параметров модели к целевым предпочтениям лица, принимающего решения (ЛПР), в интересах которого функционирует РТС. Адаптивный подход, основанный на решении обратной АМИ, позволяет обеспечить высокий уровень эффективности, живучести и автономности РТС для широкого круга прикладных задач [1-3].

В качестве модельного примера, иллюстрирующего предлагаемый подход, рассмотрена модель взаимодействия обороняемых наземных целей с атакующими их летательными аппаратами.

Обратная АМИ по структуре относится к задачам параметрической идентификации [5], в которой оцениваемыми параметрами являются элементы платежной матрицы.

Исследования адаптивного алгоритма управления РТС, основанного на решении обратной и прямой АМИ, показали устойчивый характер сходимости по оценкам и решениям для различных размерностей модели и вариантов скользящих интервалов наблюдений.

Использование методов оптимального планирования эксперимента в процессе решения обратной задачи позволит сократить время адаптации модели к предпочтениям ЛПР.

Настроенная и заложенная в РТС модель является в высокой степени адекватной предпочтениям ЛПР, а принимаемые РТС решения по качеству не будут уступать решениям «учителя» игровой модели.

Однако, в отличие от управления РТС оператором, управление его «двойником» - моделью игры, позволяет:

- существенно сократить продолжительность цикла управления;
- снизить значимость каналов связи, подверженным воздействию средств радиоборьбы;
- повысить автономность РТС.

При появлении признаков нестационарности среды или при изменении предпочтений ЛПР, модель вновь может быть настроена и перезагружена в РТС. Процесс настройки (обучения) модели может проходить и в специальных ситуационных центрах с привлечение групп экспертов, а настроенная для новых условий игровая модель может быть загружена, как «горячее» обновление, не прерывая текущего нормального функционирования РТС.

1. Шеремет И.Б., Рудианов Н.А., Рябов А.В., Хрущев В.С. О необходимости разработки концепции построения и применения автономных робототехнических комплексов военного назначения // Труды международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника», СПб: ООО «АП4Принт», 2016 г., С. 35-39.
2. Рудианов Н.А., Рябов А.В., Хрущев В.С. Наземные робототехнические комплексы как элемент системы обороны объектов и территорий РФ // Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции «Экстремальная робототехника», СПб: Политехника-Сервис, 2015 г., С. 16-17.
3. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М: Физматлит. – 2009. – 280 с.
4. Оуэн Г. Теория игр. - М.: Мир, 1971. - 230 с.
5. Вилисов В.Я. Адаптивный выбор управленческих решений. Модели исследования операций как средство хранения знаний ЛПР. – Саарбрюкен (Германия): LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011, 376 с.

V.Ya. Vilisov

LEARNING A ROBOTIC SYSTEM HOW TO BEHAVE IN AN OPTIMAL MODE IN THE CONDITIONS OF RESISTANCE

*Energy IT LLP, Korolyov city, Moscow Oblast
vvib@yandex.ru*

Extreme condition environments exist in a majority of applied industries that are in an acute need of using Robotic Systems (RS) that would be as autonomous as possible [1-3]. The work considers situations, which can be described using zero sum Antagonistic Matrix Games (AMG) [4].

When building or managing systems, the choice of using specific models is based on the choice of the type (structure) and parameters of the models that are considered as much appropriate to them as possible. In order to make sure that chosen models are appropriate, we often use a normative approach [3] where structure and parameters are selected and justified a priori at the level of their development and initial adjustment.

The model appropriateness approach that we use in the work is based on the principles connected with the structure adaptation and model parameters set in regard to target preferences of the Decision Taker (DT) who controls the RS. The adaptive approach allows providing RS with a high level of effectiveness, survivability and independence in regard to a wider range of applied problems [1-3].

As a model example that demonstrates the suggested approach, let us consider the model where defended land targets and attacking aircrafts are closely interconnected.

According to its structure, Reverse AMG is a problem of parametric identification [5] where elements of a payoff matrix are the estimated parameters.

The research conducted in relation to the adaptive algorithm of the RS control, which in its turn is based on the solution of a direct and reverse AMG showed a stable nature of an estimate-based and a decision-based convergence, also using different model dimensions and different variants of variable intervals of observations.

Using the experiment optimal planning methods within the process of solving a reverse problem shall reduce time of the model's adaptation in relation to the Decision Taker's preferences.

The model that is adjusted and pre-built within the RS is highly appropriate to the preferences of the Decision Taker, while the quality of decisions that are taken by RS are not inferior to the quality of decisions made by the "teacher" of a game model. However, what makes the RS different when it is controlled not by the operator but by its "twin", i.e. the game model is the following:

- a considerate reduction of the control cycle duration;

- reducing significance of communication channels that are susceptible to the impact of electronic wars;
- increase of RS independence.

Should the signs of the environment nonstationarity appear or should the Decision Maker's preferences change, the model can be adjusted and reloaded into the RS. The process of adjusting (educating) the model can be conducted in special situational centers using expert groups, while the game model that has been adjusted for new conditions can be loaded as a "hot" update without interrupting normal operation of the RS.

1. I.B. Sheremet, N.A. Rudianov, A.V. Ryabov, V.S. Khruschov. On Necessity of Developing a Concept of Building and Applying Autonomous Robotic Military Complexes / Book of reports of the Russian National Scientific and Technological Conference "Extreme Robotics", Saint Petersburg: AP4Print LLC, 2016, pp. 35-39.
2. N.A. Rudianov, A.V. Ryabov, V.S. Khruschov. Land Robotic Systems Being the Defense Element of Objects and Territory of the Russian Federation // Book of reports of the Russian National Scientific and Technological Conference "Extreme Robotics", Saint Petersburg: Politekhniko-Service, 2015, pp. 16-17.
3. I.A. Kalyayev, A.R. Gaiduk, S.G. Kapustyan. Models and Algorithms of Collective Control in Robotic Groups. - Moscow: Fizmatlit. - 2009, p. 280.
4. Guillermo Owen. Game Theory - Moscow: Mir, 1971, p. 230.
5. V. Ya. Vilisov. Adaptive Choice of Managerial Decisions. Operation Examination Models as the Means of Storing the Decision Maker's Knowledge - Saarbruecken (Germany): LAP LAMBERT Academic Publishing, 2011, p. 376.

В.М. Московченко, В.В. Баранов
МОДЕЛЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РОБОТИЗИРОВАННЫЕ
СИСТЕМЫ

*Южно-Российский государственный политехнический университет
имени М.И. Платова, Новочеркасск*

Moskovchenko V.M., Baranov V.V.
MODEL OF IMPACT ON ROBOTIC SYSTEMS

Southern Russian State Polytechnical University of M.I. Platov
Novocherkassk town

baranov.vv.2015@yandex.ru, fvo.urgpu.npi@yandex.ru

XXI Век - век информационных технологий, в котором все очень быстро меняется. В настоящее время мир стоит на грани новой промышленной революции – четвертой или Индустрия 4. «Умные» фабрики, заводы-принтеры и интернет вещей уже заменяют человека в производстве.

Основные компоненты Индустрии 4.0: умные сенсоры, которые позволяют собирать данные в процессе производства; передача больших объемов данных людям, другим машинам и заводам; облачные сервисы, которые предоставляют данные из любого места; «умные станки», которые сами определяют свою производственную траектории, т.е охватывают все сферы жизни человека.

Технологически это означает не только создание «единой сети станков и машин», но и самостоятельную и непрерывную оптимизацию их текущей работы, большую гибкость производств, персонализацию заказов и более тесную связь с потребителем.

В рамках проекта немецкого правительства Industry 4.0 по компьютеризации промышленности в 2006 году Хелен Джилл ввел понятие киберфизические системы, которые включают в себя:

- системы управления производством;
- беспилотные летательные аппараты и автомобили;
- системы военного назначения;
- роботизированные системы.

Особое внимание зарубежное руководство уделяет внимание роботизированным системам. В качестве основных каналов воздействия на них рассматривают следующие:

- воздействия на подсистемы управления;
- воздействие на человеко-машинный интерфейс;
- воздействия на протоколы взаимодействия;
- воздействия на устройства, входящие в роботизированные системы.

С целью воздействия на роботизированные системы злоумышленник перешел от массовых атак к таргетированным, или целевым. Целевая атака всегда строится под объект воздействия, являясь продуманной операцией. Отличием от других атак является: адресность; скрытность; продолжительность; использование разнородных инструментов и методов; изменчивость вектора атаки, ее инструментария по мере развития; наличие центра управления атакой; результативность.

Таргетированная кибернетическая атака (ТКА) обладает вероятностно-временными характеристиками (ВВХ), определение их позволит оценить степень их опасности, выбрать и реализовать меры защиты. С этой целью предлагается использовать профильные модели ТКА и метод топологического преобразования стохастических сетей (ТПСС) [1].

Профильная модель – условное представление (последовательность действий или алгоритм) реального объекта, системы или процесса (компьютерных атак) в форме, которая создается для более глубокого изучения их функционирования.

Стохастическая сеть – совокупность взаимоувязанных узлов (вершин) и ветвей, соединение которых соответствует алгоритму функционирования исследуемой системы.

В методе ТПСС исследуется не система, а целевой процесс, который она реализует. Этот сложный процесс декомпозируется на элементарные, каждый из которых может характеризоваться функцией распределения времени его выполнения, плотностью вероятности, вероятностью или средним и дисперсией времени выполнения.

Сущность метода ТПСС состоит в представлении анализируемого процесса в виде стохастической сети, замене множества элементарных ветвей сети одной эквивалентной и последующим определением эквивалентной функции сети, начальных моментов и функции распределения случайного времени ее реализации, т.е. реализации анализируемого процесса.

Анализ вероятностно-временных характеристик ТКА позволит обосновать направления разработки системы защиты РТС, целью которой является предотвращение (затруднение) реализации ТКА.

1. Привалов А.А. Метод топологического преобразования стохастических сетей и его использование для анализа систем связи ВМФ. – СПб: ВМА, 2000. – 240 с.

***В.М. Московченко¹, О.С. Лаута², Д.А. Иванов², М.А. Коцыняк²,
И.Б. Саенко²***

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ
СТОХАСТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

*¹Россия, Южно-Российский государственный политехнический
университет имени М.И. Платова, г. Новочеркасск*

fvo.urgri.npi@yandex.ru

*²Россия, Военная академия связи имени Маршала Советского Союза
С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург*

*kot-c@yandex.ru, laos-82@yandex.ru, ibsaen@mail.ru,
prosto_deniss@mail.ru*

***Moskovchenko V.M. ¹, Lauta O.S. ², Ivanov D.A.², Kotsynayk M.A. ²,
Saenko I.B.²***

**APPLICATION OF THE METHOD OF CONVERTING
STOCHASTIC NETWORKS FOR INTELLECTUAL IMPACTS
MODELING**

*¹ Southern Russian State Polytechnical University of M.I. Platov
Novocherkassk town;*

*²Military Academy of the Signal Corps named after S.M. Budjonny,
Saint-Petersburg*

Роботизированные системы (РТС) как объект управления представляет собой сложную систему, включающую в себя многозвенную механическую конструкцию с исполнительными пневмо-, гидро- или электроприводами, активно взаимодействующую с окружающей средой и характеризующуюся совокупностью параметров, изменяющихся во времени.

Вместе с тем, непосредственное внедрение РТС приводит к усилению опасности существующих и появлению новых атак противника на подлинность и доступность передаваемой информации, передаваемой по каналам управления (КУ) РТС.

Возможными результатами воздействия атак на РТС являются несанкционированный доступ, блокирование управляющей информации,

внедрение ложной информации, нарушение установленных регламентов сбора, обработки и передачи информации, отказы и сбои в работе РТС, а также компрометация передаваемой или получаемой информации. Однако, анализ атак показывает, что наиболее опасными для РТС являются атаки, направленные на перехват канала управления, т.е. интеллектуальные воздействия.

Под интеллектуальными воздействиями в статье понимаются целенаправленные, согласованные по месту и времени воздействия, предназначенные для перехвата канала управления системой.

Учитывая вышеизложенное, необходимо разработать способы защиты КУ РТС от интеллектуальных воздействий. Для построения системы защиты предлагается первоначально построить модели интеллектуальных воздействий, определить их вероятностно-временные характеристики и используя полученные, в качестве исходных данных, обосновать защиту КУ РТС.

Подход, рассматриваемый в настоящей статье, предполагает построение аналитических моделей интеллектуальных воздействий (ИВ). Результатом моделирования является функция распределения времени и среднее время реализации ИВ. Для построения аналитической модели ИВ применяется подход, основанный на преобразовании стохастических сетей. Этот подход отличается более высокой точностью и устойчивостью получаемых решений и хорошо зарекомендовал себя для моделирования многошаговых стохастических процессов различной природы.

Первым этапом при моделировании является построение эталонной модели. Эталонная модель атаки – это последовательность (алгоритм) действий злоумышленника при реализации ИВ. В качестве примера построения эталонной модели атаки рассмотрена атака «Человек по середине».

Следующий этап - построение стохастической сети и нахождение эквивалентной функции, сохраняющей в своей структуре параметры распределения и логику взаимодействия элементарных случайных процессов. Эквивалентная функция позволяет определить первые моменты случайного времени выполнения целевого процесса.

Далее используя преобразование Лапласа и разложение Хевисайда, находятся расчетные выражения для определения функции распределения вероятности времени реализации ИВ «Человек по середине» и среднее время, затрачиваемое на реализацию ИВ «Человек по середине».

Результаты расчеты представляются в виде зависимостей интегральной функции распределения вероятности от времени реализации ИВ и зависимость среднего времени реализации ИВ от вероятности.

Таким образом, материал настоящей статьи предлагает новый подход к аналитическому моделированию атак, основанный на методе преобразования стохастических сетей. Сущность данного метода заключается в замене множества элементарных ветвей стохастической сети одной эквивалентной ветвью и последующим определением эквивалентной функции сети, а также начальных моментов и функции распределения случайного времени реализации атаки.

Проверка предложенного подхода была произведена для моделирования ИВ «Человек по середине», которые являются одними из наиболее распространенных и опасных для компьютерных сетей.

**В.М. Московченко¹, В.Е. Дементьев², М.А. Коцыняк²,
А.П. Нечепуренко², В.А. Краснов²**
**ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ПРОТОКОЛЬНЫХ
ВОЗДЕЙСТВИЙ НА РОБОТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ**

*¹Россия, Южно-Российский государственный политехнический
университет имени М.И. Платова, г. Новочеркасск*

fvo.urgri.npi@yandex.ru

*²Россия, Военная академия связи имени Маршала Советского
Союза С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург*

dem-vlad@rambler.ru, kot-c@yandex.ru, texas_m720ex@mail.ru

**Moskovchenko V.M.¹, Dementiev V.E.², Kotcynayk M.A.²,
Nechepurenko A.P.², Krasnov V.A.²**
**APPROACH TO FORECASTING OF PROTOCOL IMPACTS ON
ROBOTIC SYSTEMS**

*¹Southern Russian State Polytechnical University of M.I. Platov
Novocherkassk town;*

*²Military Academy of the Signal Corps named after S.M. Budjonny,
Saint-Petersburg*

Информация о сетевом трафике имеет статистический характер и представляет собой временные последовательности. Методы статистического анализа сетевого трафика широко освещены при их использовании в качестве инструментов прогнозирования загруженности каналов управления, определения потерь, качества управления и т.п. С точки зрения обеспечения сетевой безопасности, проводить анализ сетевого трафика крайне необходимо для решения задач сетевого администрирования, и мониторинга корректного функционирования роботизированных систем (РБС).

Как класс статистический анализ относится к поведенческим методам определения нарушений в каналах управления и основан на сопоставлении текущего состояния РБС с некими определенными заранее признаками, характеризующими штатное их функционирование. Методы статистического анализа имеют различные интерпретации,

основанные на различных динамических характеристиках сетевого трафика, однако базовые принципы практически у всех идентичны. Неоспоримым преимуществом применения методов статистического анализа является возможность определения впервые реализовываемых методов негативного воздействия на объект атаки со стороны злоумышленника. Однако для его успешной реализации необходимо определить объект анализа, иметь определенные структурированные характеристики, образующие корректную конфигурацию, иметь критерии, по которым можно определить потенциальное протокольное воздействие (ПВ). Для уменьшения вероятности получения ошибочных результатов анализа, основного недостатка применения поведенческих методов выявления инцидентов информационной безопасности, при реализации комплексного подхода, положенного в основу разработки системы протокольной защиты каналов управления роботизированных систем (СПЗ КУ РБС) метод статистического анализа использовался совместно с методами нейросетевого и сигнатурного анализа.

Таким образом, основными решаемыми задачами являлись: определение анализируемых и контролируемых характеристик сетевого трафика – признаков ПВ, разработка методик оценки информативности и идентификации признаков ПВ, построение правил штатного функционирования (ПШФ) КУ РБС, разработка алгоритма прогнозирования, а также интеграция методов прогнозирования ПВ в разработанную СПЗ КУ РБС. Для идентификации ПВ необходимо сформировать их сигнатуры. Здесь учитываются как классические признаки ПВ, так и добавочные – фаза ПВ и тип угрозы. Для прогнозирования фиксируется объём данных, т.е. длина пакета.

Таким образом, имеем три признака: "пороговый на основе шаблона штатного функционирования сети (ШШФС)", "доверительного интервала", "доверительного интервала на основе ШШФС". Использование трех признаков сравнения характеристик позволяет с более высокой степенью вероятности выявить именно действия, направленные на нарушение безопасного сетевого взаимодействия. При статистическом анализе необходимо учитывать, что трафик РБС обладает свойством масштабной инвариантности – имеет особую фрактальную (самоподобную) структуру, сохраняющуюся на разных масштабах. В процессе передачи возникают большие всплески при относительно низком среднем уровне трафика, что важно учитывать при статистическом анализе.

Производя периодический или постоянный анализ состояния РБС, появляется возможность идентифицировать действия злоумышленников, направленные на подготовку к проведению атак: сканирование портов, службы, получение информации об используемом прикладном,

системном программном обеспечении и системах защиты (на этапе рекогносцировки).

Описанные выше методы обнаружения попыток нарушения безопасности в КУ РБС основаны на том обстоятельстве, что в этом случае могут изменяться некоторые статистические характеристики потока пакетов. Сопоставляя результаты, можно сделать вывод, что диапазоны значений характеристик штатного функционирования КУ РБС, имеют относительное постоянство уровней значений математических ожиданий и дисперсий. При возникновении нештатной ситуации аналогичные оценки по различным характеристикам изменяются значительно.

П.П. Белоножко
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ОДНОСТЕПЕННЫХ
МАНИПУЛЯТОРОВ НА ПОДВИЖНОМ И ШАРНИРНО
ЗАКРЕПЛЕННОМ ОСНОВАНИИ

*Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана, Москва
byelonozhko@mail.ru*

P.P. Belonozhko
COMPARATIVE ANALYSIS OF DYNAMICS OF ONE-DEGREE OF
FREEDOM MANIPULATORS ON MOVABLE AND HINGED
FOUNDATIONS

*Bauman Moscow State Technical University, Moscow
byelonozhko@mail.ru*

В [1–2] в форме уравнения Рауса получено независимое уравнение динамики относительного движения одноступенного космического манипулятора на подвижном основании для случая отсутствия внешних сил и моментов. Выполнен качественный анализ плоских инерционных движений, выделены существенно различающиеся режимы – колебания и круговращения. Несмотря на модельный характер задачи, важной особенностью которой являются возможность качественного аналитического исследования и наглядной интерпретации результатов, полученное уравнение предполагает также непосредственное прикладное использование при исследовании, например, некоторых режимов движения монтажно-сервисных автономных роботизированных космических модулей [3–4].

В [5] применительно к вопросу об использовании собственных инерционных движений манипулятора при построении управления рассматривается свободное движение шарнирного двухзвенника – одноступенного манипулятора на шарнирно закрепленном основании. Динамика манипулятора описывается системой дифференциальных уравнений, описывающих абсолютное движение основания и относительное движение груза. Независимое уравнение динамики относительного движения в [5] не используется. В докладе показано, что такое уравнение может быть получено (также в форме уравнения Рауса [6]), при этом движение груза относительно шарнирно закрепленного основания с точностью до выражений для коэффициентов описывается тем же уравнением, что и динамика относительного движения одноступенного манипулятора на подвижном основании.

Полученные результаты показали механическую эквивалентность (при выполнении соответствующих условий эквивалентности, имеющих вид соотношений между массо-инерционными и геометрическими параметрами) рассматриваемых расчетных схем в смысле одинаковых движений по соответственным координатам. При этом движения центров масс систем будут различными.

Полученные результаты дают возможность более глубокого сопоставительного анализа случаев закрепленного основания манипулятора, более характерного для наземной робототехники, и основания подвижного в инерциальном пространстве, более характерного для робототехники космической.

Литература

1. Белоножко П.П. Исследование плоских инерционных движений космического манипулятора на подвижном основании как нелинейной колебательной системы // «Робототехника и техническая кибернетика», № 4(13) 2016. – С. 52 – 58.
2. Belonozhko P.P. Methodical Features of Acquisition of Independent Dynamic Equation of Relative Movement of One-Degree of Freedom Manipulator on Movable Foundation as Control Object // Smart Electromechanical Systems: The Central Nervous System. Studies in Systems, Decision and Control 95. Andrey E. Gorodetskiy, Vugar G. Kurbanov (ed.) – Springer International Publishing Switzerland, 2017 – P. 261 – 270. 10.1007/978-3-319-53327-8_19
3. Белоножко П.П. Перспективные монтажно-сервисные роботизированные космические модули // Робототехника и техническая кибернетика. 2015. – № 2(7). – С. 18 – 23.
4. Белоножко П.П. Космическая робототехника. Современное состояние, перспективные задачи, тенденции развития. Аналитический обзор. // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2016. № 12. С. 110–153. DOI: 10.7463/1216.0853919.
5. Смольников Б.А. Проблемы механики и оптимизации роботов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. – 232 с.
6. Лурье А. И. Аналитическая механика / А. И. Лурье. — М. : Физматгиз, 1961. — 824 с.

Е.С. Брискин, Я.В. Калинин
**ОБ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫХ ПОХОДКАХ
ШАГАЮЩИХ РОБОТОВ***

*Волгоградский государственный
технический университет, Волгоград
dtm@vstu.ru*

E.S. Briskin, Ya.V. Kalinin
ON ENERGETICALLY EFFICIENT GAITS OF WALKING ROBOTS

*Volgograd State Technical University
dtm@vstu.ru*

Изучаются условия изменения типа походки шагающего робота за счёт явления самосинхронизации работы приводов. Определяются условия, при которых наиболее энергетически выгодной оказывается та или иная походка.

Ключевые слова: походка шагающего робота, самосинхронизация движения, энергетическая эффективность.

Задача повышения энергетической эффективности шагающих роботов является одной из важнейших при их разработке и эксплуатации [1, 2]. Низкая энергетическая эффективность шагающих роботов обусловлена тем, что шагающий движитель является неуравновешенным механизмом [3] и при его периодическом переносе в новое положение значительная часть мощности двигателя расходуется на преодоление сил инерции. Известно, что, как правило, эта мощность при поступательном равномерном движении корпуса робота пропорциональна кубу скорости [4].

При движении многоприводной системы, а таковой является и любой шагающий робот с различными системами управления шагающими движителями, возможно возникновение явления самосинхронизации приводов [5]. Поэтому задача учёта такого явления для построения энергетически эффективных походок шагающих роботов является актуальной.

Рассматриваются шагающие роботы с индивидуальными или групповыми механизмами шагания, в простейшем случае сдвоенными. К таким роботам, в частности, относится шагающий робот «Ортоног» ВолгГТУ [6] со сдвоенными ортогонально-поворотными движителями. Ставится задача определения энергоэффективности различных

расписаний походок [7] шагающего робота в зависимости от скорости его движения. Энергоэффективность оценивается уровнем тепловых потерь в приводных двигателях.

Получены условия для согласованного движения шагающих движителей при учёте явления самосинхронизации, обеспечивающие энергетически оптимальные с точки зрения минимума рассеиваемой механической энергии режимы движения (расписания походок шагающего робота). Эти результаты соответствуют выводам теории самосинхронизации И.И. Блехмана [8] и экспериментальными исследованиями движения шагающих роботов [9].

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 16-31-60042, 17-01-00675), гранта Президента РФ МК-1493.2017.1.

1. Охочимский, Д.Е. Энергетика движения шестиногого шагающего аппарата / Д.Е. Охочимский, А.К. Платонов, В.В. Лапшин // Известия РАН. Теория и системы управления. 1976. №5. - С. 42.

2. Брискин, Е.С. Сравнительный анализ колесных, гусеничных и шагающих машин / Е.С. Брискин, В.В. Чернышев, А.В. Малолетов, Н.Г. Шаронов // Робототехника и техническая кибернетика. 2013. № 1(1). - С. 6-14.

3. Six Link Mechanisms for the Legs of Walking Machines / Bessonov A.P., Umnov N.V., Korenovsky V.V. and other // Theory and Practice of Robots and Manipulators. ROMANSY 13: Proc. of the 13-th CISM-IFTOMM Symp., Zakopane, Poland, 2000. P.347-354.

4. Лапшин, В.В. Модельные оценки энергозатрат шагающего аппарата / В.В. Лапшин // Известия РАН, МТТ. № 1, 1993 - С. 65-74.

5. Блехман, И.И. Самосинхронизация в природе и технике / И.И. Блехман. - М.: Наука, 1981. - 352 с.

6. Брискин, Е.С. Об управлении движением шагающей машины со двоянными ортогонально-поворотными движителями / Е.С. Брискин, И.П. Вершинина, А.В. Малолетов, Н.Г. Шаронов // Известия РАН. Теория и системы управления. 2014. №3. - С. 168-176.

7. Охочимский, Д.Е. Механика и управление движением автоматического шагающего аппарата / Д.Е. Охочимский, Ю.Ф. Голубев. - М.: Наука, 1984. - 312 с.

8. Блехман, И.И. Самосинхронизация в природе и технике / И.И. Блехман. - М.: Наука, 1981. - 352 с.

9. Брискин, Е.С. Экспериментальные исследования многоопорной шагающей машины с движителями лямбдаобразного типа / Е.С. Брискин, В.В. Чернышев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 1999. №4. – С. 32-37.

В.С. Гришин
**ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

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

V.S. Grishin
**SEMIREALISTIC SIMULATION APPLICATION TO DESIGN AND
ANALYZE ROBOTICS SYSTEMS**

*SEC «Robotics» BMSTU, Moscow
veekteam@gmail.com*

Разработан программно-аппаратный комплекс для полунатурного моделирования манипуляционных робототехнических систем.

Полунатурное моделирование больше приближено к реальности, чем математическое и при этом нет необходимости в полной натурной модели системы. Сочетание этих двух методов позволяет скомбинировать систему так, чтобы в реально существующей ее части находились сложные устройства, а их взаимодействие и влияние на них внешних условий моделировать математически. Методы полунатурного моделирования применяются для исследования работы манипулятора на этапе, когда он еще не создан, но комплектующие мехатронных модулей уже подобраны, известна кинематическая схема механизма и его массо-инерционные характеристики. В связи с этим, предлагается использовать электродвигатели как натурные устройства, а нагрузки, действующие на них в составе манипулятора, моделировать математически.

Аппаратная часть комплекса представляет собой сеть универсальных учебно-исследовательских стендов для имитации нагружения электродвигателя. Каждый стенд состоит из двух двигателей, валы которых скреплены упругой муфтой. Такая конструкция позволяет одному двигателю (нагружающему) воспроизводить заданную нагрузку на другой двигатель (испытываемый).

Программная часть комплекса – управляющая программа. Ее назначение заключается в сборе информации о текущем состоянии двигателей, расчете момента нагружения для каждого стенда и управлении всеми двигателями, как испытываемыми, так и нагружающими.

Отдельно стенд служит лабораторной установкой для имитации нагружения на двигатель и используется как для лабораторных работ, проводимых для школьников и студентов, так и при проектировании мехатронных модулей роботов. Опыты показывают, что результаты работы стенда отличаются от результатов математического моделирования аналогичных комбинаций нагружения не более, чем на 10 %.

Для проведения полунатурного моделирования манипулятора все стенды объединяются в единую сеть. Разработанное программное обеспечение комплекса позволяет управлять всеми стендами с одного компьютера. Каждый стенд имитирует одну степень подвижности механизма. Испытуемый двигатель моделирует двигатель из состава манипулятора, а нагружающий воссоздает действующую на него нагрузку в составе робота. Для решения обратной задачи динамики манипулятора применяется уравнение Лагранжа-Эйлера.

В перспективе предлагается использовать комплекс для полунатурного моделирования не только манипуляционных, но и других типов, например, мобильных роботов.

Н.А. Павлюк

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПОРНОЙ КОНСТРУКЦИИ ТАЗОВОГО МЕХАНИЗМА АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА АНТАРЕС

*Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации
Российской академии наук,
Санкт-Петербург
antei.hasgard@gmail.com*

Рассматривается задача проектирования опорной конструкции тазового механизма для антропоморфных роботов. Предложен вариант конструкции тазового механизма для разрабатываемого робота Антарес. Опорная конструкция включает в себя упругие элементы, снижающие ударные воздействия на механические узлы робота.

Ключевые слова: антропоморфные роботы; сервоприводы; Антарес; тазовый механизм; фланцевая опора; упругая муфта.

Повышение устойчивости и опорной проходимости мобильных роботов является одной из основных задач разработчиков аппаратного и программного обеспечения антропоморфных роботов. Тазовый механизм представляет собой наиболее сложный узел, подвергающийся повышенным нагрузкам. Степень деформации и скорость износа механических узлов конструкции можно снизить за счет увеличения площади опоры, рассеивания и снижения динамических нагрузок. Несмотря на то, что рычажно-шарнирная система, спроектированная по аналогии с тазовым поясом человека, представляется наиболее целесообразной при конструировании антропоморфного робота, повторить ее в исходном виде практически невозможно ввиду сложности ее строения.

Так как Антарес [1,2] является антропоморфным двуногим шагающим роботом, его тазовый механизм, осуществляющий осевое и сагиттальное движение педипуляторов, является одним из важнейших узловых элементов в кинематике, динамике и физической структуре робота. Через данный узел проходит большая часть ударных нагрузок, приходящихся на каркас робота во время движения даже по ровным поверхностям. С учетом недостатков первой версии тазового механизма был разработан узловой элемент фланцеобразной опоры и упругой муфты. В представленном решении упругая муфта состоит из двух полумуфт, одна из которых устанавливается на фланец приводящего в движение сервопривода, вторая полумуфта монтируется на верхней фланцевой опоре. Основанием фланцеобразной опоры с упругой муфтой является фланцевая опора, для простоты изготовления собираемая из двух пластин, имеющих установочную площадку для подшипников, отличающуюся шириной в зависимости от типа устанавливаемого

подшипника. С помощью симуляции в системе твердотельного моделирования было проведено исследование модели на усталость при прохождении 1000 циклов, с прикладываемой нагрузкой в 100 кг/см². По результатам симуляции был предварительно определен средний срок службы разработанной фланцевой опоры с упругой муфтой, составивший примерно 8 миллионов циклов переменной нагрузки, при этом срок службы деталей, рассчитанных на запланированный износ составил 30 тысяч циклов.

Конструкция фланцевой опоры увеличивает срок работы деталей за счет более эффективного распределения нагрузки по площади опоры и отсутствия в конструкции сложных в изготовлении и имеющих относительно малый срок работы деталей, таких как шестерни. Исследования разработанного механизма показали, что основные детали имеют большой срок службы и наиболее быстрой усталости материала подвержены детали, спроектированные как расходный материал, при этом они также способны выдержать большое количество циклов переменной и циклической нагрузки во время эксплуатации. Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант №16-19-00044).

1. Павлюк Н.А., Будков В.Ю., Бизин М.М., Ронжин А.Л. Разработка конструкции узла ноги антропоморфного робота Антарес на основе двухмоторного колена // Известия ЮФУ. Технические науки. 2016. № 1 (174). С. 227-239.
2. Pavluk, N., Denisov, A., Kodyakov, A., Ronzhin, A.: Mechanical Engineering of Leg Joints of Anthropomorphic Robot // International Conference on Power, Energy and Mechanical Engineering 2016, MATEC Web of Conferences, 77, art. no. 04006.

N.A. Pavluk

MODELING OF BEARING SUPPORT STRUCTURE FOR PELVIC MECHANISM OF ANTHROPOMORPHIC ROBOT ANTARES

St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of Russian Academy of Sciences, St. Petersburg
antei.hasgard@gmail.com

The problem of designing the bearing supporting structure of the pelvic mechanism for anthropomorphic robots is considered. A variant of the design of the pelvic mechanism for the developed robot Antares is proposed. The support structure includes elastic elements that reduce impacts to the mechanical components of the robot.

Keywords: Anthropomorphic robots; servomechanisms; Antares; pelvic mechanism; flange bearing; elastic coupling.

Increasing the stability and bearing patency of mobile robots is one of the main tasks for hardware and software developers of anthropomorphic robots. Pelvic mechanism is the most complex node, subjected to high loads. The degree of deformation and the wear rate of the mechanical structure of nodes can be reduced by increasing the bearing area, dispersion and reduction of dynamic loads. Despite the fact that the lever-hinged system designed by analogy with the pelvic belt of a man seems most suitable for the construction of an anthropomorphic robot, it is almost impossible to repeat it in its original form due to the complexity of its structure.

Since Antares [1,2] is an anthropomorphic bipedal walking robot, his pelvic mechanism, which carries out the axial and sagittal movement of the pedipulators, is one of the most important nodal elements in the kinematics, dynamics and physical structure of the robot. Through this node passes most of the shock loads that fall on the frame of the robot during the movement, even on flat surfaces. Taking into account the shortcomings of the first version of the pelvic mechanism, the nodal element of the flange-like support and elastic coupling was developed. In the presented solution, the elastic coupling consists of two coupling halves, one of which is mounted on the flange of the actuating servomotor, and the second one is mounted on the upper flange support. The base of the flange-like support with an elastic coupling is a flange support, for ease of manufacture, it is assembled from two plates having a mounting platform for bearings, differing in width depending on the type of bearing to be installed. The developed solution was studied in a solid modeling system. The fatigue study of the simulation model was conducted during the passage of 1000 cycles, with the applied load of 100 kg/cm². According to the simulation results, an average life cycle of the developed flange bearings with flexible coupling was pre-defined, amounting to about 8 million cycles of variable load, whereas the service life cycle of parts designed for scheduled depreciation amounted to 30 thousand cycles.

The design of the flange bearing extends the life of the details by more efficient load distribution over the bearing area and the absence of components that are difficult to manufacture and have relatively short service life, such as gears. Study of the developed mechanism has shown that the main parts have a long service life and the most rapid fatigue of the material is susceptible to parts designed as an expendable material, while they are also capable of withstanding a large number of cycles of variable and cyclic loading during operation. The presented work was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 16-19-00044).

3. Pavliuk N.A., Budkov V.Y., Bizin M.M., Ronzhin A.L. Design engineering of a leg joint of the anthropomorphic robot Antares based on a twin-engine knee // *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. 2016. № 1 (174). P. 227-239.
4. Pavluk, N., Denisov, A., Kodyakov, A., Ronzhin, A.: Mechanical Engineering of Leg Joints of Anthropomorphic Robot // *International Conference on Power, Energy and Mechanical Engineering 2016, MATEC Web of Conferences*, 77, art. no. 04006.

А.Л. Коротков, М.А. Ногин, А.В. Рогов, О.А. Шмаков
**ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК МРК СВЕРХЛЕГКОГО И ЛЕГКОГО
КЛАССОВ**

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, a.korotkov@rtc.ru,
m.nogin@rtc.ru, rogov@rtc.ru, shmakov@rtc.ru

A.L. Korotkov, M.A. Nogin, A.V. Rogov, O.A. Shmakov
**TEST SITE FOR EVALUATION OF TECHNICAL
CHARACTERISTICS OF MOBILE ROBOTIC COMPLEXES OF
ULTRA-LIGHT AND LIGHT CLASSES**

RTC, Saint-Petersburg
m.nogin@rtc.ru, rogov@rtc.ru, shmakov@rtc.ru

Согласно государственному стандарту, существует классификация для мобильных робототехнических комплексов (МРК), предназначенных для проведения аварийно-спасательных работ и пожаротушения. Эта классификация не применима ко всем современным МРК в силу того, что многие из них, различающиеся по применению, будут относить к сверхлёгкому классу. Для более подробной классификации РТК НБ введено деление сверхлёгкого класса на подклассы.

Классификация МРК только по массе не отражает полностью механические характеристики, включая проходимость и грузоподъёмность, что не способствует достаточной оценке МРК, основываясь на его классе. Для составления представления о возможностях МРК различных классов необходимо проведение ряда исследований для множества представителей каждого класса. Чтобы обеспечить достаточную точность и однообразность исследований, необходимо минимизировать влияние человеческого фактора на ход исследования. Для выполнения этой задачи предлагается использовать испытательный полигон, оборудованный достаточным набором препятствий для проведения полноценной оценки характеристик МРК. Ниже приведены краткие описания препятствий, разрабатываемых ЦНИИ РТК для проведения пробеговых испытаний МРК сверхлёгкого и лёгкого классов, определения ходовых, энергетических и топливно-экономических характеристик, манёвренности и управляемости при преодолении препятствий.

1. Комплекс сооружений для проведения испытаний по преодолению препятствий с различным грунтом. В состав комплекса входят горизонтальные и наклонные поверхности с углами наклона 20°,

25° и 30° с песчаным, глиняным и гравийным покрытиями, а также эскарпы крутизной 45° и 60°.

2. Сооружение для проведения испытаний по преодолению препятствий с бетонным покрытием. В состав сооружения входят горизонтальные и наклонные площадки с углами наклона 20° и 30° и лестничные марши.

3. Комплекс сооружений для проведения испытаний по преодолению препятствий с элементами железной дороги. В состав комплекса входят участки железнодорожного полотна с укладкой на горизонтальную поверхность и гравийную насыпь.

4. Комплекс сооружений, который воспроизводит условия ограниченного пространства и видимости. В состав комплекса входят реконфигурируемые сооружения с имитацией интерьера складских, жилых и прочих помещений.

5. Сооружение для проведения испытаний по преодолению препятствий с полной или частичной погружаемостью в жидкую или сильно сыпучую среду. Сооружение представляет собой бассейн переменной глубины.

6. Комплекс сооружений для проведения испытаний по преодолению препятствий с различной сложностью проходимости. В состав комплекса входят конструкции с реконфигурируемыми бетонными надолбами для воссоздания труднопроходимых участков, в том числе завалов.

7. Реконфигурируемый модульный стенд для проведения испытаний по преодолению различных препятствий. В состав стенда входят прямолинейные участки с песчаным, гравийным и травяным покрытиями, наклонные поверхности различной крутизны, лестничные марши нестандартных размеров.

8. Реконфигурируемый модульный стенд для проведения исследований маневрирования МРК массой до 50 кг и летательных аппаратов. Стенд оборудован системой захвата движения для построения компьютерных моделей.

Разрабатываемые типовые методики проведения испытаний и ведение протокола исследований в автоматическом режиме будут способствовать полноте и точности исследований, а так же выявлению наиболее перспективных направлений разработки МРК.

А.И. Опарин

**ОПЕРАТИВНОЕ КОМПЛЕКТОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ
ГРУППИРОВОК РАЗНОРОДНЫХ СРЕДСТВ ВЕДЕНИЯ
ПОДВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАБОТ**

*Федеральное государственное казённое военное образовательное
учреждение «Центр подготовки специалистов в области
глубоководной деятельности» Министерства обороны
Российской Федерации
89213074327@mail.ru*

A.I. Oparin

**OPERATIONAL FORMATION AND APPLICATION OF
HETEROGENEOUS GROUPS TO REALIZE UNDERSEA
RESEARCH AND WORK**

*The training center in the field of deep-water activities
of the Ministry of defense of Russia
89213074327@mail.ru*

Введено понятие мобильного роботизированного технологического комплекса как оперативно формируемой группировки разнородных технических средств выполнения подводных исследований и работ. Представлены отличительные характеристики, проблемы комплектования и применения оперативно формируемых группировок разнородных подводных аппаратов и других технических средств ведения подводных исследований и работ.

Ключевые слова: мобильный роботизированный технологический комплекс, оперативная группировка разнородных робототехнических комплексов

Н.В. Малютин
**ПРАКТИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАСЧЁТНО-
АНАЛИТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА СТОЙКОСТИ
АППАРАТУРЫ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ
ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ.**

*ООО «КБ ИГАС»
mnv220609@mail.ru*

В последнее время возрос практический интерес применения методов виртуальной инженерии при проектировании аппаратуры. Автоматизация процесса проектирования обеспечивает уменьшение трудоёмкости работ и увеличение качества разработки за счёт возможности проведения анализа стойкости аппаратуры к воздействию механических, тепловых и специальных дестабилизирующих факторов без изготовления аппаратуры.

Практика применения расчётно-аналитических методов анализа стойкости аппаратуры к воздействию дестабилизирующих факторов позволяет обоснованно отказаться от полунатурных и натурных испытаний, если показан достаточный запас стойкости аппаратуры. Это особенно эффективно при испытаниях на определении стойкости к воздействию спецфакторов по ГОСТ РВ. 20. 39. 305 – 98. Как правило, аппаратура после проведения таких испытаний не поддаётся восстановлению и утилизируется. В тоже время, если приборы обладают значительным запасом стойкости к воздействию СФ, то в соответствии с п. 6.2.1 ГОСТ РВ 20.57.308-98 проведение их автономных испытаний (не в составе объекта) на данные воздействия не требуется.

Одним из достоинств проведения симуляции компьютерной модели аппаратуры на заданные в ТЗ параметры, позволяет провести исследования показывающие зоны устойчивости и выявить «узкие» места в создаваемом приборе до его изготовления. Например, при анализе стойкости аппаратуры на воздействие электромагнитного импульса с применением подсистемы АСОНИКА (в части ЭМС) обеспечивает индикацию возможной нестабильности защитных свойств корпуса прибора в некоторых областях частот при воздействии.

Моделирование стойкости аппаратуры к воздействию СФ позволяет обоснованно разработать рекомендации по применению дополнительной защиты электроники от воздействия СФ (светового потока, ударной воздушной волны, ЭМИ и радиации). Это обеспечивают инновационные материалы на базе наноструктур (защитные стёкла, материалы блокирующие воздействие ЭМИ и радиации).

Развитие моделирования и эффективность применения отечественных САПР при проектировании и испытаниях радиоэлектронной аппаратуры во многом сдерживается отсутствием необходимых документов (ГОСТ, отраслевые стандарты, руководящие указания и т.д.). Целесообразно обратить внимание Минпромторга России, МО РФ на необходимость разработки соответствующих документов.

N. V. Malyutin

**PRACTICE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF
ANALYTICAL METHODS FOR THE ANALYSIS OF EQUIPMENT
RESISTANCE TO EXTREME DESTABILIZING FACTORS
EXPOSURE**

LTD "CB IGAS"

mnv220609@mail.ru

In recent years, practical interest in the application of methods of virtual engineering in the design of the equipment. Automation of the design process provides a reduction of the labor intensity and increase the quality of development due to the possibility of analyzing the resistance of equipment to the effects of mechanical, thermal and special of destabilizing factors without manufacturing equipment.

The practice of applying analytical methods of resistance analysis of equipment for destabilizing factors allows reason to refuse the half-scale and full-scale tests, if shown sufficient resistance equipment. This is particularly effective when testing for determining resistance to impact of special factors under GOST RV. 20. 39. 305 – 98. As a rule, the instrument after carrying out such tests is not recoverable and disposed of. At the same time, if the devices have a significant resistance to the effects of SF, in accordance with clause 6.2.1 GOST RV 20.57.308-98 conduct their battery tests (not part of the object) on these impacts is not required.

One of the advantages of simulation, a computer model of the equipment specified in the TOR settings that allows you to conduct research showing the areas of sustainability and identify bottlenecks in the generated device before its production. For example, in the analysis of the resistance of equipment to electromagnetic pulse with the subsystem ASONIKA (part of EMS) provides an indication of the possible instability of the protective properties of the shell of the device in some frequency ranges under the influence.

Modeling the durability of the equipment to the effects of SF can reasonably develop recommendations on the use of additional protection of the electronics from the effects of SF (luminous flux, air shock wave, EMP, and radiation). It

provides innovative materials based on nanostructures (safety glasses, materials for blocking electromagnetic effects and radiation).

The development of the modeling and the effectiveness of the domestic CAD in the design and testing of the electronic equipment is largely constrained by the absence of necessary documents (GOST, industry standards, guidelines, etc.). It is advisable to draw the attention of the Ministry of industry and trade, RF Ministry of defense on the need to develop the relevant documents.

О.Ю. Осипов, Мещеряков Р. В., Шепеленко М.Г.
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ
ЭЛЕКТРОМАШИННОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫХ
МОДУЛЕЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*ФГБУ ВО «ТВСУР», Томск
ems2009@mail.ru, ems2009tomsk@gmail.com*

Выполнена НИР «Разработка методики автоматизированного расчета ассортиментного ряда электромехатронных модулей движения с изготовлением опытного образца». В статье рассмотрено проектирование цифровых моделей элементов электромашинной части электромехатронных модулей движения робототехнических систем, позволяющей: повысить производительность проектирования электромехатронных компонентов манипуляторов робототехнических и мехатронных систем.

Разработанное ПО позволяет обеспечить:

- 2D/3D-моделирование электромашинной части;
- расчет электромехатронных и электрических элементов и визуализацию электромашинной части;
- автоматическое получение конструкторской документации, оформленной по ЕСКД;
- снизить стоимость проектирования электромехатронных компонентов манипуляторов робототехнических и мехатронных систем в соответствии с целевым критерием «цена-качество».

Литература:

1. Осипов О. Ю. , Осипов Ю. М. , С. В. Щербинин Мультикоординатные электромехатронные системы движения: моногр. — Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та систем упр. и радиоэлектроники, 2010. — 320 с.
2. Общее представление о САПР Autodesk Inventor [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.autodesk.ru/adsk/servlet/index?siteID=871736&id= 22741018>.

O.Yu. Osipov, Meshcheryakov R.V., Shepelenko M.G.
**DESIGNING DIGITAL MODELS OF ELEMENTS OF THE
ELECTROMASHINE PART OF ELECTROMECHATRONIC
MODULES OF ROBOTIC SYSTEMS**

*FGBU VO "TUSUR", Tomsk
ems2009@mail.ru, ems2009tomsk@gmail.com*

The research work "Development of a technique for the automated calculation of the assortment of electromechanic motion modules with the production of a prototype" was carried out. The article deals with the design of digital models of electromechanical parts of electromechanic modules for the movement of robotic systems that allows: improving the design of electromechanic components of manipulators of robotic and mechatronic systems.

The developed software allows to provide:

- 2D / 3D simulation of the electromechanical part;
- calculation of electromechanic and electrical elements and visualization of the electrical *Shalunov* machine part;
- automatic reception of the design documentation issued on ESKD;
- reduce the cost of designing electromechanic components of manipulators of robotic and mechatronic systems in accordance with the target criterion "price-quality".

Literature.

1. Osipov O. Yu., Osipov Yu. M., Shcherbinin SV Multicoordinate electromechanic motion systems: monogr. - Tomsk: Publishing house Tomsk. State. University of Management Systems. And radio electronics, 2010. - 320 s.

2. General idea of CAD Autodesk Inventor [Electronic resource]. - Access mode:

<http://www.autodesk.ru/adsk/servlet/index?siteID=871736&id=22741018>.

И.А. Васильев
**МОДЕЛИРОВАНИЕ СПАСАТЕЛЬНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СПАСАТЕЛЬНЫХ ГРУППАХ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург,
vas@rtc.ru*

Спасение терпящих бедствие людей посредством автономных средств эвакуации в ряде случаев является единственной возможностью предотвратить их гибель. Миссии спасения часто проходят в труднодоступных местах. В статье рассматривается моделирование универсального спасательного средства, в качестве движителя которого применены шнековые приводы.

Ключевые слова: Робот, эвакуация, шнеко-роторный движитель.

I.A. Vasilyev
**SIMULATION OF RESCUE ROBOT FOR USE IN RESCUE
OPERATIONS GROUP**

*RTC, Saint-Petersburg
vas@rtc.ru*

The rescue of people in distress through autonomous means of evacuation in some cases is the only way to prevent their destruction. Rescue missions are often in inaccessible places. The article discusses the modeling of a universal rescue vehicle (URV), as an engine which applied screw drives.

Keywords: robot, evacuation, screw drives.

А.С. Шалумов
**ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
НА ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ВНЕШНИЕ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ
ФАКТОРЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМ**

ООО «Научно-исследовательский институт «АСОНИКА», г. Ковров

A.S. Shalumov
**AUTOMATED MODELING OF EXTREME EXTERNAL FACTORS
IN DESIGN OF ROBOTIC SYSTEMS**

*Scientific-research institute "ASONIKA" LTD, Kovrov
als@asonika-online.ru*

The problems of designing robotic systems (RTS) and business reasons for launching the project and basic assumptions are considered.

Thermal, mechanical, electromagnetic, radiation effects can lead to RTS failures. The use of full-scale RTS testing for external factors without modeling is not very informative and inefficient. For many years, the Russian market has been dominated by imported software, which has not taken root at Russian enterprises.

The main buyers and potential consumers of the proposed technology are research institutes, design bureaus, research and production associations, factories and various information and research centers engaged in the design and production of RTS.

Guaranteed we will be able to implement the results of the project at the enterprises of the military-industrial complex of the Russian Federation, since the products are accepted by the military representatives of the customer, and they require the provision of high reliability indicators and the fulfillment of all the requirements of the terms of reference (TR) for external factors.

The concept of creating on the basis of the ASONIKA system of domestic CAD systems of robotic systems and the mechanism for its implementation are proposed.

It is necessary to create new software modules that are not available in the Russian Automated System for Assuring Reliability and Quality of Equipment (ASONIKA), but which are extremely necessary for RTS developers to fulfill all the requirements of TR for developing RTS for external influences.

Their implementation in conjunction with the ASONIKA system and with the domestic systems of simulation of the electrical characteristics of SIMIKA, Delta Design will allow for end-to-end computer modeling of the RTS in the shortest possible time and at minimal cost, significantly reducing

the number of tests and ensuring high reliability of the RTS. The paper presents a mechanism for implementing this concept.

The available potential is revealed.

Scientific Research Institute "ASONIKA" is a scientific organization engaged in the development, development and implementation at the enterprises of the Russian Federation of the Automated System for Ensuring the Reliability and Quality of the Equipment ASONIKA in Accordance with the Requirements of CALS-technologies at the Stages design-production-operation.

As a part of Scientific Research Institute "ASONIKA" there are 15 specialists with scientific degrees of candidates and doctors of sciences and are participants of the scientific school of modeling, information technologies and automated systems NSh-5574.2014.10 in the field of knowledge "Military and Special Technologies" under the guidance of professor Shalumov A.S.

The ASONIKA system has been implemented in more than 100 domestic industrial enterprises developing RTS military and national economy, in particular, in space rocket corporation "Energia" when developing electronic instruments for the International Space Station.

ASONIKA is the replacement of the RTS tests by computer simulation even before prototype production. The system is certified in accordance with GOST R ISO 9001-2008, it is certified by the Ministry of Defense of the Russian Federation, and the Governing documents are issued by the military. There is a license of Roskosmos. The active use of the ASONIKA system in the industry allows us to move to a significant saving of money resources and a reduction in the timing of the creation of the RTS, while improving their quality, reliability and reducing the number of full-scale tests.

The report offers proposals for standardization in the field of simulation of robotic systems for extreme external factors.

Л.А. Станкевич, К.М. Сонькин, Ф.В. Гунделах
**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ ЧЕЛОВЕКОМ И РОБОТОМ НА
БАЗЕ НЕИНВАЗИВНОГО ИНТЕРФЕЙСА «МОЗГ-КОМПЬЮТЕР»**

*Санкт-Петербургский Политехнический университет
Петра Великого
Stankevich_lev@inbox.ru, f.gundelakh@yandex.ru*

L.A. Stankevich, K.M. Sonyikin, F.V. Gundelakh
**HUMAN-ROBOT INTERACTION BASED ON NONINVASIVE
BRAIN-COMPUTER INTERFACE**

SPbPU, Saint-Petersburg

В последнее время возрастает интерес к взаимодействию между человеком с ограниченными двигательными возможностями и обслуживающими его роботами. Перспективным способом реализации дружественного взаимодействия между человеком и роботом является использование, так называемых, интерфейсов мозг-компьютер (ИМК). ИМК - современная технология и средства, способные обеспечивать взаимодействие человека с внешними устройствами на основе регистрации и декодирования сигналов электрической активности головного мозга. ИМК должны работать в реальном времени, то есть формировать сигналы управления с минимальной задержкой.

В настоящее время неинвазивные ИМК на основе ЭЭГ реализуются для декодирования воображаемых и реальных движений крупных частей тела, например, рук и ног. Однако такие ИМК не эффективны для декодирования мелкой моторики, например, движений пальцев одной руки.

Целью этой работы является разработка принципов взаимодействия человека и робота с использованием ИМК и системы супервизорного управления роботом на основе ИМК, позволяющего классифицировать ЭЭГ паттерны воображаемых движений в реальном времени.

Для исследований возможности реализации системы взаимодействия человека и робота на основе неинвазивного ИМК был использован классификатор воображаемых движений пальцев одной руки, разработанный авторами ранее.

Анализ сигналов ЭЭГ проводился во временной области. Для обеспечения необходимой скорости вычисления функции системы был проведен анализ каждого отдельного испытания без накопления.

Использовался алгоритм совместного учета двух пространств признаков: площадь под кривой и длина кривой отрезка сигнала. Данные функции вычислялись в скользящем окне, что позволило выбрать наиболее информативные окна. Разработанный комитет классификаторов ЭЭГ паттернов основан на искусственных нейронных сетях (ANN) и методе опорных векторов (SVM).

Был проведен эксперимент по управлению антропоморфным роботом NAO с 23 степенями свободы с помощью неинвазивного ИМК с системой классификации ЭЭГ-паттернов. С помощью ИМК формировались управляющие сигналы высокого уровня (супервизорные). Использовались команды четырех классов: «Вперед», «Стоп», «Направо», «Налево».

Проведенные исследования прототипа ИМК показали, что его характеристики соответствуют требованиям реального времени. При исследованиях ИМК были получены следующие результаты: в автономных сеансах при классификации паттернов ЭЭГ воображаемых команд без накопления проб вероятность успешной классификации 4-х типов воображаемых команд превышала случайный порог в 25% и в среднем составляла $36 \pm 5\%$ для каналов C3, Cz и $50 \pm 5\%$ для каналов F3, C3. В режиме on-line на этапе обучения вероятность успешной классификации по 4-м типам команд была в среднем равна 40%. В процессе тестирования системы с использованием обратной связи для некоторых воображаемых команд получена точность классификации, равная 58% и 56% соответственно. Однако, как показано в [18], часть испытуемых (около 30%) не способна научиться работать с ИМК на основе сигналов ЭЭГ.

Проведенные исследования показали, что для разработки эффективных систем взаимодействия человека и робота на основе неинвазивного ИМК требуется решить задачи повышения точности и скорости классификации ЭЭГ-паттернов воображаемых движений, увеличения степени свободы ИМК и оптимизации вычислительных ресурсов для реализации алгоритмов функционирования ИМК. Решение этих задач позволит создать эффективные ИМК, которые обеспечат людям с ограниченными двигательными функциями возможности управления роботизированными устройствами, используя сигналы мозга, что может значительно улучшить их функционирование в мире здоровых людей.

М.В. Архипов, В.Ф. Головин, Е.А. Вжесневский
ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ ИНТЕРФЕЙС
МАНИПУЛЯЦИОННОГО РОБОТА

*Московский политехнический университет, Москва,
medicalrobot@mail.ru*

Известны исследования в области робототехники взаимодействующей с податливыми объектами [1,2,3]. В работе [1] были описаны методы податливого и упругого управления роботом с помощью демонстрации, учитывающей деформирование мягких тканей. В данной статье рассматривается реализация методов управления манипуляционным роботом с биомехатронным модулем с помощью разработанного интерфейса, через который задаются режимы тактильного взаимодействия с податливыми объектами. В статье рассматриваются элементы интерфейса, с тактильной составляющей для обучения и графической составляющей для настройки ввода-вывода данных о необходимых усилиях и движениях инструмента робота. Чтобы показать реальность применения робота для задач восстановительной медицины был предложен манипуляционный робот отечественного производства РМ-01 с интегрированным отечественным трехкомпонентным устройством силового очувствления. Кроме трехкомпонентного датчика усилия в состав робототехнического комплекса для контроля силового взаимодействия входил программно-аппаратный комплекс на базе среды проектирования LabView с системой преобразования аналоговых сигналов в управляющее воздействие на манипулятор. Согласование работы трехкомпонентного силового датчика с роботом выполнял человеко-машинный интерфейс реализованный на базе персонального компьютера, специализированных контроллеров и аналогово-цифровых преобразователей.

Для повышения сервиса при настройке и программировании работы манипулятора в составе с силовым датчиком был предложен метод программно-аппаратного преобразования силовых сигналов, который позволяет задавать режимы позиционно-силового управления. В исследованиях робот должен выполнять движения, состоящие из некоторой контролируемой последовательности действий. Существует много возможных траекторий на которых происходит тактильное взаимодействие с объектом, при этом силовое взаимодействие должно выполняться с определенной точностью. Каждое перемещение по траектории формируется на основании сигналов усилия, преобразованных управляющей программой являющейся составной частью человеко-машинного интерфейса. Тактильная часть интерфейса определяется параметрами механического взаимодействия с податливой средой посредством силового контакта оператора с роботом через

биомехатронный модуль. Графическая часть интерфейса оператора определяет режимы перемещения манипулятора и обеспечивает непрерывный силовой контроль. Под воздействием с податливыми объектами, выполняемым с участием манипуляционного робота, понимается не инвазивное, контролируемое, в основном повторяющееся, контактное деформирование мягкой ткани, без изменения ее формы. Известны технологические задачи, где уместно применение метода силового обучения манипуляционных систем [1]. В последнее время манипуляционная техника стала все глубже внедряться в непроизводственные задачи, такие как физиотерапия [2], хирургия, социальная сфера, военная медицина [3]. В данных сферах предъявляются повышенные требования к адаптивным возможностям манипуляционных систем. Одним из главных параметров, требующих непрерывного контроля, является контакт робота с человеком, который проявляется в усилиях их взаимодействия. Таким образом, актуальной задачей является снабжение робота человеко-машинным интерфейсом обеспечивающим сервис для оператора повышающий эффективность работы и настройки системы.

1. Головин В.Ф., Архипов М.В., Журавлёв В.В. Робототехника в восстановительной медицине. Роботы для механотерапии. LAPLAMBERT Academic Publishing, GmbH&Co. KG, 2012. 280 p.
2. Вукобратович М. Как управлять взаимодействием с динамической средой // *Journal of Intelligent and Robotic System*, 1997. № 19. – P. 119-152.
3. Архипов М., Головин В., Кочеревская Л., Вжесневский Е., Углев А., Леготин С. Расширение эргономических функций в медицинской робототехнике // *HSA Journal of Alternative, Complementary & Integrative Medicine*, 2017. № 3: 031. – С. 5. DOI: 10.24966/ACIM-7562/100031.

M.V. Arkhipov, V.F. Golovin, E.A. Vzhesnevsky
**HUMAN-MACHINE INTERFACE OF THE MANIPULATION
ROBOT**

*Moscow polytechnic university, Moscow
medicalrobot@mail.ru*

There are studies in the field of robotics interacting with compliant objects known [1,2,3]. In work [1] methods of admittance and elastic control of robots were described with the help of a demonstration taking into account the deformation of soft tissues. This article deals with the implementation of methods for control a manipulation robot with a biomechatronic module using a developed interface through which the modes of tactile interaction with compliant objects are assigned. In the article the elements of the interface, with the tactile component for teaching and the graphical component for setting up input-output data on the necessary efforts and movements of the robot tool are considered. To show the reality of using a robot for the tasks of restorative medicine, a manipulative robot RM-01 of domestic production with an integrated domestic three-component force sensor was proposed. In addition to the three-component force sensor, the robotic complex for controlling force interaction included a software and hardware complex based on the LabView design environment with an analog signal conversion system in the control on the manipulator. The coordination of the three-component force sensor with the robot performed a human-machine interface implemented on the basis of a personal computer, specialized controllers and analog-digital converters.

To improve the service while setting up and programming the manipulator's operation with a force sensor, a method of software-hardware conversion of force signals was proposed that allows you to assign the position-force control modes. In the research, the robot must perform movements consisting of some controlled sequence of actions. There are many possible trajectories on which the tactile interaction with the object occurs, while the force interaction must be performed with a certain accuracy. Each movement along the path is formed on the basis of the force signals transformed by the control program, which is an integral part of the human-machine interface. The tactile part of the interface is determined by the parameters of mechanical interaction with the compliant environment by means of the operator's force contact with the robot through the biomechatronic module. The graphic part of the operator interface determines the manipulation movement modes and provides continuous force control. Under the interaction with the compliant objects performed with the manipulation robot, we mean a non-invasive, controlled, mainly repeated, contact deformation of the soft-tissue, without changing its shape. Technological tasks are known where it is appropriate to use the method of force training of manipulation systems [1]. Recently, the manipulation technique has implemented into non-production

tasks, such as physiotherapy [2], surgery, the social sphere and military medicine [2]. In these areas, the increased requirements for adaptive capabilities of manipulation systems are made. One of the main parameters requiring continuous monitoring is the interaction of the robot with the person what express itself in the interaction efforts. Thus, the actual task is to provide the robot with a human-machine interface for operator's service to increase the efficiency and system settings.

1. Golovin, V., Zhuravlev, V., Arkhipov M., Robotics in Restorative Medicine. LAPLAMBERT Academic Publishing, GmbH & Co. KG, 2012. 280 c.
2. Vukobratovic M. How to control interacting with dynamic environment. Journal of Intelligent and Robotic System, 1997. № 19. – pp. 119-152.
3. Arkhipov M., Golovin V., Kocherevskaya L., Vzhesnevsky E., Uglev A., Legotin S. Expansion of ergonomic functions in medical robotics // HSOA Journal of Alternative, Complementary & Integrative Medicine, 2017. № 3: 031. - C. 5. DOI: 10.24966 / ACIM-7562/100031.

А.В. Васильев
**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ПОЛНОЙ
КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ
ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОГО МИНИ-РОБОТА
С РЕКОНФИГУРИРУЕМЫМ ШАССИ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
andrey@rtc.ru*

Работа посвящена вопросам проектирования малогабаритных транспортных систем мобильных мини-роботов (ММР). Приводятся результаты структурного анализа транспортной системы ММР с реконфигурируемым шасси. Построены математические и компьютерные модели всех звеньев, и разработана полная компьютерная модель транспортной системы, включающая две подсистемы: подсистему передвижения и подсистему изменения геометрической конфигурации шасси. Проведено исследование движения модели транспортной системы в двух конфигурациях: гусеничной и колёсной – при различных углах наклона поверхности и различных массах полезного груза. Проведены соответствующие экспериментальные исследования на макетном образце ММР. Сравнение результатов показало хорошую сходимость расчётных и экспериментальных данных, что позволяет говорить об адекватности разработанных компьютерных моделей.

Мобильный робот; мобильный мини-робот; транспортная система; реконфигурация; шасси; компьютерная модель; моделирование

A. V. Vasiliev
**DEVELOPMENT AND STUDY OF THE COMPLETE COMPUTER
MODEL MOTION
OF MOBILE MINI-ROBOT WITH RECONFIGURABLE CHASSIS
TRANSPORT SYSTEM**

*RTC, St. Petersburg
andrey@rtc.ru*

The work is devoted to the design of small-sized transport systems for mobile mini-robots (MMR). The results of the structural analysis of the MMR transport system with a reconfigurable chassis are presented. Mathematical and computer models of all parts of the transport system have been developed along with a complete computer model of the transport system, which includes two subsystems: a locomotion subsystem and a subsystem of the chassis geometric configuration changing. A study of the transport system motion has been carried out on the computer model in two configurations (tracked and wheeled) with different angles of the surface and different weights of the payload. The corresponding experimental studies were carried out on the physical prototype of the MMR. Comparison of the results showed good convergence of the calculated and experimental data, which indicates the reliability of the developed computer models.

Mobile robot; mobile mini-robot; transport system; reconfiguration; chassis; computer model; simulation

Г.А. Прокопович, И.В. Подмазов
**НОВЫЙ СПОСОБ ДВИЖЕНИЯ СФЕРИЧЕСКОГО РОБОТА С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕКУПЕРАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОЙ
ЭНЕРГИИ**

*Объединённый институт проблем информатики НАН Беларуси,
Минск, rprakovich@robotics.by, podmazov@gmail.com*

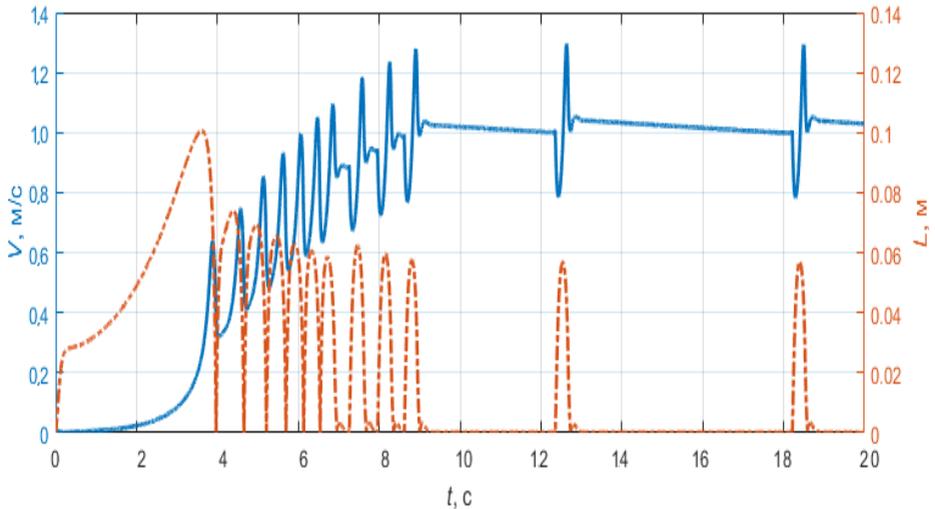
G.A. Prokopovich, I.V. Podmazov
**A NEW KIND OF SPHERICAL ROBOT MOTION USING THE
MECHANICAL ENERGY RECUPERATION**

*United Institute of Informatics Problems, Minsk, Republic of Belarus
rprakovich@robotics.by, podmazov@gmail.com*

По способу создания вращающего момента внешнего корпуса все известные модели сферических роботов можно разделить на четыре различные группы [1,2]: колёсные платформы, находящиеся внутри сферического корпуса и использующие его в качестве трёхмерной гусеничной ленты; механизмы маятникового типа, крепящиеся на главной оси сферического корпуса; использующие переменный гиростатический момент; использующие различные толкательные элементы; и наконец, использующие механизмы деформации внешней формы самого сферического корпуса. Однако несмотря на своё большое разнообразие, все известные модели сферических мобильных роботов в той или иной степени имеют такие общие недостатки, как низкая манёвренность и малая эффективность движения. Под малой эффективностью движения авторами понимается, что в процессе движения (качения) сферического робота по горизонтальной или наклонной поверхности не реализуется накопление и дальнейшее использование собственной приобретённой кинетической энергии сферических роботов.

В связи с этим авторами был предложен оригинальный способ передвижения сферического робота, который заключается в смещении центра масс всего робота относительно геометрического центра его сферического корпуса с помощью направленных движений параллельного манипулятора [2,3]. Параллельный манипулятор состоит из радиально расположенных звеньев, которые соединены с внутренней поверхностью корпуса и рабочим органом шарнирами. В рабочем органе расположены все жизненно важные функции мобильного робота: от блоков питания и зарядных устройств и до блоков системы управления. Благодаря всенаправленному перемещению рабочего органа внутри

полого сферического корпуса (в рамках его рабочей зоны) обеспечивается не только движения с нулевым радиусом поворота, но и возможность создавать управляемые периодическое отклонение центра масс из геометрического центра сферического корпуса в сторону движения самого робота. На приведённом графике сплошной линией показано изменение скорости перемещения сферического робота, а прерывистой – периодическое отклонение рабочего органа от геометрического центра оболочки в сторону вращения. Данный способ движения позволяет значительно экономить энергию, затраченную на движение сферического робота.



1. Chase, R. Review of Active Mechanical Driving Principles of Spherical Robots / R. Chase, A.A. Pandya // Robotics. – 2012. – Vol. 1. – Pp. 3-21.

2. Прокопович, Г.А. Мобильный робот с нулевым радиусом поворота / Г.А. Прокопович // Робототехника и техническая кибернетика. – 2015. – №2(7). – С. 39-44.

3. Робот-шар : пат. 2600043С2 Российская Федерация, МПК В 25J 9/00, В62D 57/00 / авт. Г.А. Прокопович ; заявитель ОИПИ НАН Беларуси. – №2015107469/02; заявл. 03.03.2015 ; опубл. 20.10.2016 // Бюл. – 2016. – №29.

Д. Гусев
**ВОПРОСЫ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ В СОВРЕМЕННОЙ
РОБОТОТЕХНИКЕ**

*ОАО «Инфотекс», Москва
gusev@infotecs.ru*

В докладе рассматриваются вопросы кибербезопасности при реализации разнообразных робототехнических систем и комплексов. Приводятся примеры угроз безопасности информации из сферы корпоративных информационных систем и обоснование переносимости этих угроз и примеров атак в область робототехники.

Ключевые слова

Защита информации, сети данных, кибербезопасность, Интернет вещей (Internet of Things/IoT), Индустриальный Интернет вещей (Industrial Internet of Things/IIoT).

Тезисы

Современная робототехника, включая экстремальную, немыслима без широкого использования современных же информационных технологий и соответствующей элементной базы. Автономные мобильные робототехнические системы и комплексы практически всегда снабжаются средствами удаленного управления и мониторинга, а также разрабатываются с учетом возможности работы в составе мобильных групп с организацией подвижных сетей связи. Можно констатировать, что любой современный робот всегда оборудуется средствами связи и является частью локальной или глобальной информационной сети. Для гражданской робототехники уже сейчас не только обсуждаются, но и реализуются облачные платформы управления (Cloud Robotics), которые в недалеком будущем должны стать частью Интернета вещей/Индустриального Интернета вещей.

Компания ИнфоТеКС, ведущий отечественный разработчик средств защиты информации с 25 летним стажем, последние несколько лет активно работает в направлении обеспечения информационной безопасности индустриальных информационных систем и рассматривает робототехнику, как одно из направлений развития таких систем. Анализ результатов нашего опроса участников российского рынка робототехники, включая разработчиков робототехнических систем военного назначения, проведенный в рамках ряда выставок и конференций в 2015-2016 гг., приводит к неутешительному результату – большинство таких разработчиков не занимались учетом требований информационной безопасности в своих разработках и слабо понимают, о чем идет речь.

Экстремальная робототехника в отличие от гражданской практически всегда нацелена на решение задач, связанных с безопасностью государства и общества. Любые нарушения в работе подобных систем могут приводить к серьезным последствиям экономического, социального характера. А именно в этом заинтересованы потенциальные нарушители, к которым в последнее время все чаще относят и спецслужбы зарубежных государств. Поэтому требования информационной безопасности должны в обязательном порядке рассматриваться наравне с требованиями безопасности физической и функциональной.

Доказательством серьезности рассматриваемой проблемы являются уже произошедшие и обнародованные случаи инцидентов информационной безопасности, приведшие к нарушениям работы ряда промышленных/индустриальных/транспортных систем гражданского и военного назначений: вирусная атака Stuxnet в Иране (2010), остановка сталеплавильного цеха в Германии (2014), компьютерная атака на атомную станцию в Японии (2015), отключение части электроэнергетической системы Украины (2015), демонстрация возможностей по удаленному выводу из строя бортовой системы управления автомобилем Jeep Cherokee (2015).

Можно выделить следующие причины, приводящие к появлению рисков информационной безопасности, свойственные всем современным информационным технологиям и конечным программно-техническим решениям:

1. Слабая подготовка инженеров и разработчиков (программистов, аналитиков, архитекторов) ПО в области информационной безопасности
2. Игнорирование разработчиками международных и национальных стандартов в области разработки безопасного программного обеспечения
3. Активное применение open source компонентов в разработке без проведения работ по оценке их безопасности
4. Фактически безальтернативное использование зарубежной элементной базы (процессорные модули, модули связи)
5. Отсутствие национальных институтов стандартизации и гармонизации в области робототехники, где вопросы информационной безопасности могли бы системно рассматриваться и учитываться

Компания Инфотекс в настоящее время ведет разработку ряда средств криптографической защиты информации, нацеленных на индустриальные информационные системы, включая контроллеры

управления (PLC) и системы АСУ ТП (SCADA). Опытные образцы продуктов уже внедряются в некоторые совместные партнерские решения, в том числе один из проектов посвящен защите телеметрии и потокового видео квадрокоптеров. Приглашаем всех заинтересованных к диалогу и поиску эффективных решений по защите информации в робототехнических системах и комплексах!

D. Gusev

ISSUES OF CYBERSECURITY IN MODERN ROBOTICS

JSC InfoTeCS, Moscow, Russia

gusev@infotecs.ru

The report deals with the cyber security issues that arise during the implementation of robotic systems. The report provides examples of information security threats that exist in corporate IT infrastructures and proves that the same threats and attack examples can be projected into robotics.

Keywords

Data protection, data networks, cyber security, Internet of Things / IoT, Industrial Internet of Things / IIoT.

Report Theses

The modern robotics, including extreme robotics, cannot exist without the extensive use of the state-of-the-art information technologies and the corresponding hardware components. Autonomous mobile robotic systems are almost always equipped with some remote management and monitoring tools and designed in such a way as to form a part of mobile groups and create mobile communication networks. We can claim that any up-to-date robot is always equipped with communication tools and belongs to a local or global information network. In the civil robotics domain, scientists have already discussed and even started implementing cloud-based management platforms (Cloud Robotics), which in the near future will become a part of the Internet of Things / Industrial Internet of Things.

For the last few years, Infotecs, the leading national developer of data protection tools with 25 years of experience, has been actively working in the field of information security for industrial IT infrastructures and considers robotics as one of the development directions for such systems. During a series of exhibitions and conferences in 2015-2016, we conducted a survey among the robotics market players in Russia, which included the developers of military-purpose robotic systems. The survey results were disappointing: most

of the developers did not take into account the information security requirements and hardly understood what it was about.

As opposed to civil robotics, the extreme robotics field almost always aims at solving issues related to the security of the state and society. Any disturbances in the operation of such systems can lead to severe consequences of an economic and social nature. And that's precisely what potential intruders (by which we currently often mean special agencies of foreign countries) are interested in. That's why the information security requirements must always be considered equally important as the physical and functional safety requirements.

To prove that the issue in question presents a major concern, we can mention the security incidents that have already revealed the disruption of a number of civil and military purpose industrial / transport systems: Stuxnet virus attack in Iran (2010), attack on a steel mill in Germany (2014), computer attack on a nuclear power plant in Japan (2015), disconnection of a part of the electric power system in Ukraine (2015), remote inactivation of the Jeep Cherokee onboard control system (2015).

We can name the following reasons that give rise to the information security risks inherent in all modern information technologies and end software and hardware solutions:

1. Training of software engineers and developers (programmers, analysts, architects) in the field of information security is of a low quality.
2. Developers ignore international and national standards in the field of secure software development.
3. Developers actively use open-source components without assessing their security.
4. There are virtually no alternatives for the foreign hardware components (processor modules, communication modules).
5. There are no national institutes of standardization and harmonization in the robotics field to examine and consider the information security issued in a consistent manner.

Infotecs is currently engaged in the development of a number of cryptographic data protection tools for industrial IT infrastructures, including programmable logic controllers (PLCs) and process control systems (SCADA). We have already implemented prototype models in some collaborative partner solutions, among which one project deals with the quadcopter telemetry and video streaming protection. Everyone who is interested in discussing and searching for efficient data protection solutions in robotic systems is welcome to join!

С.Р. Орлова
**ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБОКОЙ СВЕРТОЧНОЙ СЕТИ SSD В
ЗАДАЧЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ И АВТОМОБИЛЕЙ ДЛЯ
СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА**

*СПбПУ, Санкт-Петербург
orsveri@gmail.com*

В данной работе произведены разбор структуры и принципа работы глубокой сверточной нейронной сети SSD (Single Shot MultiBox Detector) и экспериментальное исследование возможности применения данной сети в задаче обнаружения людей и автомобилей для системы технического зрения мобильного робота. Приведены описание и результаты экспериментов. Исследование показало, что сеть SSD может быть применена для поставленной задачи, однако имеет не очень высокие точность и скорость работы. Повысить точность сети удалось с помощью модификации (эквализации гистограмм) входных изображений и обучения сети, сделан вывод о необходимости создания собственной обучающей базы данных и доработки архитектуры сети для ещё большего повышения эффективности метода.

S.R. Orlova
**EXPLORING OF DEEP CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK
SSD FOR PEOPLE AND CAR DETECTION BY THE MOBILE
ROBOT VISION SYSTEM**

*SPbPU, Saint-Petersburg
orsveri@gmail.com*

The study search into the structure and operation of the deep convolutional neural network SSD (Single Shot MultiBox Detector) and describes the experimental research of the possibility of using this network for people and car detection by the mobile robot vision system. The paper contains description and results of experiments. The research showed that the SSD network can be used for this task, but it does not have very high accuracy and speed. The accuracy of the network was improved by modifying (histogram equalization) of input images and network training; The research concluded that the need to build own training database and refine the network architecture to further improve the efficiency and effectiveness of the method.

Д.С. Аниськин, А.Б. Андреев
**РАСЧЁТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПРЯМОУГОЛЬНОГО КРЫЛА С
СИМЕТРИЧНЫМ ПРОФИЛЕМ С ПОМОЩЬЮ
ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS CFX**

Государственный научный центр Российской Федерации
Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский институт химии и механики
имени Д.И. Менделеева» (ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ»)
mail@chiihm.ru

D.S. Aniskin, A.B. Andreev
**COMPUTATIONAL RESEARCHES OF AERODYNAMIC
CHARACTERISTICS OF A RECTANGULAR WING WITH A
SYMMETRIC PROFILE BY MEANS OF A ANSYS CFX PROGRAM
COMPLEX**

Central research institute of chemistry and mechanics, Moscow

При разработке беспилотного летательного аппарата (БЛА), основной функцией которого будет доставка целевой нагрузки в заданную точку на поверхности Земли, необходимо иметь в наличии математическую модель полёта аппарата.

Математическая модель БЛА используется при настройке системы управления и наведения. Она должна отражать динамические характеристики разрабатываемого аппарата, но при этом быть достаточно простой. Оценка аэродинамических характеристик аппарата являются одной из важнейших задач при разработке. От её точности напрямую зависит эффективность системы управления.

В докладе приводится пример расчёта крыла в программном комплексе Ansys CFX. Исследуется прямоугольное крыло с симметричным профилем для разных вариантов относительной толщины. Такой профиль наиболее характерен для современных БЛА, выполняющих функции доставки.

Также в докладе приводится сравнение результатов математического моделирования с натурными испытаниями.

С.А. Гавриленко, В.В. Давыдчик, И.А. Елисеев, С.И. Севастьянов
ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ
ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ СОСТАВА КОМПЛЕКСА ПРИЁМНЫХ
СРЕДСТВ СВЯЗИ МАЛОГАБАРИТНОГО
РОБОТИЗИРОВАННОГО ПОДВОДНОГО ОБЪЕКТА

*Публичное акционерное общество «Информационные
телекоммуникационные технологии», Санкт-Петербург
zavit@bk.ru*

Для определения целесообразного состава бортового приёмного комплекса средств связи малогабаритного подвижного управляемого объекта роботизированного типа предложена математическая модель функционирования, учитывающая условия обстановки, пространственно-временные особенности движения объекта и требования к использованию средств связи. На основе модели введены показатели эффективности и предложен логико-аналитический метод определения их значений при принятых допущениях.

Ключевые слова: малогабаритный подводный объект роботизированного типа, бортовой комплекс приёмных средств связи, математическая модель функционирования, пространственно-временная модель, особенности движения объекта, требования к средствам связи, показатель эффективности, целесообразный состав, логико-аналитический метод.

S.A. Gavrilenko, V.V. Davydchik, I.A. Eliseev, S.I. Sevastjanov
**THE TIME-PROBABILITY MODELS AND METHODS FOR
MOTIVATION OF THE COMPOSITION OF RECEIVING COMPLEX
OF COMMUNICATIONS FOR COMPACT ROBOTIC SUBMARINE
OBJECT**

*Publik Share Society «Information Telecommunication Technologies»,
Saint-Petersburg
zavit@bk.ru*

For the determination of the expediency composition of the receiving complex of communications compact guided object proposed a mathematical model of the functioning, taking into account the conditions of environment, spatial and temporal features of the use of the object and the requirements for its communication facilities. Based on the model introduced performance indicators and proposed a logical and analytical method for the determination of their values at the assumptions.

Keywords: maritime mobile robot managed object type, on-board compact complex of receiving means of communications, the time-probability model, spatial and temporal features of the use of the object, requirement for its communication facilities, performance indicators, expediency composition, logical and analytical method

Д.Н. Степанов, Е.Ю. Смирнова
**МЕТОД КОРРЕКЦИИ ОЦЕНКИ ПОЛОЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО
РОБОТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИЗУАЛЬНОЙ ЛОКАЦИИ
ЕСТЕСТВЕННЫХ ОРИЕНТИРОВ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
dnstepanov@rtc.ru*

В статье представлен подход к использованию визуальной локации известных ориентиров для повышения точности навигации мобильного робота (МР). Подход основывается на анализе изображений от одной или нескольких телевизионных камер, устанавливаемых на МР, и позволяет повысить точность локализации МР до величины, сравнимой с точностью определения положения ориентиров.

Задача определения положения МР при движении в условиях слабой определенности в настоящее время чаще всего решается с применением дорогостоящих лазерных дальномеров (лидаров). Активное развитие систем технического зрения позволяет создавать значительно менее дорогие и громоздкие системы, базирующиеся на анализе изображений от телевизионных камер МР. Также для навигации широко используются спутниковые навигационные системы (СНС) типа GPS/ГЛОНАСС и внутренние сенсоры – как правило, одометры. Однако, характер погрешности таких систем не позволяет выполнять точное маневрирование – например, при движении по перекресткам.

Система технического зрения позволяет парировать указанные недостатки и в целом повышать точность навигации. Известными примерами использования СТЗ для навигации являются визуальный SLAM и визуальная одометрия, однако они также обеспечивают достаточно низкую точность, например, при маневрировании на месте (когда движение камеры является в значительной степени вращательным).

При наличии карты визуальных ориентиров возможно применение СТЗ для обнаружения ориентиров и определения направлений на них в реальном масштабе времени. Существующие решения предлагают решение частных задач при ограничении на минимальное необходимое количество ориентиров.

Предлагаемый подход основан на применении расширенного фильтра Калмана для эффективного комплексирования данных одометрии/СНС и визуальной локации. Для этого используется модель

движения МР и модель наблюдения. Ключевыми достоинствами предложенного подхода является возможность коррекции положения и ориентации МР по любому количеству ориентиров (начиная с одного), а также возможность использования произвольного количества камер. Однократное наблюдение ориентира с известными координатами обеспечивает уменьшение ошибки навигации в направлении, перпендикулярном линии визирования ориентира. Поскольку каждый ориентир обычно наблюдается в течение некоторого времени, постепенно может быть списана ошибка по всем координатам. Возможность независимой работы с несколькими телевизионными камерами позволяет распараллелить этап обработки изображений, а при применении системы кругового обзора МР значительно увеличить наблюдаемость ориентиров. Проведенные экспериментальные исследования показали, что метод позволяет достичь погрешности позиционирования по смещению в плоскости дороги порядка 10 см и менее 1° по углу ориентации МР. Предложенный подход является универсальным и может быть применен для коррекции по известным визуальным ориентирам в различных случаях, например, при определении относительного положения автономных спасательных средств морского базирования, космических аппаратов или при выполнении стыковки автономных необитаемых подводных аппаратов с носителем.

D.N. Stepanov, E.Yu. Smirnova
**A METHOD OF MOBILE ROBOT POSITION ESTIMATION
CORRECTION USING VISUAL LOCATION OF NATURAL
LANDMARKS**

*RTC, Saint-Petersburg
dnstepanov@rtc.ru*

The article presents an approach to using of visual location of an arbitrary number of known natural landmarks for correction of position estimation of a mobile robot. The approach is based on using of the Extended Kalman Filter to perform steps of the position prediction and correction based on the visual location. The visual location is performed using a calibrated camera (or a set of cameras) installed on the mobile robot.

The task of a mobile robot navigation in a case of poorly determined conditions is often solved using a set of expensive LIDARs. Other sensors like GNSS and odometer often used in mobile robots are usually not precise enough (for example when maneuvering on intersections). The recent research in the field of computer vision allows creation of much less expensive systems based on image analysis from one or several cameras. When used together with other sensors such system can significantly increase the navigation precision and stability.

Known visual navigation approaches like visual SLAM and visual odometer are often used but they are often not precise enough especially when the camera movement is mostly rotating. A set of one or more natural visual landmarks can be located automatically in real time using mobile robot cameras. Existing methods provide partial solutions for the position or direction estimation using 3 or more landmarks.

The proposed approach is based on using of the Extended Kalman Filter for efficient fusion of the odometer and GNSS data with the visual location of one or more landmarks. Since all the landmarks are used one at a time independently the number of landmarks, cameras, their types and positions are arbitrary. The method is working with one camera and one landmark as well as with a round view camera system with one or many landmarks.

Experiments involving autonomous driving through different intersections shown the feasibility of reaching of the accuracy of horizontal position of 10 cm and rotation of 1° and below. The method has been developed for improving of unmanned vehicles navigation at intersections but can be applied to navigation of different ground, space, marine and underwater mobile robots.

К.И. Куй

АЛГОРИТМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ АНАЛИЗА СИГНАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В ДОРОЖНОЙ СЦЕНЕ

*Институт Прикладной Математики им. Келдыша РАН,
Москва*

В работе рассмотрена задача обнаружения сигнальных объектов на изображениях дорожных сцен и предложены алгоритмы ее решения на основе метода геометризованных гистограмм, разработанных автором. Описываются принципы программного комплекса, разработанного на основе предложенных алгоритмов. Рассматриваются применения к обнаружению зон габаритов и сигналов торможения на соседних автомобилях при движении робота-автомобиля по дороге. Намечаются применения разработанных методов к обнаружению сигнальных огней вертолетов.

Ключевые слова: сегментация изображений, системы пониманий изображений, анализ видеопоследовательностей, анализ дорожных сцен, навигация автономных роботов.

K.I. Kiy

COMPUTER VISION ALGORITHMS FOR ANALYZING SIGNAL OBJECTS IN A ROAD SCENE

*Keldysh Institute of Applied Mathematics
(Russian Academy of Sciences)*

In this paper the problem of detecting signal objects in images of road scenes is addressed and algorithms for its solving based on the geometrized histograms method are proposed. The main ideas of the program complex, developed based on the proposed algorithms, are described. The applications to detecting sidelights and breaking signals zone of adjacent vehicles in the motion of a robot-vehicle on a road are considered. The application of the developed methods to detecting signal lights of flying vehicles, e.g. helicopters, is outlined.

Key words: image segmentation, image understanding systems, video sequences analysis, navigation of autonomous robots.

С.Н. Кириллов, И.В. Косткин
**АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ПРЕДОБРАБОТКИ ПОДВОДНЫХ И
НАДВОДНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ДЕЙСТВИИ МЕШАЮЩИХ
ФАКТОРОВ**

*ООО «Ижевский радиозавод», Ижевск,
kirillov.lab@mail.ru, kost_vk@mail.ru*

Основная проблема предобработки подводных изображений вызвана значительным ослаблением света, что уменьшает дальность видимости до 20 метров в чистой воде и до 5 метров в мутной. Ослабление объясняется поглощением и рассеиванием, как в самой воде, так и растворенными в ней органическими веществами и малыми взвешенными частицами.

Необходимо отдельно отметить, что похожие искажения присутствуют на надводных изображениях, которые вызваны такими мешающими факторами как туман, дождь, снег, попадание воды на линзы фоторегистрирующего устройства и др.

В современных системах обработки подводных и надводных видеоизображений для борьбы со специфическими искажениями используются дополнительные аппаратные средства, в частности лазерная подсветка, применение поляризационных линз, внешняя подсветка объекта съемки и другие [1...3]. Подобные подходы приводят к увеличению массогабаритных показателей, повышенному энергопотреблению и росту стоимости аппаратуры для подводной видеосъемки в реальном масштабе времени.

В отличие от известных методов в данной работе предлагается полностью программный алгоритм устранения подводных, а также надводных искажений и улучшения качества изображений [7, 9]. Данный подход не требует предварительной калибровки, работая одинаково эффективно с изображениями, полученными на глубинах от 1,5 до 6000 метров. Исходя из предварительно разработанной модели искажения подводных и надводных изображений при действии мешающих факторов в виде тумана, дождя снега и т.д., [10] разработана методика их обработки, в которой предложено проводить обработку в строго определенном порядке [7, 9]:

Экспериментальные исследования предложенного алгоритма улучшения качества подводных видеоданных проводились на цветных 8-ми битных видеоизображениях размером 480x360 пикселей, с частотой 25 кадров в секунду, полученных на глубинах от 30 до 150 м. Кроме того, для анализа подводных изображений была использована модель «Макглаймери» [3] при гауссовском шуме как аддитивной составляющей, а также сужение цветового диапазона гистограммным

методом [6]. В ходе имитационного моделирования были подобраны оптимальные для подводной и надводной среды параметры фильтрации, жесткое задание которых позволило заранее рассчитать необходимые коэффициенты фильтров, что значительно увеличило скорость работы алгоритма.

Данный алгоритм был протестирован на современном ПК с частотой процессора 3,3 ГГц, что обеспечило работу в реальном масштабе времени. На рисунке 2 представлены результаты работы предложенного алгоритма улучшения качества подводных видеоизображений. Субъективная оценка качества по ГОСТ 26320-84 показала, что разработанный алгоритм обработки позволяет увеличить качество подводных видеоизображений с 3 до 5 баллов (по пятибалльной шкале). Кроме того, тестирование показало, что предложенный алгоритм предобработки позволяет увеличивать дальность видимости в 3...4 раза и при этом работает с видеопотоком в режиме реального времени на скорости передачи до 1,5 Мбит/с.

Дополнительным плюсом для применения на борту является автоматическая настройка алгоритма обработки с учетом текущих характеристик подводных или надводных видеоданных, что позволяет получать на выходе стабильный предсказуемый результат при различных условиях подводной или надводной съемки, а также в условиях неизвестной или недостаточно определенной подводной среды.

Отдельно необходимо отметить, что разработанный алгоритм облегчает дальнейшее выделение контуров объектов на видеоизображениях, уменьшает влияние шумов и специфических подводных искажений, а также расширяет пространство признаков классификации (оптимальное перераспределение интенсивности цветовых каналов и отдельная фильтрация и нелинейная обработка канала яркости), что должно значительно улучшить алгоритмы обнаружения и сопровождения подводных и надводных объектов, а также повысить характеристики методов поиска и обнаружения нетипичных объектов в условиях неизвестной или недостаточно определенной подводной среды.

S.N. Kirillov, I.V. Kostkin
**ADAPTIVE ALGORITHM FOR PROCESSING UNDERWATER AND
OVERWATER IMAGES UNDER INFLUENCE OF INTERFERENCE
FACTORS**

*OOO "Izhevskiy Radiozavod", Izhevsk town, kirillov.lab@mail.ru,
kost_vk@mail.ru*

The main problem of preprocessing underwater images is caused by a significant attenuation of light, which reduces the range of visibility to 20 meters in clean water and up to 5 meters in a cloudy one. The attenuation is explained by the absorption and dispersion, both in the water itself, and dissolved in it by organic substances and small suspended particles.

It should be separately noted that similar distortions are present on the surface images, which are caused by such disturbing factors as fog, rain, snow, water ingress on the lenses of the photographic device, etc.

In modern systems for processing underwater and surface video images, additional hardware is used to combat specific distortions, in particular laser illumination, the use of polarizing lenses, external illumination of the subject, and others [1 ... 3]. Such approaches lead to an increase in mass-size indicators, increased power consumption and an increase in the cost of equipment for underwater video shooting in real time.

Unlike the known methods, in this paper we offer a completely software algorithm for eliminating underwater, as well as surface distortions and improving image quality [7, 9]. This approach does not require preliminary calibration, working equally effectively with images obtained at depths of 1.5 to 6000 meters. Based on the previously developed model of distortion of underwater and surface images under the action of interfering factors in the form of fog, rain of snow, etc., [10] developed a method for their processing, in which it is proposed to carry out processing in a strictly defined order [7, 9]:

Experimental studies of the proposed algorithm for improving the quality of underwater video data were carried out on color 8-bit video images with a size of 480x360 pixels, at a frequency of 25 frames per second, obtained at depths from 30 to 150 m. In addition, for the analysis of underwater images, the McGlymeri model was used [3] for Gaussian noise as an additive component, as well as the narrowing of the color range by the histogram method [6]. During the simulation, the optimal filtration parameters for the underwater and above-water environments were selected, the rigid specification of which allowed the predetermined calculation of the required filter coefficients, which greatly increased the speed of the algorithm.

This algorithm was tested on a modern PC with a processor frequency of 3.3 GHz, which provided real-time operation. Figure 2 shows the results of the proposed algorithm for improving the quality of underwater video images. Subjective quality assessment according to GOST 26320-84 showed that the

developed processing algorithm allows to increase the quality of underwater video images from 3 to 5 points (on a five-point scale). In addition, the testing showed that the proposed preprocessing algorithm allows to increase the range of visibility by 3 ... 4 times and at the same time it works with the video stream in real time mode at the transmission speed up to 1.5 Mb / s.

An additional advantage for using on board is the automatic adjustment of the processing algorithm, taking into account the current characteristics of underwater or above-water video data, which allows obtaining a stable predictable result at the output under various conditions of underwater or above-water survey, and also in conditions of unknown or insufficiently defined underwater environment.

Separately, it should be noted that the developed algorithm facilitates further allocation of the contours of objects on video images, reduces the influence of noise and specific underwater distortions, and also expands the space of classification features (optimal redistribution of the intensity of color channels and separate filtering and nonlinear processing of the brightness channel), which should significantly improve the algorithms Detection and tracking of underwater and above-water objects, as well as to increase the characteristics of search and detection methods Atypical objects in conditions of unknown or insufficiently defined underwater environment.

А.Г. Лесков, Е.В. Селиверстова
**АЛГОРИТМ ПЛАНИРОВАНИЯ И ВЫБОРА СПОСОБА ЗАХВАТА
ДЕФОРМИРУЕМОГО ОБЪЕКТА**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
agleskov@rambler.ru, feoktistovaev@mail.ru

A.G. Leskov, E.V. Seliverstova
**PLANNING AND CHOICE OF METHOD OF CAPTURE OF THE
DEFORMABLE OBJECT ALGORITHM**

Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Главное достоинство робототехнических систем – возможность выполнения задач ловкого манипулирования с объектами при достаточном удалении человека от операционной зоны. Особенно актуальными являются вопросы роботизации операций при работе с взрывоопасными объектами, представляющими угрозу для жизни и здоровья человека. На данный момент роботизированные операции с взрывоопасными объектами реализуются за счет применения методов удаленного управления. Такой способ имеет существенные недостатки – неработоспособность при потере связи между роботом и пультом управления и увеличение сложности управления при наличии задержки сигнала, что может привести к разрушению объекта манипулирования (ОМ) или его выпадению из захватного устройства (ЗУ) и, как следствие, взрыву.

Альтернативой роботам, управление которых осуществляется удаленно человеком, являются автономные системы, оснащенные элементами искусственного интеллекта. Однако к настоящему времени не удается найти примеров полностью автономных систем, способных выполнять сложные операции с любыми ОМ. Поэтому задачу автономизации принято решать поэтапно, включая в рассмотрение отдельные фазы операции.

К простейшим манипуляционным задачам относится захват ОМ, который является начальным этапом большинства операций. Захват ОМ является проблемой его иммобилизации внутри ЗУ робота. Решение этой проблемы дает возможность удерживать ОМ в присутствии внешних возмущений. Один и тот же ОМ можно захватить различными способами, по-разному располагая звенья ЗУ относительно поверхности ОМ. От выбора способа захвата зависит возможность реализации манипуляционной задачи и выполнения операции в целом. Выбор способа захвата осуществляется на этапе планирования. Решение задачи планирования захвата и последующего манипулирования требуют

анализа результатов моделирования ОМ и ЗУ в процессе выполнения операции.

На данный момент задача автоматического захвата решена для жестких ОМ. Захват жестких ОМ интенсивно изучается уже более 30 лет. Созданы теория, описывающая кинематику и динамику захвата, алгоритмы планирования захвата и способы анализа его свойств. На их основе разработаны симуляторы захвата жестких ОМ – GraspIt! и OpenRAVE, которые часто используются в современных робототехнических системах.

Существенным недостатком таких симуляторов захвата является отсутствие рассмотрения этой операции в контексте последующих действий, которые необходимо совершить с ОМ. Так, например, при охватывающем захвате желаемое изменение положения и ориентации ОМ в пространстве возможно только за счет движения всего манипуляционного робота. При этом если при планировании захвата учесть последующую манипуляционную операцию изменения положения ОМ в пространстве можно достичь за счет движения звеньев ЗУ, что является более безопасным с точки зрения избегания столкновений с объектами, находящимися в рабочей зоне манипулятора. Кроме того, существующие симуляторы захвата не ставят целью минимизацию сил, прилагаемых к ОМ со стороны ЗУ. Минимизация таких сил позволяет избежать чрезмерной деформации или разрушения ОМ, что особенно важно при работе с взрывоопасными объектами.

В работе описан оригинальный алгоритм планирования захвата, учитывающий деформацию ОМ в процессе выполнения операции, последующую манипуляционную операцию и минимизацию сил, прилагаемых к ОМ со стороны ЗУ. Алгоритм планирования захвата включает в себя: алгоритм формирования гипотез захвата; алгоритм планирования траекторий движения звеньев ЗУ для захвата ОМ; алгоритм определения пересечений полигональных моделей ОМ и звеньев ЗУ; алгоритм расчета сил контактного взаимодействия между ОМ и звеньями ЗУ; алгоритм определения центра масс деформированного в процессе захвата ОМ; алгоритм оценки устойчивости захвата; алгоритм проверки достижимости желаемого положения ОМ; алгоритм планирования движения шарниров ЗУ для перемещения ОМ; алгоритм определения способа захвата.

Отличительными особенностями рассмотренного симулятора захвата от существующих являются проверка на достижимость желаемого положения ОМ на этапе планирования захвата, минимизация сил, прикладываемых к поверхности ОМ со стороны ЗУ, учет изменение формы поверхности ОМ и смещение его центра масс, вызванные деформацией ОМ в процессе захвата и выполнения манипуляционной задачи.

Системы управления (СУ) современных интеллектуальных роботов должны быть унифицированы и обладать достаточно мощными алгоритмами управления. Она должна содержать следующие основные компоненты:

- задание цели или задачи роботу в виде программы на специальном языке программирования роботов Voldemar;
- построение программных траекторий робота, в том числе в среде с препятствиями, статическими и динамическими;
- система технического зрения (СТЗ);
- отслеживание программной траектории адаптивной сервосистемой робота.

СТЗ современных роботов используют разнообразные методы обработки изображений. В последние 30 лет на Западе возникло и успешно развивается новое направление, получившее название визуального сервоуправления (visual servoing), когда обратная связь для управления движением робота осуществляется без вычисления обобщённых или пространственных координат робота, а непосредственно по визуальной информации.

Традиционное визуальное сервоуправление использует вместо координат робота признаки на изображении внешней среды и их рассогласование. Предлагается вместо признаков использовать всё изображение либо его части, а рассогласование в динамике между изображениями определять с помощью связывающего их непрерывного преобразования. В качестве таких преобразований могут использоваться группы движений плоскости, аффинная и проективная группы.

Полученное рассогласование изображений пересчитывается в координаты, скорости или моменты приводов робота. Далее используются обычные алгоритмы управления на основе обратных задач динамики.

При визуальном сервоуправлении основным инструментом исследования является отображение $g = \Phi(x)$ пространства абсолютных декартовых координат в пространство видеопризнаков g . Для его получения необходимо знать матрицу размерности 2×4 модели камеры M , осуществляющей преобразование в проективных

координатах трёхмерного пространства среды $x = (x_1, x_2, x_3, 1)^T \in R^4$
 в двумерное изображение $I = (i_1, i_2, 1) \in R^3$ $I = Mx$.

Основная идея предлагаемого метода управления по изображению состоит в возможности найти непрерывное преобразование, связывающие два изображения: целевое, желаемое, и текущее. Для этого можно использовать разные методы, в том числе: локальные корреляции, оптические потоки, наконец, наиболее мощный – частотный метод на основе теории представления групп.

В общем случае такое преобразование является проективным преобразованием плоскости R^2 , но предполагая принадлежность основных элементов сцены одной плоскости (что имеет место, например, при намного больших расстояниях до объектов сцены по сравнению с расстояниями между объектами) можно ограничиться аффинным преобразованием $I \in R^2$.

Пусть в результате обработки изображения получается преобразование Θ (движения, аффинное, проективное), связывающее изображения I_1 и I_2 : целевое и текущее, $I_1 = I(t), I_2 = I_3(t)$, соответственно: $I(t) = \Theta I_3(t)$. Цель управления робота состоит в максимальном приближении получаемого с подвижной камеры видеоряда к запланированному на визуальной программной траектории. При визуальном сервоуправлении от указанной выше функции преобразования положения манипулятора или мобильного робота в признаки $g = \Phi(x)$ переходят дифференцированием к Якобиану J , связывая скорость робота со скоростью изменения вектора признаков. Далее стандартным способом, решая обратную задачу кинематики для скоростей можно перейти от абсолютных координат робота к его относительным координатам q приводов. Таким образом, рассогласование изображений, т.е. изображение, полученное вычитанием двух изображений состоящее из $n_1 \times n_2$ пикселей, преобразуется в вектор управлений размерности n – число управляемых координат.

V.P. Makarychev
ADAPTIVE VISUAL SERVO CONTROL OF ROBOTS

RTC, St. Petersburg
makar@rtc.ru

Control systems (CS) of modern intelligent robots should be harmonized and possess powerful enough control algorithms. This paper describes how such a control system, which was created over several decades and has been implemented in several terrestrial and space robots. Such unified SU must contain key components to ensure the functioning of the robot from the formation of the job before his execution servo system drives:

- setting goals or tasks the robot in the form of a special program of robot programming language Voldemar;
- building a software robot trajectories, including steeplechase Wednesday, static and dynamic;
- vision system (VS);
- software tracking the trajectory of an Adaptive robot servo system.

In the past 30 years occurred in the West and successfully developed a new direction, called Visual servo control (visual servoing) when feedback to control the movement of the robot is carried out without calculate generalized or spatial coordinates directly on the robot, and Visual information. The present work is devoted to, first of all, this topic, although it considered the methods can be successfully applied in other ways. Traditional

Visual servo control uses instead the robot coordinate features and their disagreement. It is proposed instead of signs use the entire image or parts of it, and disagreement in the dynamics between the images defined by linking their continuing transformation. As these changes can be used by groups of movements of the plane, affine and projective group.

To find such a transformation used frequency methods based on the representation theory of groups and spatial methods based on optical flow or local correlation image areas.

The resulting image mismatch is recalculated in the coordinates, speed, or moments of drives the robot. Next, use conventional control algorithms based on inverse problems of dynamics.

When a Visual Servoing research tool is displaying absolute Cartesian space in features space $g = \Phi(x)$. To obtain it, you must know the matrix dimension 2×4 camera model M , which is carrying out the conversion in projective coordinates of a 3D space $x = (x_1, x_2, x_3, 1)^T \in R^4$ in two-dimensional image $I = (i_1, i_2, 1) \in R^3$ $I = Mx$.

The main idea of the proposed method of image management is the ability to find a continuous transform, interrelating two images: target, desired, and

current. To do this, you can use different methods, including: local correlation, optical flow, finally, the most powerful-frequency method based on the theory of representations of groups. In General, such a transformation is the transformation of the projective plane R^2 , but assuming affiliation the basic elements of the scene the same plane (which is the case, for example, when a much greater distances to objects in the scene compared to the distances between objects) can focus on affine transformation $I \in R^2$.

Let the result of image processing produces the transformation Θ (motion, affine, projective) linking images I_1 and I_2 : target and current, $I_1 = I(t), I_2 = I_3(t)$, respectively: $I(t) = \Theta I_3(t)$.

As the target image can act as an image in target position of the robot, and images that match the interim provisions during the movement: that can be considered visual programming path and finds its expression depending on time t. The robot is close-ups from mobile video camera for the Visual software path. Thus, the misalignment of the images, i.e. image obtained by subtracting two images composed of $n_1 \times n_2$ pixels must be converted to vector offices dimension n -number of managed coordinates. Therefore, it is necessary to solve the problem of conversion matrices of dimension control into a vector of dimension n. Note that similar problems arise in the classical sense and convert relative coordinates to absolute, and in the case of classic Visual servo when converting absolute or relative coordinates of robot in features space.

**Ю.И. Минкин¹, А.В. Панченко², А.Ю. Шканаев³, И.А. Коноваленко⁴,
Д.Н. Путинцев⁵, Р.Н. Садеков⁶**
**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПШЕНИЦЫ ВНУТРИ ЗЕРНОВОГО
БУНКЕРА КОМБАЙНА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ
КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ**

¹АО Когнитив, г.Москва, у.minkin@cognitive.ru; ²АО Когнитив, г.Москва, panchenko@cognitive.ru; ³АО Когнитив, г.Москва, a.shkanaev@cognitive.ru; ⁴АО Когнитив, г.Москва; ИСА ФИЦ ИУ РАН, ⁵Institute for Systems Analysis, FRC CSC RAS, г.Москва, putincevd@gmail.com; ⁶МОУ «Институт инженерной физики», г.Серпухов, sadekovlar@mail.ru.

В работе описывается технология, позволяющая автоматизировать процесс оценки качества зерна в зерновом бункере комбайна. Фотографические изображения, формируемые камерой, анализируются специальными алгоритмами распознавания, что обеспечивает получение оценок массовой доли битого зерна и наличия примесей в автоматическом режиме. Описывается технические подробности созданного макета бункера. Приводятся показатели точности разработанных алгоритмов.

Ключевые слова: точное земледелие, битые зерна, примеси в зерне, компьютерное зрение, распознавание образов, статистическое обучение.

***Yu.I. Minkin¹, A.V. Panchenko.¹, A.Yu. Shkanaev¹, I.A. Konovalenko¹,
D.N. Putbntcev², R.N. Sadekov³***
**VISION SYSTEM: A TOOL FOR EVALUATING THE QUALITY OF
WHEAT IN A GRAIN TANK**

¹JSC «Cognitive»; ²Institute for Systems Analysis, FRC CSC RAS; *Institute of Engineering Physics, Serpukhov town*

The paper describes a technology that allows for automatizing the process of evaluating the grain quality in a grain tank of a combine harvester. Special recognition algorithm analyzes photographic images taken by the camera, and that provides automatic estimates of the total mass fraction of broken grains and the presence of non-grains. The paper also presents the operating details of the tank prototype as well as it defines the accuracy of the algorithms designed.

Key words: precision agriculture, broken grain, non-grain, computer vision system, pattern recognition, statistical training.

*А.В. Панченко¹, А.Ю. Шканаев², Д.А. Крохина³, Д.В. Полевой⁴,
Р.Н. Садеков⁵*

**АНАЛИЗ ГРАНИЦ ВАЛКОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ ДЛЯ
УПРАВЛЕНИЯ ТРАЕКТОРИЕЙ ДВИЖЕНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМБАЙНА**

*^{1,2,3}ООО Когнитивные Технологии, г. Москва,
panchenko@cognitive.ru,*

⁴ИСА ФИЦ ИУ РАН, Institute for Systems Analysis, FRC CSC RAS,

*⁵МОУ «Институт инженерной физики», г.Серпухов,
sadekovlar@mail.ru.*

В работе предлагается решение задачи автовождения вдоль соломенных валков по изображениям камеры установленной в кабине комбайна. Распознавание соломенных валков на изображении реализуется сетью U-Net. Края валка аппроксимируются на сегментированном изображении кривыми линиями и пересчитываются в систему координат комбайна для системы авто ведения. Применение «новой» архитектуры сети и подходов к аппроксимации валков повысило качество решения задачи распознавания и скорости обработки кадров до 96% и 7.5 кадров в секунду соответственно.

Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, семантическая сегментация изображения, сверточные (конволюционные) нейронные сети, соломенный валок.

*A.V. Panchenko ¹, A.Yu. Shkanaev.², D.A. Krochin ³, D.V. Polevoy ⁴,
R.N. Sadekov ⁵*

**ANALYSIS OF STRAW ROW IN THE IMAGE TO CONTROL THE
TRAJECTORY OF THE AGRICULTURAL COMBINE HARVESTER**

*^{1,2,3}JSC «Cognitive»; ²Institute for Systems Analysis, FRC CSC RAS;
Institute of Engineering Physics, Serpukhov town*

The paper proposes a solution to the automatic operation of the combine harvester along the straw rows by means of the images from the camera, installed in the cab of the harvester. The U-Net is used to recognize straw rows in the image. The edges of the row are approximated in the segmented image by the curved lines and further converted into the harvester coordinate system for the automatic operating system. The “new” network architecture and approaches to the row approximation has improved the quality of the recognition task and the processing speed of the frames up to 96% and 7.5 fps, respectively.

Keywords: grain harvester, semantic segmentation, convolutional neural networks, windrow.

Е.А. Шиповалов, В.Е. Пряничников
**АВТОПЛАНИРОВАНИЕ МИССИЙ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ
БОРТОВЫМИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ С
ГИБРИДНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ**

*ИПМ им.Келдыша РАН, МИНОТ РГГУ, МГТУ "Станкин", МЛ
«Сенсорика», Москва
v.e.pr@yandex.ru*

Описывается оригинальный программный комплекс для автоматического планирования миссий мобильных роботов методом эвристического поиска в пространстве состояний, адаптированный для работы в гибридных вычислительных системах (CPU + GPU). Предложены новые алгоритмы с высоким уровнем параллелизации. Анализируются текущее состояние автоматического доменно-независимого планирования, позволяющего интеллектуализировать бортовые вычислительные комплексы мобильных роботов. Рассматриваются проблемы повышения производительности и масштабируемости планировочных алгоритмов и предлагается путь их решения. Особое внимание уделено адаптации к вычислительным платформам с низким энергопотреблением, построенным на основе универсализации технологии графических акселераторов. Предложенные подходы особенно актуальны для применения на роботах, эксплуатируемых в экстремальных условиях. Ключевые слова: автоматическое планирование, доменно-независимое планирование, STRIPS, PDDL, эвристический поиск, параллельные вычисления, искусственный интеллект, мобильный робот, графический акселератор, GPU, GPGPU, CUDA

E.A. Shipovalov, V.E. Pryanichnikov
**AUTOMATED MISSION PLANNING FOR MOBILE ROBOTS
USING ON-BOARD COMPUTERS WITH HYBRID
ARCHITECTURES**

*KIAM RAS, IINET RSUH, MSTU "STANKIN", IL "Sensorika", Москва
v.e.pr@yandex.ru*

Design of original hybrid parallel (CPU+GPU) software solution for automated planning of mobile robot missions using heuristic state space search is described. New massively parallel algorithms are proposed. Also included is an analysis of current state of domain-independent planning in artificial intelligence research, review of challenges for improving planner performance and scalability, and possible solutions. Special attention is given to adaptation of planner software to mobile low-power parallel computing platforms based on generalized GPU technology. Suggested approaches are very useful in extreme robotics.

Key words: automated planning, domain-independent planning, heuristic search, parallel computation, STRIPS, PDDL, artificial intelligence, mobile robot, GPU, GPGPU, CUDA.

А.С. Ющенко, К.Р. Лебедев, С.Х. Забихафар
**УПРАВЛЕНИЕ КВАДРОКОПТЕРОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
АДАПТИВНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

*МГТУ имени Н.Э. Баумана, Москва
robot@bmstu.ru*

В данной работе предлагается решение проблемы управления сложным динамическим объектом—квадрокоптером с помощью нейросетевого регулятора. Рассматривается метод управления, основанный на адаптивном алгоритме настройки нейронной сети. В основе предлагаемого метода лежит обеспечение устойчивого скользящего режима при действии случайных возмущений. Предлагаемый метод позволяет управлять системой без априорной информации о параметрах динамической модели управляемого объекта. Настройка нейронной сети происходит в реальном масштабе времени использованием адаптивных алгоритмов. С помощью метода Ляпунова доказана устойчивость движения в окрестности скользящего режима. Моделирование предложенного способа управления квадрокоптером в среде MATLAB демонстрирует его эффективность.

Ключевые слова: БПЛА, квадрокоптер, нелинейное управление, скользящее управление, адаптивная нейронная сеть.

A.S. Yushenko, K.R. Lebedev, S.H. Zabihafar
**ADAPTIVE NEURAL NETWORK CONTROL OF QUADROTOR
HELICOPTER**

Bauman Moscow State Technical University, Moscow
robot@bmsu.ru

This paper proposes to solve the problem of controlling such a complex dynamical object as a quadrotor helicopter by using a neural network controller. A control method based on the adaptive algorithm of neural network tuning is considered herein. The proposed method is based on the system equilibrium in the sliding mode. This method enables to control the system without a priori information on parameters of a dynamic model for a controlled object as well as on environmental perturbations. To determine optimal weight factors for the neural network, adaptive algorithms are used. The network stability is proved by Lyapunov method. The proposed control method achieves good results through the simulation of a neural network controller and a dynamic quadcopter model in the MATLAB environment.

Keywords: UAV, quadrotor helicopter, nonlinear control, sliding-mode control, adaptive neural network.

В.Е.Павловский, А.Ю. Шамин
**ДИНАМИЧЕСКИ ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РОБОТОМ-
БУЕРОМ С РАЗЛИЧНОЙ ФОРМОЙ ПАРУСА**

*Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН; Механико-
математический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*

Работа посвящена построению теоретической модели движения трехколесного робота-буера с парусом и исследованию задачи оптимального быстрогодействия при различных формах паруса.

Буер-это система твердых тел, представляющих себя трехколесную тележку с установленным парусом. Движение колес по плоскости осуществляется без проскальзывания. Для составления уравнений полученной неголономной системы использовались уравнения в лаконичных формах. Аэродинамическое воздействие моделируется квазистатическим представлением. Получены выражения для силы дрейфа и подъемной силы, действующих на систему. Управление роботом осуществляется под действием двигателей, установленных у мачты паруса и вилки переднего колеса.

Решалась задача оптимального быстрогодействия для перевода робота из состояния покоя в одной точки плоскости до другой за наименьшее время при различных формах паруса. Решение задачи осуществлялось численно с помощью пакета TOMLAB.

В результате численных экспериментов выяснилось, что форма и площадь паруса влияют на динамические характеристики оптимальных движений, причем при различных ограничениях на моменты сил паруса робот ведет себя по-разному: в случае слабых ограничений старается максимизировать аэродинамическое воздействие, что приводит к тому, что робот достигает цели за меньшее время, при этом, чем больше площадь паруса, тем быстрее он достигает цели. В случае с сильными ограничениями ситуация меняется и робот выставляет парус таким образом, чтобы двигатели могли обеспечить необходимый момент сил. Библиографический список

1. Татаринов Я.В. Уравнения классической механики в новой форме // Вестник МГУ. Сер. Матем. Механ., 2003, #3, с.67-76.
2. Локшин Б.Я., Привалов В.А., Самсонов В.А. Введение в задачу о движении точки и тела в сопротивляющейся среде. М.: МГУ, 1992. 75 с.
3. Жуковский Н.Е. Теоретические основы воздухоплавания: Ч.2// Полное собрание сочинений: Лекции: Вып.2. А.П.Котельников, В.С. Пышнов, В.А.Семенов (ред.);ЦАГИ им. Н.Е.Жуковского. М.-Л.:Оборонгиз, 1939. 206 с.
4. Леонтьев Е.П. Школа Яхтенного капитана. М.:Физкультура и спорт, 1983. 245 с.
5. Павловский В.Е., Глазкова Л.В., Панченко А.В. Динамика, моделирование и управление колесным робобуером // Нелинейная динамика, 2012 Т.8, #4, с.679-687.

V.E. Pavlovsky, A.Yu. Shamin
**DYNAMICALLY OPTIMAL CONTROL OF THE ROBOT-
YACHT WITH DIFFERENT FORMS OF THE SAIL**

The work is devoted to the construction of a theoretical model of the motion of a three-wheeled robot with a sail and to the study of the optimal performance problem for different forms of the sail.

The robot-yacht is a system of solids representing a three-wheeled cart with an installed sail. Movement of the wheels along the plane is carried out without slipping. Equations in laconic forms were used to formulate the equations of the nonholonomic system obtained. The aerodynamic effect is modeled by a quasistatic representation. Expressions are obtained for the drift force and lift force acting on the system. The robot is controlled by the engines installed at the mast of the sail and the fork of the front wheel.

The optimal speed problem was solved for transferring the robot from a state of rest in one point of the plane to another in the shortest time with different forms of the sail. The solution of the problem was carried out numerically using the TOMLAB.

As a result of numerical experiments, it became clear that the shape and area of the sail affect the dynamic characteristics of the optimal motions, and under various constraints on the moments of the sail forces, the robot behaves differently: in the case of weak constraints, it tries to maximize the aerodynamic action, which results in the robot reaching Goals in less time, while the larger the area of the sail, the faster it reaches the target. In the case of strong restrictions, the situation changes and the robot does expose the sail in such a way that the engines can provide the necessary torque values.

Bibliographic list

1. Tatarinov Ya. V. Equations of classical mechanics in a new form. Vestnik MSU, department mechanics and math, 2003, num. 3, p. 67-76.
2. Lokshin B. Ya., Privalov V. A., Samsonov V. A. Introduction to the problem of motion of a point and a body in a resisting medium. Moscow, MSU, 1995, 75 p.
3. Zhukovsky N.E. Theoretical fundamentals of aeronautics: part 2// Complete Works: Lectures: Issue 2.P. Kotelnikov, V.S. Pyshnov, V.A. Semenov; Central Institute of Aerohydrodynamics, Moscow-Leningrad: Oborongiz, 1939, 206 p.
4. Leontyev E.P. School of the Yacht Captain. Moscow. Physical Education and Sports. 1983, 245 p
5. Pavlovsky V.E., Glazkova L.V., Panchenko A.V. Dynamics, modeling and control of the wheeled yacht robot // Nonlinear dynamics. 2012, vol. 8, num. 4, p 679-687.

Ю.А. Жуков, Е.Б. Коротков, Н.С. Слободзян
УПРАВЛЕНИЕ ВЫСОКОТОЧНОЙ СИСТЕМОЙ
ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО
НАЗНАЧЕНИЯ НА БАЗЕ ГЕКСАПОДА С
«ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ДАТЧИКОМ ПОЛОЖЕНИЯ»

*Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова (БГТУ), Санкт-Петербург,
zhkv@rambler.ru*

В БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и АО «ИСС» им. академика М.Ф. Решетнева ведется совместная актуальная работа по созданию ряда многостепенных механизмов с параллельной кинематикой для обеспечения точного позиционирования и ориентации бортовых приборов и устройств космического назначения.

Для достижения высокой точности управления гексаподом в экстремальных условиях эксплуатации предлагается подход на основе применения системы внешних линейных датчиков положения, по данным которых формируется сигнал о положении и ориентации платформы, таким образом создается «пространственный датчик положения».

Целью настоящего исследования является оценка точности алгоритмов управления гексаподом на основе данных внешней измерительной системы, а также оценка их реализуемости в макетном образце блока управления гексаподом. В работе рассмотрены задачи управления высокоточной платформой позиционирования и ориентации космического исполнения на базе гексапода с применением «пространственного датчика положения», основанного на решении прямой задачи кинематики по данным линейных датчиков. Разработана имитационная модель системы управления гексаподом. Рассмотрены два варианта систем управления гексаподом. Представлены результаты моделирования. Описан реализованный блок управления гексаподом. Представлена оценка реализуемости алгоритмов управления в системе на базе отечественного радиационно-стойкого микроконтроллера.

Результаты исследований используются в ходе проектирования гексапода в научно-исследовательской лаборатории «Робототехнические и мехатронные системы» БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

В будущем планируется развитие алгоритмического и программного обеспечения системы управления гексаподом в направлении реализации задач планирования траекторий, построения комплексной системы управления линейными шаговыми приводами и позиционированием и ориентацией гексапода, создания адаптивной системы управления для работы в условиях открытого космоса.

Y. A. Zhukov, E. B. Korotkov, N. S. Slobodzyan
**CONTROL OF HIGH-PRECISION SPACE APPLICATION SYSTEM
OF POSITIONING AND ORIENTATION ON THE BASIS OF
HEXAPODE WITH "THE SPATIAL SENSOR OF POSITION"**

*BALTIC STATE TECHNICAL UNIVERSITY «VOENMEH» named after
D.F. Ustinov, St. Petersburg
zhkv@rambler.ru*

BSTU "VOENMEH" named after D.F. Ustinov and JSC "ISS" named after Academician M.F. Reshetnev are working together to create a number of multi-step mechanisms with parallel kinematics to ensure the precise positioning and orientation of spaceborne instruments and devices.

To achieve high accuracy of hexapod control under extreme operating conditions, an approach based on the use of a system of external linear position sensors is proposed, according to which a signal of position and orientation of the platform is generated, thus creating a "spatial position sensor".

The purpose of this study is to evaluate the accuracy of the hexapod control algorithms based on the data of the external measuring system, as well as to assess its feasibility in the prototype of the hexapod control unit. The problems of control of space execution high-precision positioning and orientation system based on hexapod with the use of "spatial position sensor" (based on solving a direct kinematics problem) are considered. A simulation model of the hexapod control system has been developed. Two versions of hexapod control systems are considered. The results of modeling are presented. The implemented hexapod control unit is described. The evaluation of the feasibility of control algorithms in a system based on a radiation-resistant microcontroller is presented.

The results of the research are used in the development of hexapod in the research laboratory "Robotic and mechatronic systems" of BSTU "VOENMEH" DF. Ustinov.

*Е.С. Брискин, Н.Г. Шаронов, Я.В. Калинин, А.В. Малолетов,
В.А. Серов*

**ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ С
ДВИЖИТЕЛЯМИ, ДИСКРЕТНО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИМИ С
ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

*ВолгГТУ, г. Волгоград,
dtm@vstu.ru*

Рассматриваются движители: роторно-ортогональный движитель, заклинивающе-скользящий движитель, заклинивающе-поворотный движитель, якорно-тросовый движитель. Для каждого из них определены возможные области применения, поставлены наиболее актуальные задачи управления движением.

Для роторно-ортогонального движителя поставлена задача определения законов изменения длин кривошипов движителей. Для заклинивающе-скользящего движителя определены уравнения программного движения, обеспечивающего минимум энергозатрат. Для заклинивающе-поворотного движителя определена зависимость распорного усилия от внешних нагрузок. Для якорно-тросового движителя поставлена задача определения мест установки тросов и законов управления их движением.

E.S. Briskin, N.G. Sharonov, Ya.V. Kalinin, A.V. Maloletov, V.A. Serov
**ON THE FEATURES OF MOTION CONTROL OF MOBILE ROBOTS
WITH WALKING LOCOMOTOR OF DISCRETE INTERACTING
WITH THE SUPPORT SURFACE**

Volgograd State Technical University, Volgograd, dtm@vstu.ru

The some propulsion devices are considered: the rotary-orthogonal propulsion device, the wedging-sliding propulsion device, the wedging-rotary propulsion device, the cable-anchors propulsion device. For each of them, possible areas of application are defined, and the most urgent tasks of traffic control are set.

For the rotary-orthogonal propulsion device, the task is to determine the laws for changing the lengths of crankshafts of mechanisms. For a wedge-sliding propulsion device, equations of program motion that ensure a minimum of energy costs are defined. For the wedge-rotary propulsion device, the dependence of the spreading force on external loads is determined. For the cable-anchors propulsion device, the task is to determine the location of the cables and the laws governing their movement.

А.В. Борисов

**МОДЕЛЬ ЭКЗОСКЕЛЕТА СО ЗВЕНЬЯМИ ПЕРЕМЕННОЙ
ДЛИНЫ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ
СОСРЕДОТОЧЕННЫХ МАСС НА ЗВЕНЕ: ИССЛЕДОВАНИЕ
ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ МАСС НА ЕГО ДИНАМИКУ**

*филиал федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования «Национальный
исследовательский университет «МЭИ» в г. Смоленске г. Смоленск*

BorisowAndrej@yandex.ru

В статье описывается новая модель звена экзоскелета переменной длины в виде невесомого стержня и расположенных на нем сосредоточенных точечных масс. Количество и расположение точечных масс на стержне при аналитическом исследовании произвольно. Для численных расчетов берется конкретная модель с тремя точечными массами. Проводится исследования влияния расположения точечных масс на динамику экзоскелета. Установлены значительные изменения в управляющих моментах и продольных силах при изменении расположения сосредоточенных масс.

Ключевые слова: экзоскелет, звено переменной длины, сосредоточенные массы, продолжительность решения, дифференциальные уравнения движения, управляющие моменты, продольные силы.

A.V. Borisov

**THE MODEL OF THE EXOSKELETON WITH LINKS OF
VARIABLE LENGTH WITH AN ARBITRARY NUMBER OF
LUMPED MASSES ON THE LINK: STUDY OF THE INFLUENCE OF
THE LOCATION OF THE MASSES ON ITS DYNAMICS**

*The Branch of National Research University "Moscow Power Engineering
Institute" in Smolensk, Smolensk
BorisowAndrej@yandex.ru*

The article describes a new model of the link of the exoskeleton of variable length in the form of a weightless rod and concentrated point masses placed on it. During the analytical study, the number and position of point masses on the rod are arbitrary. Specific model with three point masses is taken for the numerical calculations. Study of the effect of location of point masses on the dynamics of the exoskeleton is made. Significant changes in control moments and longitudinal forces when you change the location of the concentrated masses are found.

Keywords: exoskeleton, link of variable length, concentrated masses, continuity of the solutions, differential equations of motion, control points, longitudinal force.

Д.А. Добрынин
**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ОБУЧАЕМОЙ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ЭКЗОСКЕЛЕТОМ**

*Федеральный исследовательский центр «Информатика и
управление» РАН, г. Москва
minirobot@yandex.ru*

В работе описаны основные принципы построения обучаемой системы управления активным экзоскелетом для медицинской реабилитации. Система управления построена с использованием динамического ДСМ-метода.

Ключевые слова: экзоскелет, система управления, ДСМ-метод, машинное обучение.

Экзоскелеты прочно входят в нашу жизнь и становятся важным инструментом, расширяющим возможности человека. Одной из важных задач является управление активным экзоскелетом для задач медицинской реабилитации. Следует отметить, что во многих случаях по естественным причинам человек в такой системе является чисто пассивным звеном, например, при атрофии нижних конечностей или недостаточной подвижности. Движение экзоскелета в таких случаях происходит самостоятельно, человек задает желаемый режим движения – встать, подойти, присесть и т.п. К системам такого типа относятся, например, экзоскелет компании REX Bionics из Новой Зеландии и экзоскелет ExoLite Юго-Западного государственного университета из г. Курск. Для эффективного использования подобных систем важно обеспечить плавность движения, безопасность и подстройку движений под каждого конкретного человека.

Эта задача может быть решена различными методами: от построения траектории математическими методами до различных методов искусственного интеллекта (ИИ). Так как активный экзоскелет является системой реального времени, то естественно, что при реализации предпочтение будет отдаваться методам, обладающим наименьшей вычислительной сложностью, при сохранении приемлемого качества управления. Одними из перспективных являются методы, основанные на обучении, позволяющие получить требуемый результат и обойтись без построения сложных математических моделей.

D.A. Dobrynin
**DESIGN OF LEARNING CONTROL SYSTEM FOR EXOSKELETON
CONTROL TASKS**

Federal research center "Information and control", Russian Academy of
Sciences
minirobot@yandex.ru

The paper describes the basic principles of learning management system for active exoskeleton for rehabilitation. Management system built using dynamic JSM-method.

Keywords: exoskeleton, management system, JSM-method, machine learning.

Now the exoskeletons are firmly part of our lives and become today an important tool to empower the humans. One of important objective is management of active exoskeleton for rehabilitation tasks. In many cases of natural reasons the human in this system is purely passive part, for example, in the case of atrophy of the lower extremities or the lack of mobility. In these cases the movement of the exoskeleton occurs independently. The man sets the desired mode of movement – stand up, come, sit down, etc. For example systems of this type are the exoskeleton company REX Bionics from New Zealand and the exoskeleton ExoLite South-West state University, Kursk, Russia. For effective use of such systems it is important to ensure smooth movement, safety and fine-tuning of the movements to each individual.

This problem can be solved by various methods: from constructing path by mathematical methods to a variety of artificial intelligence methods. Because the active exoskeleton is a real-time system it is natural that during the implementation, preference will be given to the methods with lower computational complexity and maintaining acceptable quality control. Among the most promising are the methods based on the learning. They are allowing you to get the desired result and to do without constructing complicated mathematical models.

С.В. Манько, С.А.К. Диане, В.М. Лохин, А.К. Новосельский
**ГРУППОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ РОБОТАМИ В ЗАДАЧАХ РАЗБОРА
ЗАВАЛОВ И ДЕМОНТАЖА ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

*Московский технологический университет МИРЭА, Москва,
cpd@mirea.ru*

Эффективность выполнения аварийных работ можно существенно повысить за счет применения автономных роботов и многоагентных робототехнических систем. В данной работе решаются вопросы организации группового управления роботами в задачах разбора завалов и демонтажа объектов атомной отрасли.

Один из очевидных подходов к планированию коллективных действий группы роботов предполагает анализ априорно-известной сценарной модели решаемой прикладной задачи с последовательно-параллельной очередностью выполнения необходимых операций, описываемых на уровне конечных автоматов. Однако, в ряде задач с неявно-заданным сценарием выполнения, подобная сценарная модель должна автоматически формироваться непосредственно в процессе решения задачи.

Разработанный алгоритм автоматического формирования сценария на основе анализа трехмерных сцен обрабатывает получаемое с 3D-сенсора облако точек для выявления структуры завала. Он основывается на кластерном анализе и позволяет не только различить отдельные объекты действий, но и установить очередность выполнения соответствующих технологических операций по их демонтажу и транспортировке.

В ходе экспериментов по моделированию группы роботов при выполнении задач с неявно-определенными сценариями рассматривались примеры, связанные с разбором завалов (при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций). Результаты моделирования полностью подтвердили эффективность предложенных моделей и алгоритмов планирования для координации и контроля целесообразных действий автономных роботов, функционирующих в составе объединенной группировки при выполнении многоэтапных прикладных задач с неявно-определенными сценариями.

S.V. Manko, S.A.K. Diane, V.M. Lokhin, A.K. Novoselsky
**ROBOTIC GROUP CONTROL FOR DEBRIS REMOVAL AND
CONSTRUCTION DISASSEMBLY IN THE ATOMIC INDUSTRY**

Moscow Technological University MIREA, Moscow, cpd@mirea.ru

Emergency operations efficiency can be greatly enhanced through the use of autonomous robots and multi-agent robotic systems. In this paper, we address issues of group control of robots in the problems of debris removal and disassembly of nuclear facilities.

One of the obvious approaches to planning collective actions of a group of robots involves an analysis of an a priori known scenario model of an applied problem with a sequentially parallel order of operations, which is described at the level of finite automata. However, in a number of problems with an implicitly specified execution script, such a scenario model should be automatically generated directly at the time of the problem solving process.

The presented algorithm of automatic creation of scripts based on the analysis of three-dimensional scenes processes the 3D sensor point cloud to identify the structure of the blockage. It is based on the cluster analysis and allows not only to distinguish individual target objects, but also to prioritize the implementation of appropriate technological operations for their removal and transportation.

In the experiments on modeling a group of robots for problems with implicitly defined scenarios, we considered several examples related to the removal of debris (in the aftermath of emergencies). The results of the experiments fully confirmed the effectiveness of the proposed models and algorithms for planning for coordination and control of the expedient actions of autonomous robots, which operate as part of a group to solve multi-stage problems with implicitly defined scenarios.

С.Р. Эприков, В.Е. Пряничников
**ТЕХНОЛОГИИ МНОГОАГЕНТНОГО ПРАВЛЕНИЯ
РОБОТАРИУМАМИ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ЯЧЕЙКАМИ С
ОДНОВРЕМЕННОЙ ИМУЛЯЦИЕЙ.**

*Международная лаборатория «Сенсорика», troksid@yandex.ru
МГТУ "Станкин", МИНОТ РГГУ, ИПМ им. М.В.Келдыша РАН,
Москва, v.e.pr@yandex.ru*

При разработке интеллектуальных роботов одной из проблем является отсутствие эффективного программного обеспечения для создания систем группового управления. Например, в известных программных пакетах (ROS, MRS и другие) не предусмотрены специальные средства разработки управления распределенными мехатронными системами, тем более, в дистанционном режиме. Они также обладают общим недостатком - неоправданно высокими затратами, связанными с установкой, обновлением и поддержанием работоспособности оборудования и работающего на нём программного окружения.

В данной работе представлены результаты разработки и тестирования новой программно-информационной платформы, позволяющей предоставлять пользователю унифицированный доступ к программной среде для управления различных роботов, включая оперативную и удаленную смену программ управления во время их функционирования. Это даёт следующие возможности: уменьшение затрат на создание программ управления; выполнение оперативных корректировок, в том числе непосредственно во время работы роботов; повышение эффективности использования разработанных технических средств для улучшения образовательных процессов у студентов робототехнических и IT- специальностей, увеличение коэффициента использования учебного оборудования за счет распараллеливания доступа к роботам.

Применение разработанных симуляторов-тренажеров, акторной модели к созданию информационно-технологической платформы для распределенного программного управления, обеспечили одновременный доступ нескольких пользователей к группе мобильных роботов и к их виртуальным моделям. Впервые в рамках единой программной платформы совмещено программирование и управление параллельно работающими виртуальными моделями мобильных роботов и их реальными прототипами. Платформа позволяет оперативно и дистанционно перепрограммировать системы, существенно уменьшить требования к уровню квалификации специалистов-разработчиков программного обеспечения, обеспечить возможность масштабирования

каждого компонента системы по физически распределенным компьютерам. Таким образом, существенно снижаются затраты на адаптацию программ под конкретные задачи, радикально упрощается разработка систем управления и интерфейсов пользователей.

Данный подход был опробован на мобильных роботах с разными кинематическими схемами, разными типами микропроцессорного управления и с применением датчиков, работающих на разных физических принципах. Тестирование проводилось на роботах АМУР-105, АМУР-107, трех роботах Robotino и двух малогабаритных мобильных роботах, размещенных в трех лабораториях-роботариумах, а также при одновременном запуске 80 виртуальных симуляторов, работающих в режиме реального времени. Эксперименты подтвердили все перечисленные преимущества.

Дальнейшие планы предусматривают расширение использования этих подходов для учебно-научных экспериментов и развития сети роботариумов, созданных МИНОТ РГГУ, кафедрой Сенсорных и управляющих систем МГТУ «СТАНКИН» (базовая кафедра при ИПМ им. М.В.Келдыша РАН) совместно с университетами России, Хорватии (Задарский университет) и Австрии (Венский технический университет), в том числе путем объединения с учебной сетью «Синергия» (проект концерна «Фесто»). Предусматривается также дальнейшее улучшение характеристик, встраиваемых в программную платформу физических движков, тестирование платформы при разработке системы управления производственными процессами со встроенными средствами логического контроля на примере автоматизации цеха, реализующего концепцию «Индустрии 4.0».

Ключевые слова: построение сети роботариумов, распределенное управление мобильными роботами и их симуляторами.

S.R. Eprikov, V.E. Pryanichnikov
**TECHNOLOGY OF MULTI-AGENT CONTROL OF ROBOTARIUM
AND PRODUCTION CELLS WITH SIMULTANEOUS SIMULATION.**

*International Laboratory «Sensorika», Moscow, troksid@yandex.ru
MSTU “Stankin”, INET RSUH, KIAM Russian Academy of sciences,
v.e.pr@yandex.ru,*

When developing intelligent robots, one of the problems is the lack of effective software to create systems of group control. For example, in the well-known software packages (ROS, MRS, and others) does not included specific development tools for control of distributed mechatronic systems, especially in remote mode. They also have a common disadvantage, that is the unreasonably high costs associated with installing, upgrading and maintaining equipment and working in this software environment.

This paper presents the results of the development and testing of the new software-information platform to provide the user with unified access to the software environment to control a variety of robots, including operational and remote changes of executing programs during their functioning. This enables the following: reducing the cost of setting up executing programs; implementation of operational adjustments during operation of the robots; improving the efficiency of the developed technical tools for teaching and learning processes of the students, specialised in robotics and IT- industry, by increasing the use of training equipment due to the paralleling of the access to it.

Developed simulators and usage of the actor model were the base for creating the technological platforms for distributed software control, providing the simultaneous access of several users to a group of mobile robots and their virtual models. It's the first time, then under a single software platform are combined programming and control in parallel of virtual models of mobile robots and their real prototypes. Platform allows you to quickly and remotely reprogram systems and significantly reduce requirements to the level of training of specialists-software developers, to ensure the scalability of each component system on physically distributed computers. Thus, significantly decrease the costs of adaptation programs for specific tasks, and radically simplifies development of control systems and user interfaces.

This approach was tested on mobile robots with different kinematic schemes, different types of microprocessor control with the use of sensors operating on different physical principles. Testing was conducted on robots: AMUR-105, AMUR-107, three Robotino robots and two small mobile robots, placed in three laboratories-robotariums, as well as the simultaneous launch with 80 virtual simulators, operating in real-time. The experiments confirm all these advantages.

Future plans include the expansion of the use of these approaches for teaching and scientific experiments and development of a network of robotarium created by MINOT Russian State University Humanitas, Chair of Sensory and control systems MGTU "STANKIN" (basic department with KIAM Russian Academy of Sciences) jointly with universities in Russia, Croatia (Zadar University) and Austria (Vienna technical University), including the association with the educational network "Synergy" (project of Concern "Festo"). It is also envisaged to improve further characteristics of embedded in the software platform physical engine, as well as the testing platform in the development of the system production processes with integrated logical control, for example, in automation workshop, implements the concept of "Industry 4.0".

Keywords: building a network of robotarium, distributed control of mobile robots and their simulation.

А.В. Назарова, Мэйсинь Чжэй
**РАСПРЕДЕЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ В МНОГОАГЕНТНОЙ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ**

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва
avn@bmstu.ru , 982696853@163.com

За последние два десятилетия, роль многоагентных систем (МАС) многократно возросла, особенно в контексте достижений в области искусственного интеллекта и распределенного решения задач. Часто выполнение сложных задач требует от агентов автономной работы без какого-либо вмешательства извне, что обуславливает высокую надежность и адаптивность подобных систем. В предложенной статье рассматриваются различные подходы к проблеме распределения задач между агентами с целью достижения оптимального результата при минимальных временных затратах и отсутствии конфликтов в системе.

В статье представлена классификация распределения задач по типу управления: централизованный, децентрализованный и гибридный. Затем рассматриваются различные подходы к распределению, такие, как роевой интеллект, включает в себя муравьиный алгоритм и алгоритм роя частиц, эволюционный метод, принципы рыночной экономики, так как протокол сети контракта, теория игр, алгоритм аукциона. В конце статьи делается сравнение между алгоритмами роя частиц и генетического алгоритма с помощью пакета MATLAB в случае статического распределения задач и между методами аукциона и теория игр в случае динамического распределения задач.

Разнообразные методы рассматриваются в данной статье, особенно теория игр. Теория игр, это раздел математики, связанный с изучением оптимальных стратегий в играх и предсказанием поведения участников игр. Под игрой понимается процесс, в котором участвуют две и более стороны, ведущие борьбу за реализацию своих интересов. Оптимальная стратегия имеет "равновесие Нэша", которое означает, что игрок всегда выбирает наилучший, с точки зрения полезности, ход в ответ на ход соперника.

В данной статье рассматриваются и сравниваются разные алгоритмы и методы распределения задач между агентами. Показаны централизованные и децентрализованные методы, децентрализованные методы намного лучше, чем централизованные. В конце статьи приведено несколько примеров распределения задач между агентами. И результат показан, что каждый метод имеет свои преимущества и не достатка, но в динамической среде децентрализованные методы более эффективные.

A.V. Nazarova, Meixin Zhai
**DISTRIBUTED PROBLEM SAEVING IN MULTI-AGENT ROBOTIC
SYSTEM**

Bauman Moscow State Technical University, Moscow
avn@bmstu.ru , 982696853@163.com

Over the past two decades, the role of multi-agent systems (MAS) has multiplied many times, especially in the context of advances in artificial intelligence and the solve of distributed problem. The execution of complex tasks often requires the agents to work autonomously without any outside interference, which causes high reliability and adaptability of such systems. In this article proposed various approaches to the problem of distribution of tasks among agents with the goal of achieving an optimal result with minimal time and no conflicts in the system.

The article presents a classification of the distribution of tasks by type of management: centralized, decentralized and hybrid. Then, different approaches to distribution of tasks among agents are considered, such as swarm intelligence, including the ant algorithm and the swarm algorithm, the evolutionary method, the principles of the market economy, for example, network protocol, game theory, auction algorithm. At the end of the article, a comparison is made between the swarm algorithms and the genetic algorithm using the MATLAB package in the case of static task distribution and between auction methods and game theory in the case of dynamic task distribution.

A variety of different methods is discussed in this article, especially game theory. Game theory is a branch of mathematics related to the study of optimal strategies in games and prediction of the behavior of participants in games. A game is understood as a process in which two or more parties participate in the struggle for the realization of their interests. The optimal strategy is the "Nash equilibrium", which means that the player always chooses the best, in terms of utility, course in response to the opponent's move.

We consider and compare different algorithms and methods for distributing tasks among agents. Centralized and decentralized methods are described in details; the result is showed that decentralized methods are much better than centralized ones. At the end of the article, several examples of the distribution of tasks between agents are given. The result shows that each method has its advantages and disadvantages, but in a dynamic environment, decentralized methods are more efficient.

Л.А. Мартынова, Г.В. Конюхов, И.В. Пашкевич, Н.Н. Рухлов
**МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ ПОДХОД К ГРУППОВОМУ УПРАВЛЕНИЮ
АНПА ПРИ ВЕДЕНИИ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ**

*АО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», Санкт-Петербург,
martynowa999@bk.ru, iv@bk.ru, kongyl@yandex.ru, ruhlov_nn@elprib.ru*

Рассматривается задача группового использования автономных необитаемых подводных аппаратов при ведении сейсморазведки в Арктическом шельфе. Отмечаются особенности управления аппаратами, связанные, во-первых, с необходимостью точного позиционирования каждого аппарата в момент прослушивания отраженных от толщи морского дна сигналов, создаваемых излучателем, и во время перемещения аппаратов к новому месту их дислокации, и во-вторых, с движением аппаратов, согласованным с движением излучателя. Для обеспечения столь сложного управления аппаратами в группе предлагается совместное использование мультиагентного подхода с элементами централизованного подхода к построению системы управления аппаратами. Такое решение создает определенную гибкость в распределении функциональных обязанностей между аппаратами и делает сейсморазведку более эффективной.

Ключевые слова

автономный необитаемый подводный аппарат, мультиагентный подход, система управления, морская сейсморазведка

L.A. Martynova, G.V. Konyukhov, I.V. Pashkevich, N.N. Rukhlov
**MULTI-AGENT APPROACH TO THE GROUP MANAGEMENT OF
AUV IN CONDUCTING SEISMIC EXAMINATION**

Concern CSRI Elektropribor

The problem of group use of autonomous underwater vehicles in the conduct of seismic prospecting in the Arctic shelf is considered. The peculiarities of the apparatus control are associated, firstly, with the necessity of precise positioning of each apparatus at the time of listening to the signals reflected from the seabed depth generated by the emitter and during the movement of the apparatus to a new location of their dislocation, and secondly, with the movement of apparatuses, Coordinated with the motion of the radiator. To provide such a complex control apparatus in the group, it is proposed to share the multi-agent approach with elements of a centralized approach to the construction of an apparatus control system. This solution creates a certain flexibility in the distribution of functional responsibilities between the devices and makes seismic exploration more efficient.

Keywords

autonomous underwater vehicle, multi-agent approach, control system, marine seismic survey

С. Л. Зенкевич, Хуа Чжу, Мэйсинь Чжэй
**УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТОВ В ГРУППЕ НА ОСНОВЕ
СГЛАЖИВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ**

*Научно-учебный центр «Робототехника» МГТУ им. Н. Э. Баумана,
Москва*

mr.zenkev@mail.ru , zhuhua1302@gmail.com , 982696853@163.com

В данной работе рассматривается движение группы мобильных роботов в строю типа “конвой”, при которых ведущий робот должен быть оснащен богатой сенсорной системой, позволяющей планировать траекторию в непредсказуемой обстановке, например, сканирующими лазерными дальномерами, системами спутниковой навигации, стереозрением, а ведомые роботы в этом случае должны только следить за положением своего ведущего робота. Цель данной работы состоит в управлении движением ведомым роботом в группе на основе сглаживания траектории своего ведущего робота, соответствующий которому данная работа состоит из двух частей: разработки закона управления движением ведомым роботом и разработки алгоритма сглаживания траектории.

Стратегия управления состоит в том, что каждый ведомый робот двигался по траектории, вдоль которой движется своего ведущего робота, с некоторым временным запаздыванием T , т.е. в выполнении соотношения:

$$\mathbf{x}_i(t) = \mathbf{x}_{i-1}(t - T)$$

где, $\mathbf{x}_i(t)$ представляет собой положение робота R_i в текущий момент, $\mathbf{x}_{i-1}(t - T)$ — положение робота R_{i-1} (ведущий робот для робота R_i) в момент времени $t - T$. Преимущество такого метода состоит в том, во-первых, расстояние между роботами является переменной, т.е. чем быстрее скорости движения конвоя, тем больше расстояние между роботами, а параметр управления T является постоянным; во-вторых, при проходе через узкую область ведомый робот успешно обходит препятствие, который уже обходит его ведущий робот. Разработанный закон управления основан на данной стратегии.

Алгоритма сглаживания траектории с постоянным запаздыванием состоит в том, чтобы определить оценки положения робота в каждый момент времени $t - T$ с учетом всего массива измерительной информации, полученный до момента время t , тем самым используя в соответствующем алгоритме как «прошлые», так и «будущие» измерения. Уравнение сглаживания, построенное на основе методов рекуррентной фильтрации, имеет вид:

$$\hat{\mathbf{x}}(\tau|t) = \Phi(\tau, t)\hat{\mathbf{x}}(t)$$

где $\hat{\mathbf{x}}(t)$ — оценка, полученная в результате применения метода теории рекуррентной фильтрации Калмана, $\Phi(\tau, t)$ — фундаментальная матрица системы $\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}(t)\mathbf{x}(t)$, решений поиск которой представляет

некоторую проблему, особенно для нестационарных систем. В работе предложен способ, позволяющий избежать построение фундаментальной матрицы, т.е. использование некоторых свойств фундаментальной матриц:

$$\frac{\partial \Phi(\tau, t)}{\partial \tau} = \mathbf{A}(\tau) \Phi(\tau, t) \quad \frac{\partial \Phi(\tau, t)}{\partial t} = -\Phi(\tau, t) \mathbf{A}(t)$$

С использованием предложенного алгоритма процесс вычисления оценки сглаживания с постоянным запаздыванием был так: по поступающим зашумленным измерениям параллельно проводятся процессы фильтрации и сглаживания, в том числе, вычисления оценки сглаживания зависит от значений, полученных в процессе фильтрации.

Серия проведенных вычислительных экспериментов подтвердили работоспособность предложенного закона управления, а также алгоритма сглаживания с постоянным запаздыванием.

S. L. Zenkevich, Hua Zhu, Meixin Zhai

THE MOVEMENT CONTROL OF ROBOTS IN A GROUP BASED ON THE SMOOTHING TRAJECTORY

Robotics Training-Research Center, Bauman Moscow State Technical University, Moscow

mr.zenkev@mail.ru , zhuhua1302@gmail.com , 982696853@163.com

In this paper, we consider the movements of a group of mobile robots in the convoy type, in which the leading robot should be equipped with a rich sensor system that allows planning the trajectory in an unpredictable environment, for example, with scanning laser rangefinders, satellite navigation systems, stereo vision, and the slave robots in that case should only follow the position of its leading robot. The purpose of this work is to control the movement of the slave robot in a group based on the smoothing trajectory of its leading robot, corresponding to which this work consists of two parts: the development of the motion control law for the slave robot and the development of the algorithm for smoothing the trajectory.

The control strategy is that each slave robot moved along the trajectory along which its leading robot moves, with some time lag T , that is to say, the following relations are satisfied:

$$\mathbf{x}_i(t) = \mathbf{x}_{i-1}(t - T)$$

Where, $\mathbf{x}_i(t)$ is the position of the robot R_i at the current moment, $\mathbf{x}_{i-1}(t - T)$ is the position of the robot R_{i-1} (the master robot for the robot R_i) at time $t-T$. The advantage of this method is, first, the distance between the robots is variable, i.e. the faster the convoy's speed, the greater the distance between the robots, in the same time the control parameter T is constant; Secondly, when

passing through a narrow area, the slave robot successfully bypasses an obstacle that already bypasses its leading robot. The developed control law is based on this strategy.

The fixed-lag smoothing algorithm is to determine the position estimates of the robot at each instant of time $t-T$ taking into account the entire array of measurement information obtained before the time t , thereby using in the corresponding algorithm both "past" and "future" measurements. The smoothing equation, constructed on the basis of recurrent filtering methods, has the form:

$$\hat{\mathbf{x}}(\tau|t) = \mathbf{\Phi}(\tau, t)\hat{\mathbf{x}}(t)$$

Where $\hat{\mathbf{x}}(t)$ is the obtained estimate as a result of applying the Kalman filtering algorithm, $\mathbf{\Phi}(\tau, t)$ is the state-transition matrix of the system $\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}(t)\mathbf{x}(t)$, the solution of which is a problem, especially for non-stationary systems. In this paper, a method is proposed that makes it possible to avoid constructing a state-transition matrix, i.e. use of some properties of state-transition matrix:

$$\frac{\partial \mathbf{\Phi}(\tau, t)}{\partial \tau} = \mathbf{A}(\tau)\mathbf{\Phi}(\tau, t) \quad \frac{\partial \mathbf{\Phi}(\tau, t)}{\partial t} = -\mathbf{\Phi}(\tau, t)\mathbf{A}(t)$$

Using the proposed algorithm, the process of calculating the fixed-lag smoothed estimation was as follows: on the incoming noisy measurements, the filtering and smoothing processes are carried out in parallel, and the calculation of the smoothed estimation depends on the values obtained during the filtering process.

A series of computational experiments confirmed the operability of the proposed control law, as well as the fixed-lag smoothing algorithm.

*В.Г. Градецкий¹, И.Л. Ермолов¹, М.М. Князьков¹, Е.А. Семёнов¹,
С.А. Собольников², А.Н. Суханов¹*
**ОСОБЕННОСТИ ГРУППОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РОБОТОВ,
ОСНАЩЕННЫХ ДВИЖИТЕЛЯМИ ВЫСОКОЙ ПРОХОДИМОСТИ,
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЕДИНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ.**

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

*²ФГУП "ВНИИА", Москва,
sobolnikov@gmail.com*

В работе рассматривается математическая модель группы роботов, выполняющих задачу групповой транспортировки груза, которая использует метод мгновенных центров скоростей и позволяет на основании целевой траектории движения груза определить целевые траектории движения роботов, а также требуемые скорости вращения колёс роботов.

Предложена математическая модель одного робота, действующего в группе, выполняющего транспортную задачу на пересечённой местности с переменным грунтом, которая учитывает распределение транспортной нагрузки на робот в зависимости от расположения центра масс груза относительно робота, особенности грунта и местности, по которым перемещается робот, а также параметры заданной траектории.

Рассмотрен метод управления единичным роботом и группой роботов с колёсным шасси, перемещающимися по пересечённой местности с различными сцепными свойствами грунта. Метод использует коррекцию с применением обратной связи по силе (при жёсткой сцепке) или обратной связи по отклонению точки крепления груза от номинальной (при нежёсткой сцепке).

Предложена обобщённая структурно-функциональная модель системы группового управления для выполнения транспортных задач. В модель входят функциональные компоненты: декомпозиция общей групповой задачи, распределение подзадач между роботами группы, кластеризация, организация планирования действий каждого робота, управление движением РТК согласно выработанному плану. Описаны элементы модели и связи между ними. Также рассмотрена специализированная структурно-функциональная модель системы группового управления для выполнения транспортных задач.

Для решения проблем, возникающих во время движения роботов в группе, предложен новый движитель колёсного типа с изменяемой геометрией. Каждое колесо робота способно изменять конфигурацию при критических изменениях сцепления колеса с грунтом.

Работа поддержана грантом РФФИ №16-29-04199 офи_м

*V.G. Gradetsky¹, I.L. Ermolov¹, M.M. Knyazkov¹, E.A. Semenov¹,
S.A. Sobolnikov², A.N. Sukhanov¹*
**INTERACTION PECULIARITIES FOR COMMON
TRANSPORTATION TASK WITHIN A GROUP OF UGVs EQUIPPED
WITH HIGH PASSABILITY MOVERS.**

*¹IPM RAS, Moscow,
ermolov@ipmnet.ru*

*²FSUE VNIIA, Moscow,
sobolnikov@gmail.com*

Mathematical model of UGVs performing transportation task within a group was designed. It uses Instantaneous Velocity Centre technique. This allows defining target trajectories for UGVs and for their wheels via trajectory definition of the load.

Another mathematical model was created for a single UGV performing transportation task under varying load and over undefined cross-country terrain. This model considers load distribution on UGV's hull, terrain and soil type and also target trajectory.

Control techniques for a single UGV and for a group of UGVs (wheel-based) moving on cross-country terrain with various soil conditions were developed. This method uses force-based feedback correction (in case of rigid hitch) and load deviation-based feedback (in case of non-rigid hitch). A generalized function-based structural model for transportation task performing by group of UGVs was developed. It consists of following basic components: task decomposition for the group, task distribution within group, clusterization, task planning for each UGV, UGVs' motion control according to planned mission. Elements and links of the model are described and considered. This model will be used to develop software for a transportation task performed by a group of UGVs. A specialized function-based structural model for transportation task was obtained.

To solve the problem of moving in undefined environment with obstacles a new type of mover was proposed. It is based on wheel's geometry shifting. Every UGV's wheel has the ability of controlled geometry shifting under changing of the soil's adhesive conditions.

С.Л. Герасюто, И. В. Подмазов, Г.А. Прокопович, В.А. Сычѐв
МУЛЬТИКАМЕРНАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ
СФЕРИЧЕСКОГО РОБОТА

*Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,
лаборатория робототехники, Минск,*

*contacts@robotics.by, podmazov@gmail.com,
rprakovich@robotics.by, vsychyov@robotics.by*

В статье исследованы аспекты работы оптической мультикамерной системы технического зрения для сферического робота типа в задаче дистанционного управления роботом. Предложен один из возможных вариантов программно-аппаратного решения для запатентованной авторами конструкции робота-шара (патент Российской Федерации № RU2600043C2).

Ключевые слова: мультикамерное техническое зрение, сферический робот, шивание изображений в панораму, устройства отображения виртуальной реальности, механизм параллельной структуры.

S.L. Gerasuto, I.V. Podmazov, G.A. Prokopovich, V.A. Sychev
MULTI-CAMERA VISION SYSTEM FOR A SPHERICAL ROBOT

United Institute of Informatics Problems, Minsk, Republic of Belarus

*contacts@robotics.by, podmazov@gmail.com,
rprakovich@robotics.by, vsychyov@robotics.by*

The aspects of the operation of an optical multi-camera system of technical vision for a spherical robot in the problem of remote control of a robot are studied in the article. One of the possible variants of the software-hardware solution for the robot-ball design patented by the authors is proposed (patent of the Russian Federation No. RU2600043C2).

Multi-camera technical vision, spherical robot, stitching images into the panorama, virtual reality display devices, parallel structure mechanism.

Г.А. Прокопович, В.А. Сычёв
**РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ МЕХАТРОННЫХ БОРТОВЫХ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ
ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ МИКРОРОБОТАМИ**
**/ MECHATRONIC ONBOARD COMPUTATION SYSTEM
CONCEPTUALIZATION FOR GROUP CONTROL OF
MICROROBOTS**

*Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси,
Минск,
rprakovich@robotics.by, vsychyov@robotics.by*

G.A. Prokopovich, V.A. Sychev
**MECHATRONIC ONBOARD COMPUTATION SYSTEM
CONCEPTUALIZATION FOR GROUP CONTROL OF
MICROROBOTS**

United Institute of Informatics Problems, Minsk, Republic of Belarus

В последнее время широкое распространение получила концепция «система на кристалле» (*англ.* - System on chip – SoC). Основные элементы вычислительного устройства – процессор, память, специализированные контроллеры, и пр. изготавливаются в виде интегральной микросхемы. Закономерным развитием данной концепции должно стать появление «роботов на кристалле», которое откроет новые возможности в развитии робототехники.

1) Создание «умной пыли» - микроботов для на массового производства и группового выполнения задач мониторинга на больших площадях, а также в зданиях и сооружениях. Так как эффективность централизованного управления группой роботов падает с ростом числа роботов в группе [1], приоритетной является разработка роботов, ориентированных на децентрализованное управление.

2) Разработка массовых и компактных роботов на основе новых типов передвижения, таких как робот-шар, требующих больших объёмов вычислений, либо большой скорости обработки сенсорной информации.

3) Появление разнообразных медицинских микроботов.

4) Повышение уровня образовательных услуг благодаря развитию возможностей прототипирования робототехнических устройств

Система «робот на кристалле» может совмещать в себе такие технологии, как:

1) MEMS-сенсоры и MEMS-актуаторы. Существующие MEMS-технологии позволяют реализовать эффективную навигацию роботов [2].

2) Приёмно-передающие радиосистемы, в т.ч. радары. Существующие радиопередающие системы, реализованные на одном кристалле, страдают от влияния радиоизлучения антенны, однако ведущиеся в данный момент разработки позволят преодолеть этот недостаток и разместить электронные системы на одном кристалле с антенной.

3) Аналоговые и аналого-цифровые (гибридные), вычислительные устройства.

Миниатюризация роботов делает невозможным применение в качестве бортовой системы управления существующих вычислительных устройств, и побуждает к разработке новых бортовых вычислителей, отличных от фоннеймановской или гарвардской архитектуры. Примером таких систем может служить хаотический процессор [3-5]. Робототехнические шасси любых типов, в том числе и роботы-шары, требуют для управления решения таких задач как интегрирование, дифференцирование, вычисление тригонометрических функций. Аналоговые вычислительные устройства, реализованные по современным технологическим процессам, позволяют выполнять перечисленные операции с удовлетворительной точностью и быстротой, оставаясь технологически проще современных микропроцессоров и программируемой логики. Таким образом, в самое ближайшее время ожидается появление микророботов на совершенно новой аппаратной базе, которые при помощи групповых стратегий будут способны решать задачи мониторинга сложной местности.

1. Прокопович, Г. А. Особенности масштабирования многоагентных систем на примере централизованного и децентрализованного алгоритмов управления группой малогабаритных мобильных роботов / Г. А. Прокопович // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2016. – Том 14, №11. – С. 41-48.

2. Герасюто С.Л. Построение навигационной карты внутри помещений по величине магнитного поля земли темс сенсором мобильного робота /С.Л. Герасюто, Г.А. Прокопович, В.А. Сычѳв // Робототехника и техническая кибернетика. – 2014. - №3(4). – С.53-56.

3. Андреев, Ю.В., Дмитриев, А.С., Куминов, Д.А. Хаотические процессоры / Ю.В. Андреев и др. // Успехи современной радиоэлектроники. – 1997. – №10. – с.50-79.

4. Прокопович, Г.А. Нейросетевая модель для реализации поисковых движений мобильного робота / Г.А. Прокопович // ОСТИС: мат. III Междунар. науч.-техн. конф. / редкол. : В.В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУИР, 2013 г. – С. 483-488.

5. Прокопович, Г.А. Применение гетероассоциативных нейронных сетей для записи и восстановления информации / Г.А. Прокопович // Информатика. – 2012. – № 2(34). - С. 38-49.

***С.Н. Шилаев, А.С. Шилаев, А.А. Жуков, Р.Н. Закиров, В.Г. Градецкий,
Н.Н. Болотник***
**КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОРОБОТОМ
КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

***Shilayev S.N., Shilayev A.S., Zhukov A.A., Zakirov R.N., Gradetsky
V.G., Градецкий В.Г., Болотник Н.Н.***
**CONCEPT OF A CONTROL SYSTEM OF THE MICROROBOT FOR
SPACE APPLICATION**

ИПМех РАН, г. Москва, e-mail; zhukov@mail.ru

Шагающие микророботы космического назначения призваны решать следующие задачи: инспекция труднодоступных областей КА (космического аппарата) (как внутри аппарата, так и в открытом космосе); удаленное наблюдение; выполнение напланетных миссий в части перемещения по поверхности планет и сбора грунта; манипулирование микрообъектами в исследовательских целях; обеспечение позиционирования и контроля позиционирования модулей КА. Одним из вариантов реализации шагающего микроробота космического назначения является применение термомеханических актюаторов в качестве исполнительных компонентов, которыми снабжена перемещаемая платформа [1, 2]. Создание шагающего микроробота космического назначения неизбежно упирается в задачу реализации одного из основных компонентов – служебной системы управления.

Цель работы – оценка возможности создания системы управления шагающего микроробота космического назначения.

К требованиям, предъявляемым к системе управления, относят требования к электронным блокам, выполненным на основе отечественных или зарубежных электронных компонентов. Схема управления должна быть автономной, неремонтопригодной, стойкой к воздействию тяжелых заряженных частиц, сохранять работоспособность в диапазоне температур от – 150 до + 150 °С при радиационной стойкости не хуже 100 крад и времени работы не менее 15 лет, быть устойчивой к воздействию атомарного кислорода в открытом космосе на низких орбитах. Концептуально система управления состоит из ряда функциональных блоков: центрального процессора, датчиков условий эксплуатации, драйверов управления исполнительными устройствами, непосредственно исполнительных устройств (актюаторов), датчико-преобразующей аппаратуры (ДПА). Микросхему управления (ЦП), ДПА и драйверы управления необходимо выполнять в одном кристалле. Поскольку микроробот представляет собой кремниевый кристалл со сформированными методами тонкопленочной микротехнологии

«конечностями» – актюаторами, способными зацепляться за конструктивные части космического аппарата, логично сформировать микроробот в виде системы на кристалле, т.е. конструктивно систему управления предлагается совместить с кремниевом «телом» микроробота с применением микротехнологий [3]. Таким образом, исполнительные компоненты – «ноги» – должны управляться непосредственно от чипа. Оценка массогабаритных характеристик показывает, что в интегральном исполнении вес микроробота с системой управления будет составлять приблизительно 30 г для рабочего образца. В связи с комплексным характером задачи создания микроробота, которую невозможно решить силами одного предприятия, для реализации системы управления предлагаются следующие этапы: определение состава соисполнителей, отработка отдельных узлов макета, реализация действующего макета, реализация микросистемы – интегральной схемы системы управления, совмещенной с исполнительными элементами (актюаторами).

Работа выполнена при частичной поддержке Российского научного фонда в рамках проекта РНФ №14-19-00949.

Литература

1. N. N. Bolotnik, V. G. Gradetsky, A. A. Zhukov, D. V. Kozlov, I. P. Smirnov, V. G. Chashchukhin. Mobile Microrobotics for Space Exploration: The State-of-the-Art and Prospects. CLAWAR-2016. 19 th International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines. London, UK, 12 – 14 September 2016. Advances in Cooperative Robotics. World Science Publishing Co. R. Wahab (ed:). Singapore. 2017. P.739-746
2. И.П.Смирнов, Д.В. Козлов, А.А. Жуков, В.Г.Чашухин, В.Г. Градецкий, Н.Н.Болотник. Микросистемный космический робот-инспектор (варианты). Патент РФ 2 566 454.
3. Ф.Л.Черноусько, И.П.Смирнов, Д.В. Козлов, А.А. Жуков, В.Г.Чашухин, В.Г. Градецкий, Н.Н.Болотник, Г.В.Самохвалов. Мобильный микроробот. Полезная модель к патенту 154 708.

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ РТК / CONSTRUCTIVE DECISIONS AND APPLICATIONS OF ROBOTIC SYSTEMS

М.И. Маленков, В.А. Волков, Н.К. Гусева, Д.Н. Кузьменко, Е.А. Лазарев
**РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТНО-КОМПОНОВОЧНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ХОДОВЫХ КАЧЕСТВ
ПЛАНЕТОХОДОВ***

*АО Научно-технический центр «РОКАД», Санкт-Петербург
info@rocad.ru*

В докладе обобщаются результаты прикладных проектно – компоновочных исследований, выполненных АО НТЦ «РОКАД» в кооперации с ГНЦ РФ ЦНИИ РТК (индустриальный партнер) в рамках проекта № 14.576.21.0050, Минобрнауки (идентификационный номер RFMEFI57614X0050) в 2015 -2016 г. Главной целью проекта являлась разработка проектного облика и алгоритмов управления систем передвижения (СП) и навигации, а также манипуляционной системы «Помощников космонавта» (ПК) - планетоходов нового поколения.

При проведении исследований учитывались проектные характеристики всех остальных бортовых систем планетоходов – коммуникации, энергопитания, технического зрения, терморегулирования и управления, а также характеристики научного оборудования, предназначенного для проведения контактных исследований на исследуемой поверхности. Оптимизация технических решений и характеристик выполнена на основе задела, полученного при создании советских луноходов и ходовых макетов планетоходов для отечественных и международных лунных и марсианских программ XX века. Учтен также, опубликованный авторами опыт проектирования и эксплуатации американских марсоходов XXI века.

Высокие проектные ходовые качества планетоходов обеспечиваются применением в составе четырех колесной СП (номинальная колесная база 1,45 м, колея 1,0 м, диаметр колеса 0,4 м, регулируемый клиренс 0,209 м – 0,529 м), универсальной для эксплуатации на Луне и Марсе, новых схем балансирных (пассивных) подвесок и колесно - шагающего движителя (КШД). Помимо реализации режима колесного шагания, обеспечивающего преодоление подъемов 30° - 32° на слабо связных грунтах, схема КШД

* Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки: проект № 14.576.21.0050, идентификационный номер RFMEFI57614X0050 /
This work was supported by the Ministry of Education and Science: Project No. 14.576.21.0050, identification number RFMEFI57614X0050 /

позволяет обеспечить индивидуальное регулирование по вертикали относительного положения каждого колеса при движении в колесном режиме (активная подвеска). Хода активной и пассивной подвесок обеспечивают преодоление препятствий высотой до 0,5 м. При этом пассивная подвеска обеспечивает, без подключения механизмов шагания, постоянный контакт всех четырех ходовых колес с грунтом при движении по неровной трассе с высотой неровностей в пределах ± 180 мм, а также при преодолении одним колесом одиночных препятствий высотой до 360 мм на ровной площадке. Двухступенчатые автоматические коробки передач мотор – колес, в сочетании с регулированием скорости вращения бесконтактных тяговых электродвигателей, обеспечивают движение на второй передаче со скоростью до 1,5 км/час на спокойном рельефе с углами подъема не более $7^\circ - 10^\circ$. Более чем трехкратное увеличение динамического фактора на первой передаче позволяет планетоходу преодолевать подъемы до $25^\circ - 27^\circ$ на связном грунте со скоростью до 0,4 км/час. Скорость в режиме колесного шагания при преодолении подъемов до 32° на связном и сыпучем грунтах составляет 0,025 км/час.

Повышение качества навигации обеспечивается установкой двух однотипных монохромных пар навигационных камер на носу и на корме планетохода. В сочетании с симметричной схемой опорного четырехугольника относительно проекции центра масс на опорную поверхность, это решение позволяет обеспечить равноценность прямого хода и реверса как по ходовым качествам, так и по условиям обзора местности в направлении движения. Режим непрерывного контроля фактического пути позволяет реализацию автоматических алгоритмов аварийной остановки планетохода при превышении максимально допустимого коэффициента буксования. Это исключает характерные для американских марсоходов ситуации с зарыванием колес в мягком грунте до полной остановки движения и дополнительное маневрирование при движении задним ходом для улучшения обзора местности в направлении движения передними навигационными камерами.

Разработана полная 3D модель универсального СП массой 110 кг, что всего на 5 кг превышает массу самоходного шасси «Лунохода-1». При этом полные проектная масса ПК (760 кг) и масса «Лунохода-1» (756 кг) практически совпадают при существенно более высоких проектных показателях. Полная масса марсохода с проектной СП может составлять не менее 325 кг.

M.I. Malenkov, V.A. Volov, N.K. Guseva, D.N. Kuzmenko, E.A. Lazarev
**THE RESULTS OF THE DESIGN&LAYOUT RESEARCHES AIMED AT
THE IMPROVEMENT OF THE TRAVERSABILITY OF THE
PLANETARY ROVERS ***

*JCS Scientific-Technical Center «ROCAD»
info@rocad.ru*

The paper presents the results of the applied design&layout researches, carried out by JSC STC “ROCAD” in cooperation with GSC RF RTC (industrial partner) in the frame of a project № 14.576.21.0050 of Russian Ministry of Education and Science (identification number RFMEFI57614X0050) in 2015 - 2016. The main purpose of the project was the development of the concept and the control algorithms of the locomotion systems (LS) and navigation and also a manipulating system for the “Astronaut Assistants” (AA) – the new generation of the planetary rovers.

During the researches the designed parameters of the all on-board systems of the planetary rovers were taken into account – communication, power supply, machine vision, thermal control, as well as the parameters of the scientific equipment, intended for the contact investigations of the explored surface. The optimization of the technical solutions and parameters was implemented based on the background, obtained at the development of the Soviet Moon Rovers and planetary rover mock-ups for national and international Moon and Martian missions of XX century. The practice of the development and operation of the American Mars rovers in this century, published by the authors, was also considered.

High designed traversability parameters of the planetary rovers are ensured by the usage in a four-wheel LS (nominal wheelbase 1,45 m, track -1 m, wheel diameter 0,4 m, adjustable clearance 0,209-0,529 m), that is suitable for the operation both on Moon and Mars, new concepts of the balancing (passive) suspensions and a wheel-walking propulsors (WWP). Besides the implementation of the wheel walking mode, which allows to negotiate low cohesion soils slopes of 30° - 32°, the WWP concept provides individual vertical adjustment of each wheel in the wheel mode (active suspension). The stroke of the active and passive suspension allows to overcome the obstacles with height up to 0,5 m. The passive suspension ensures, without engaging the walking mechanisms, permanent contact of all four wheels with the soil when moving

* Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки: проект № 14.576.21.0050, идентификационный номер RFMEFI57614X0050 /
This work was supported by the Ministry of Education and Science: Project No. 14.576.21.0050, identification number RFMEFI57614X0050 /

over uneven surface with unevenness up to ± 180 mm and, when moving over an even surface, negotiating by a wheel of an obstacle with height up to 360 mm. Two-speed gearboxes in the motorized wheels with speed-variable brushless electric motors provide second gear speed up to 1,5 km/h in a smooth relief with slope angles not more than $7^\circ - 10^\circ$. More than triple increase of the tractive force in first gear enables the planetary rover to overcome the slopes up to $25^\circ - 27^\circ$ on cohesive soils with speed up to 0,4 km/h. The speed in the wheel-walking mode when negotiating the slopes up to 32° on cohesive and loose soils is 0,025 km/h.

The improvement of the navigation quality is ensured by mounting two, of the same type, pairs of the monochromatic navigation cameras at the front and at the rear of the planetary rover. In conjunction with the symmetric layout of the bearing rectangle relative to the position of the Centre of Mass, this solution provides the equity of the forward and reverse driving capabilities in terms of traversability and landscape viewing conditions in the direction of the locomotion. A mode of continuous monitoring of actually covered distance allows to implement the automatic algorithms of the emergency stop of the planetary rover in case of achieving the maximum allowed slippage of the wheels. This will exclude the typical situations occurred with American Mars rovers when the wheels have been digging into the soft soil until complete rover stop and additional maneuverings when moving in reverse, caused by the necessity to improve the viewing of the environment in the direction of locomotion using front navigational cameras.

A complete 3D model of universal LS with mass 110 kg has been developed. This mass exceeds by only 5 kg the mass of the "Lunokhod-1" LS. At the same time, the design mass of the AA ((760 kg) and mass of the "Lunokhod-1" are nearly the same, while the designed performance parameters of the AA are considerably higher. Total mass of a Mars rover

И.В. Рядчиков, Е.В. Никульчев, С.И. Сеченев, С.Г. Сеница, А.В. Большаков, А. А. Фешин, А.М. Алотаки, А.Н. Смирнов, П.П. Волкодав
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ
САМОСТАБИЛИЗИРУЮЩЕГО ШАГАЮЩЕГО РОБОТА
ANYWALKER²

*Кубанский государственный университет, г. Краснодар,
Московский технологический институт, г. Москва, nikulchev@mail.ru*

***I.V. Ryadchikov, E.V. Nikulchev, S.I. Sechenev, S.G. Sinitza, A.V. Bolshakov,
A.A. Feshin, A.M. Alotaki, A.N. Smirnov, P.P. Volkodav***
DESIGN AND CONTROL OF SELF-STABILIZING ANGULAR
ROBOTICS ANYWALKER

Kuban State University, Krasnodar, Moscow Technological Institute

Значительное количество перемещающихся транспортных робототехнических комплексов имеют колесный или гусеничный ход. Однако ограничение, накладываемое на преодоление препятствий колесными роботами, напрямую зависит от диаметра колеса. В то время как шагающие роботы могут преодолевать препятствия и ограничены длиной ноги. Шагающие роботы были использованы при исследовании удаленных мест, исследования морского дна и планет, на атомных электростанциях, а также в спасательных операциях. Помимо этого транспортные средства с шагающим принципом могут использоваться, например, при сборе материалов, при перевозке грузов, в качестве сервисных роботов, для перемещения в труднодоступные участки производств и магистральных трубопроводов. Еще одно важное преимущество шагающих роботов заключается в преодолении крутых углов при сохранении устойчивости. Несмотря на широкий спектр применения, многие задачи остаются не решенными, что затрудняет широкое применение шагающих роботов. К недостаткам относятся высокая сложность управления и стабилизации, стоимость, низкая энергоэффективность и относительно низкая скорость.

Доклад посвящен проектированию шагающего робота, программно-аппаратному обеспечению, принципов управления разработанного мобильного робота AnyWalker. В представляемой конструкции ставилась задача проектирования робота в легко управляемой

² Работа выполнена в рамках госзадания Министерства образования и науки, проект № 8.2321.2017/ЛЧ «Разработка и адаптация систем управления компенсацией динамических отклоняющих воздействий на мобильные объекты, находящиеся в состоянии динамического равновесия»

самостабилизируемой платформе, с большим диапазоном проходимости. Решение этих задач обеспечено конструкцией корпуса, позволяющей осуществлять быстродействующую стабилизацию, а также оригинальной схемой шасси, направленной на преодоление препятствий.

В качестве корпуса, как стабилизирующегося центра масс, выбрана сфера диаметром 0.4 м. Стабилизация положения тела осуществляется за счет силовой компенсации отклоняющих воздействий. В конструкцию устройства входят два маховика, приводы маховиков, блок управления, датчики положения тела, датчики угловой скорости маховиков и источник электропитания. Оба маховика находятся внутри стабилизируемого тела. При этом центры масс маховиков совпадают, а их оси вращения пересекаются. Внешние воздействия регистрируются датчиками положения тела и передаются на блок управления, посылающий соответствующий сигнал на приводы маховиков и тем самым приводящий их в движение. Момент инерции вращающихся маховиков компенсирует отклонения, вызываемые внешними воздействиями, стабилизируя положение тела в пространстве.

Реализована кинематическая схема со специально разработанными шасси, причем каждая из ног робота содержит верхнее звено для опоры объемного тела через первый шарнир, и нижнее звено для опоры верхнего звена через второй шарнир, а также ступни, подвижно соединенные с каждым нижним звеном через третий шарнир. Верхнее звено состоит из двух частей — соединенных друг с другом через четвертый шарнир, причем первая часть верхнего звена тела через первый шарнир соединена с объемным телом, а вторая часть верхнего звена через второй шарнир соединена с нижним звеном, при этом в положении робота стоя на двух ногах, четвертый шарнир каждой ноги робота расположен выше первого, второго и третьего шарниров

Расчетная скорость перемещения платформы с габаритами корпуса, укладываемого в сферу 40 см, по горизонтальной, в среднем, поверхности, в режиме шага составит 5 км/час, а в режиме качения на корпусе с поднятыми манипуляторами до 15 км/ч, сможет автономно функционировать в течение 24 часов в режиме трансляции видео, активного управления и перемещения по местности средней пересеченности, нести 3,8 кг полезной нагрузки.

Разработанная роботизированная платформа демонстрирует высокую энергоэффективность, в сравнении с другими конструкциями шагающих роботов. Разработанный шагающий робот AnyWalker является примером сервисного мобильного устройства, способного справиться с неизвестной местностью, надежно и гибко перемещаясь по пути.

Шагающие роботы предназначены для преодоления препятствий при перемещении. Разработан шагающий робот AnyWalker, в конструкции

которого решена задача самостабилизации центра масса, разработаны специального вида шасси, обеспечивающие перемещение по высокой проходимости. В докладе приведены результаты проектирования и управления роботом, архитектура программного комплекса, обеспечивающего управление и масштабирование аппаратной платформы.

Ключевые слова: шагающие роботы, самостабилизация платформы, устойчивость динамических систем, шасси робототехнических комплексов.

*А. Е. Гаврилов, А. В. Леонард, О. А. Мишустин, Д. М. Селюнин,
С. Б. Хантимилова*
**УНИВЕРСАЛЬНАЯ ШАГАЮЩАЯ ИНСЕКТОМОРФНАЯ
ПЛАТФОРМА³**

*Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ),
Волгоград
krobotechvlg@gmail.com*

Разработка и внедрение мобильных роботизированных систем для реализации различных сложных задач становится приоритетным направлением развития. Роботы с шагающими движителями имеют высокие возможности по адаптации к окружающей среде, большую профильную проходимость, а также маневренность, допускающую в большинстве случаев перемещение в произвольном направлении. Робототехническая платформа с шагающим движителем способна осуществлять разворот на месте, имеет возможность проводить работы на неустойчивых грунтах и стабилизировать свое положение по углам крена, тангажа и рысканья.

На сегодняшний день шагающие инсектоморфные движители являются новой и перспективной, однако, полностью не исследованной областью техники. Целью проекта является разработка универсальной шагающей инсектоморфной платформы «AG». В работе показаны конструкция, элементы алгоритмов перемещения, математическая модель, а так же, возможные варианты использования универсальной шагающей платформы «AG» для решения широкого спектра задач. Роботизированные платформы, оснащенные движителями подобной конструкции перспективны для применения в составе многофункциональных наземных и подводных транспортно-технологических комплексах, а также применения в космической технике.

³ Работа выполнена при поддержке РФФИ проект №15-08-04166 а, №16-38-00755 мол_а, № 15-41-02578 р_поволжье_а, №16-38-60086 мол_а_дк

*A. E. Gavrilov, A. V. Leonard, O. A. Mishustin, D. M. Selyunin,
S. B. Hantimirova*
THE UNIVERSAL WALKING INSEKTOMORPHIC PLATFORM⁴

*Volgograd state technical university (ВолгГТУ),
Volgograd
krobotechvlg@gmail.com*

Development and deployment of mobile robotic systems for implementation of different complex challenges becomes the priority direction of development. Robots with the walking mover unit have high opportunities for adaptation to the environment, big profile passability, and also the maneuverability allowing in most cases relocation in arbitrary direction. The robotic platform with the walking mover unit is capable to realize a turn on the place, has an opportunity to carry out operations on unstable soil and to stabilize the situation on angles of bank, pitch and yaw.

Today the walking in-sektomorfic mover unit are the new and perspective, however, completely not probed field of technique. A project objective is development of the universal walking in-sektomorfic AG platform. In operation construction, elements of algorithms of relocation, a mathematical model, and also, possible options of use of the universal walking AG platform for the solution of a wide range of tasks are shown. The robotic platforms equipped with mover unit of similar construction are perspective for application as a part of all-in-one terrestrial and underwater transport and technological complexes, and also applications in space technique.

⁴ This work was supported by The Russian Foundation for Basic Research – grant №15-08-04166, №15-41-02578, №16-38-00755, №16-38-60086

*Н.А. Грязнов, В.В. Харламов, С.А. Никитин, Д.Г. Шамарин,
А.Ю. Карсеева, Г.С.Киреева*
**МЕДИЦИНСКИЙ РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ
ЛЕЧЕНИЯ ГЕМОРРОЯ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ
КОАГУЛЯЦИИ ПОД ДОПЛЕР-КОНТРОЛЕМ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
a.karseeva@rtc.ru*

Перспективное развитие малоинвазивной лазерной хирургии в лечении геморроя связано с временным и пространственным совмещением диагностики и лечения. Целью проведенного авторами исследования являлась разработка структуры такого аппаратного комплекса, который позволял бы проводить малоинвазивное лечение геморроя методом лазерной коагуляции под контролем внутритканевой ультразвуковой визуализации в режиме реального времени.

Структура медицинского комплекса

Для лечения геморроя посредством лазерной коагуляции сосудов под контролем процесса с помощью доплерографии необходим медицинский комплекс (МК), который может решать следующие задачи: поиск местоположения артериальных и венозных сосудов; лазерная коагуляция сосудов, питающих геморроидальный узел; контроль степени коагуляции. Разработанная структурная схема МК представлена на рис. 1.

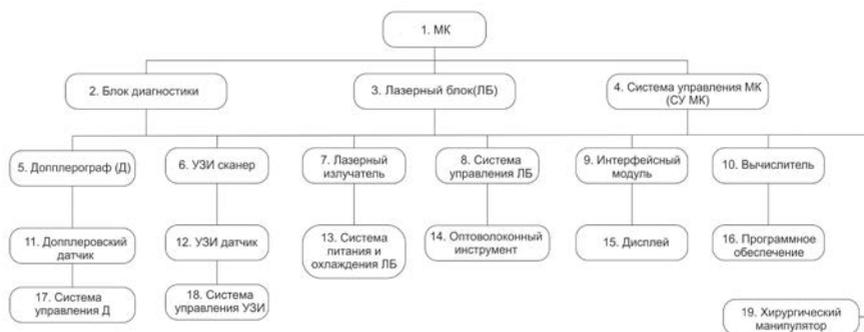


Рис. 1. Структурная схема медицинского комплекса для лазерной коагуляции сосудов.

С использованием УЗИ сканера определяются патологические сосудистые сбросы, уточняются размеры и ход сосудов, питающих геморроидальный

узел. Вся процедура проходит при непрерывном доплер-контроле. Вначале проктоскоп вводится в анальное отверстие. С помощью УЗИ-датчика осуществляется поиск сосудов, уточняются их размеры. После нахождения сосуда, основываясь на полученных данных о размере сосуда, скорости потока крови и тяжести патологического процесса, выбирается оптимальный режим воздействия лазерного излучения. Затем производится процедура лазерной коагуляции. С помощью хирургического манипулятора световод подводится к выбранному сосуду (положение световода контролируется УЗИ сканером). Во время процедуры под действием лазерного излучения кровь внутри сосуда коагулирует, и он спадается. Именно полное склеивание сосуда и является достигаемой целью и контролируется с помощью ультразвукового датчика доплера.

Заключение

Таким образом, при успешной реализации конструктивного совмещения диагностики в режиме реального времени и проведения операции с помощью лазера, получится создать уникальное малоинвазивное медицинское решение для лечения геморроя, не имеющее аналогов в настоящее время. Также данная идея может лечь в основу построения конструкций медицинских комплексов для малоинвазивной хирургии, предназначенных для лечения сосудистых и онкологических заболеваний.

*N.A. Gryaznov, V.V. Kharlamov, S.A. Nikitin, D.G. Shamarin, A.Y. Karseeva,
G.S. Kireeva*

MEDICAL ROBOTIC APPRATUS FOR TREATMENT OF HEMORRHOIDS BY METHOD OF LASER COAGULATION UNDER DOPPLER CONTROL

*RTC, Saint-Petersburg
a.karseeva@rtc.ru*

The promising development of minimally invasive laser surgery to treat hemorrhoids is associated with combination of diagnosis and treatment in time and space. The aim of the current study was to develop a structure of such apparatus allowing performing minimally invasive hemorrhoids treatment with laser coagulation under interstitial ultrasound (US) visualization in real time.

Structure of the medical apparatus

To treat hemorrhoids by means of laser coagulation of the vessels controlling the process with dopplerography a new medical apparatus (MA) is required, which can perform several tasks including: search for the location of arterial and venous vessels; laser coagulation of the vessels, feeding hemorrhoids; coagulation rate control.

The structure of the developed MA is presented in Fig.1.

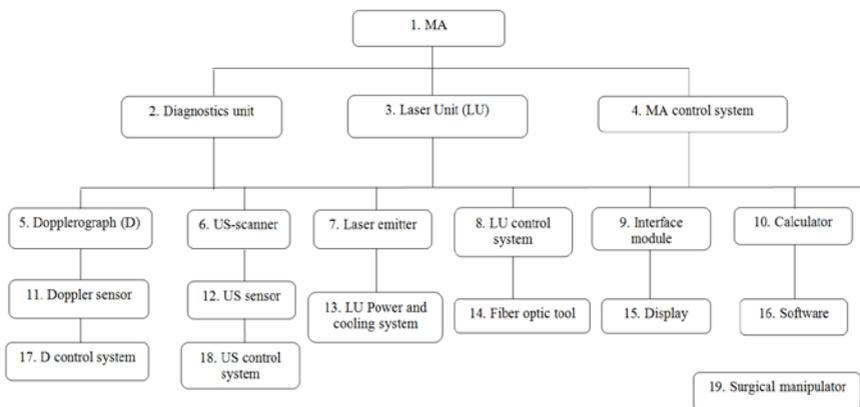


Fig. 1. Structural diagram of the medical apparatus for laser vascular coagulation.

US scanner allows detection of pathological vascular discharges, and specification of the sizes and the course of the vessels feeding the hemorrhoidal node. The whole procedure is performed under continuous doppler control. At first proctoscope is introduced into the anus. By means of the US-sensor the search for vessels is performed and their size is determined. After finding the

vessel an optimal regimen of laser radiation is chosen, based on the data about the vessel size and severity of the pathological process. Then laser coagulation is performed. Using a surgical manipulator, the light guide is brought to the selected vessel (light guide position is controlled with US scanner). During the procedure the blood inside the vessel coagulates, and the vessel recedes. It is the complete gluing of the vessel that is the achievable goal and it is controlled by the US doppler sensor.

Conclusion

Therefore with successful implementation of a combination of diagnostics in real-time with laser surgery, it will be possible to create a unique minimally invasive medical solution for the treatment of hemorrhoids, which has no analogues at present. Also this idea could be the basis for building of medical devices for minimally invasive surgery designed for the treatment of various vascular and oncological diseases.

М.Б. Игнатьев, В.А. Ерохин, Я.А. Липинский, П.И. Макин
ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА
АДАПТИВНОГО ШАГАЮЩЕГО РОБОТА ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ
ГАЗОПРОВОДА

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического
приборостроения
ignatmb@mail.ru

В статье рассматривается информационно-вычислительная система робота, предназначенного для обследования газопровода. Конструкция и принцип действия адаптивного шагающего робота описаны в публикациях [1], [2] и патенте на изобретение № 2571242 [3]. Для обследования газопроводов применяются различные методы и устройства. Так, например известен дефектоскоп-снаряд, с установленными на нем различными датчиками, движущийся под воздействием давления перекачиваемого продукта. Недостатком данного устройства является то, что для проведения качественного обследования трубы, необходимо снижение скорости перекачки газа, что приводит к задержке его поставки. Имеются конструкции роботов колесного типа, недостатком которых является невозможность прохождения сильнонаклонных и вертикальных участков. Предлагаемый вариант адаптивного шагающего робота, наряду с традиционными средствами диагностики, позволит повысить качество и частоту обследования газопроводов. При этом не требуется перекрывать или ограничивать подачу газа в трубе, что является неоспоримым преимуществом. Робот является полностью автономным, за счет применения оригинальной ветровой турбины, обеспечивающей получение необходимой электроэнергии потоком газа. Слово адаптивный, в названии системы, подразумевает возможность робота приспосабливаться к различным деформациям и изгибам, подстраиваться под диаметр трубы в заданных пределах. Это достигается за счет оригинальной конструкции ног робота, которые поочередно втягиваются или вытягиваются до соприкосновения со стенками трубы.

Ключевые слова: робот, адаптация, диагностика газопроводов, распознавание дефектов, энергообеспечение, связь с оператором.

M.B. Ignatyev, V.A. Erokhin, Ya.A. Lipinskiy, P.I. Makin
**INFORMATION-COMPUTATIONAL SYSTEM
OF A ROBOT DESIGNED TO INSPECT THE PIPELINE**

Saint-Petersburg state University of Aerospace Instrumentation
ignatmb@mail.ru

The article observes the information-computational system robot designed to inspect the pipeline. Design and principle of operation of adaptive walking robot are described in publications [1], [2] and the patent for the invention № 2571242 [3]. For inspection of gas pipelines by using different methods and devices. So, for example a well-known flaw detector-projectile mounted thereon various sensors, moving under the pressure of the pumped product. The disadvantage of this device is that for the qualitative examination of the pipe, it is necessary to decrease the speed of pumping gas, which leads to a delay in its delivery. There are construction robots wheeled type, the lack of which is the impossibility of passing strongly acidic and vertical sections.

We offer the option of adaptive walking robot, along with the traditional diagnostic tools that will improve the quality and frequency of inspection of pipelines. You do not need to block or limit the flow of gas in the tube, which is a huge advantage. The robot is completely Autonomous, due to the use of the original wind turbine, providing the necessary electricity by the gas flow. The word adaptive in the name of the system implies the ability of the robot to adapt to different deformations and bending, to adapt to pipe diameter is within the specified limits. This is achieved by original design of the robot's feet, which in turn is drawn or pulled to contact with the walls of the pipe.

Key words: robot, adaptation, diagnostics of pipelines, detection of defects, power supply, communication with operator.

Ю.В. Подураев
**ПОДХОД И ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ
КОЛЛОБОРАТИВНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ
ХИРУРГИИ И БИОПРИНТИНГА**

*МГТУ «СТАНКИН», Москва
y.poduraev@stankin.ru*

Yu. V. Poduraev
**APPROACH AND EXPERIENCE OF DESIGN OF MEDICAL
COLLABORATIVE ROBOTICS FOR LASER SURGERY AND
BIOPRINTING**

*Moscow State University of Technology «STANKIN»
y.poduraev@stankin.ru*

В работе проведен анализ современных тенденций развития и методов построения коллаборативных медицинских робототехнических систем. Предложен подход к проектированию медицинской коллаборативной робототехники, который направлен на целенаправленный научно-технический поиск роботических и мехатронных технологий, позволяющих принципиально превысить возможности естественных систем человека при выполнении медицинских операций. Приводятся результаты разработки исследовательских прототипов медицинских роботов и их экспериментального тестирования на операциях лазерной челюстно-лицевой хирургии и биопринтинга, выполненных совместно специалистами Московского государственного технологического университета «СТАНКИН» и Московского государственного медико-стоматологического университета им. А.И. Евдокимова.

Ключевые слова: коллаборативная робототехника, медицинский робот, роботические технологии, мехатронные технологии, роботы для лазерной хирургии, роботы для биопринтинга.

А.В. Синегуб
**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ МЕХАНОТЕРАПИИ И
ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ ПАЛЬЦЕВ РУК**

*СПбПУ, Санкт-Петербург,
a.sinegub@yandex.ru*

Неоценима важность и эффективность механотерапии в восстановительном процессе. Особую важность имеет механотерапия на ранних стадиях реабилитации после инсультных атак, так как контрактуры и др. осложнения начинают формироваться уже с момента получения атаки. Но в купе с электростимуляцией процесс механотерапии может увеличить свою эффективность в счет синергетического эффекта. В данной статье рассматривается разработка устройства для механотерапии и электростимуляции пальцев руки и по литературным данным оценивается синергетический эффект объединения механотерапии с электростимуляцией.

Ключевые слова

Механотерапия, электростимуляция, миостимуляция, роботизированная механотерапия, реабилитация, инсульт, пассивная лечебная гимнастика.

A.V. Sinegub
**DEVELOPMENT OF DEVICE FOR MECHANOTHERAPY AND
ELECTROSTIMULATION OF FINGERS OF HANDS**

*SPBPU, St. Petersburg,
a.sinegub@yandex.ru*

The importance and effectiveness of magnetotherapy in the recovery process is invaluable. Of particular importance is the mechanotherapy in the early stages of rehabilitation after stroke attacks, as contractures and other complications begin to form already from the moment of receiving the attack. But in the compartment with electrostimulation the process of mechanotherapy can increase its efficiency in the account of synergetic effect. The article deals with the development of a device for mechanotherapy and electrostimulation of the fingers of the hand and according to literature data, the synergetic effect of combining mechanotherapy with electrostimulation is estimated.

*А.И. Мотиенко¹, А.Л. Ронжин¹, А.А. Алтунин², Б.И. Крючков²,
В.М. Усов²*

**ЭВАКУАЦИЯ КОСМОНАВТА В СКАФАНДРЕ ВО ВРЕМЯ
ВНЕКОРАБЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПОВЕРХНОСТИ
ЛУНЫ С УЧАСТИЕМ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РОБОТОВ**

¹ СПИИРАН, Санкт-Петербург, Россия.

Email: anna.gunchenko@gmail.com ; ronzhin@iias.spb.su

*² НИИ ЦПК имени Ю.А.Гагарина, Звездный городок Моск.
обл.Россия.*

Email: a.altunin@gctc.ru ; b.kryuchkov@gctc.ru ; v.usov@gctc.ru

***Motienko A.I.¹, Ronzhin A.L.¹, Altunin A.A.², Kryuchkov B.I.², Usov V.M.²*
A EVACUATION OF A COSMONAUT IN A SPACESUIT DURING
EXTRAVENICULAR ACTIVITY ON THE LUNAR SURFACE WITH
ASSISTANCE OF RESCUE ROBOTS**

*¹SPIRAS, St. Petersburg; ²Gagarin Research&Test Cosmonaut
Training Center, Star City, Moscow region*

В работе делается попытка распространить опыт применения аварийно-спасательных роботов в экстремальных условиях на Земле и опыт внекорабельной деятельности (ВКД) на МКС на ситуацию применения робота-спасателя во время ВКД на лунной поверхности.

Ключевые слова: мобильные роботы на поверхности планет, экстремальная среда, внекорабельная деятельность на Луне, спасение и эвакуация, робот-спасатель.

Для перспективных программ освоения Луны актуален вопрос использования при ВКД мобильного робота, способного к выполнению в автономном режиме навигации в сложной обстановке. Сложность дистанционного взаимодействия участников ВКД с роботом и построения обратной связи для космонавта-диспетчера о состоянии окружающей среды требует разработки средств информационного обеспечения с применением ряда современных информационных технологий [1]. Еще большие трудности связаны с проблемой спасения и эвакуации космонавта в скафандре с поверхности в лунный аппарат в случае отказа системы жизнеобеспечения скафандра и/или потери работоспособности космонавта.

Сегодня существуют прототипы РТС для разработки робота-спасателя применительно к эвакуации на поверхности Луны космонавтов в скафандре в лунный аппарат в случае нештатной ВКД [2]. Высокая сложность внекорабельной деятельности требует особых мер безопасности и специальной организации коммуникации участников ВКД. При планировании ВКД на МКС большое внимание уделяется соблюдению

требований по временным ограничениям, связанным с необходимостью обеспечения возвращения неработоспособного оператора (НРО) в шлюзовую отсек. В данном случае потребуется помощь роботизированных устройств с запасами для системы обеспечения жизнедеятельности (СОЖ).

При разработке требований к способам эвакуации космонавта в скафандре с лунной поверхности полезно обратиться к практике обеспечения безопасности при приземлении спускаемого аппарата (СА). Эвакуация космонавтов после приземления СА представляет собой сложную операцию и является ответственным этапом и в медицинских аспектах.

Следующие признаки отличают пригодные для освоения человеком Луны решения РТС: 1) массогабаритные характеристики, грузоподъемность, устойчивость к опрокидыванию при переноске грузов, сопоставимых по массе с массой робота.; 2) передвижение по пересеченной местности и различным по плотности почвам, преодоление естественных и искусственных препятствий; 3) захват и удержание предметов различной формы, жесткости, в том числе и тела человека; 4) позиционирование и навигация в условиях освоения Луны, использование электронных карт и дистанционно задаваемых команд на виды маневров от человека-оператора; 5) трекинг подвижных объектов, определение расстояний, распознавание ориентиров и характерных объектов с помощью компьютерного зрения робота; 6) организация человеко-машинного взаимодействия, применение многомодальных интерфейсов для дистанционного управления роботом, бесконтактные виды управления с применением технологий виртуальной реальности, построение расширенной и улучшенной визуальной обратной связи; 7) выполнение тонких манипуляций в копирующем режиме и копирующий режима следования за человеком при перемещении «в паре».

1. Крючков Б.И., Михайлюк М.В., Усов В.М. Технологии моделирования для эргономического проектирования системы «космонавт – манипуляционный робот – рабочая среда» // Материалы конференции «Управление в морских и аэрокосмических системах» (УМАС-2014). СПб.: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор». 2014. С. 367–377.
2. Мотиенко А.И., Ронжин А.Л., Павлюк Н.А. Современные разработки аварийно-спасательных роботов: возможности и принципы их применения // Научный вестник НГТУ. 2015. Том 60. № 3. С. 147–165.

А.А. Кошурина¹, В.Е. Гай², Р.А. Дорофеев³, Е.М. Хапилов⁴, С.С. Бобко⁵
РАЗРАБОТКА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ
ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ В АВАРИЙНЫХ ШАХТАХ

НГТУ им. Р.Е. Алексеева, НОЦ «Транспорт», Нижний Новгород,
¹allakoshurina@yandex.ru,
²iamuser@inbox.ru, ³blonde-o@yandex.ru, ⁴evgen.ref12@gmail.com,
⁵d.o.o.m.e.r@mail.ru

Koshurina A.A., Gai V.E., Dorofeev R.A., Hapilov E.M., Bobko S.S.
THE DEVELOPMENT OF THE ROBOTIC PLATFORM FOR RESCUE
OPERATIONS IN EMERGENCY COAL MINES

NNSTU, SEC «Transport», Nizhny Novgorod

Актуальность проекта по созданию робототехнических средств и мобильных подвижных роботов специального назначения связана с выполнением аварийно-спасательных работ, представляющих опасность для жизни человека. Первостепенной целью данных проектов является минимизация степени риска для спасателей при проведении разведывательных, поисковых и спасательных операций в шахтах. Поставленная цель может быть эффективно достигнута только за счет использования технических средств, создаваемых с применением безлюдных технологий.

Разрабатываемое многозвенное робототехническое средство предназначено для проведения разведывательных, спасательных и поисковых операций для ликвидации последствий аварий в шахтах. Потенциальными потребителями робототехнического средства могут быть аварийно-спасательные службы, службы ГО и ЧС.

Многозвенное робототехническое средство представляет из себя платформу, состоящую из трех или более сочлененных модулей с роторно-винтовым движителем. Каждый модуль отвечает за выполнение определенной задачи. Каждый модуль оснащается несколькими камерами для осуществления кругового обзора и непрерывного мониторинга обстановки в зоне работ.

В настоящее время создан ходовой макет одного звена подземного многозвенного робототехнического средства. Макет разрабатывался инициативной группой, состоящей из аспирантов, магистров и студентов старших курсов НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Ходовой макет предназначен для отработки систем дистанционного управления и технического зрения, а также принятых конструктивных решений, с целью поиска наиболее оптимальных для условий аварийных шахт. Макет может быть оборудован

двумя и более RGB или ИК камерами, а также датчиками для мониторинга состояния окружающей среды (температура, влажность, загазованность и т.д.). Конструкция позволяет устанавливать на макет роторно-винтовые двигатели с различной конфигурацией, выполненные из различных материалов (сталь, пластик, резина).

В системе управления присутствуют следующие модули: модуль связи, модуль управления, модуль драйверов, модуль видеонаблюдения, модуль аккумуляторов, два двигателя, элементы системы освещения.

Для управления ходовым макетом используется пульт управления, представляющий из себя джойстик с пропорциональным управлением двигателями, а также регулировкой мощности электродвигателей ходового макета. Дополнительно пульт оснащается подсветкой.

Был проведен ряд ходовых испытаний макета в различных условиях (битый лед, глубокий снег, мерзлый грунт, глина и др.). Испытания ходового макета позволили апробировать технические решения и оценить различные параметры (скорость, время работы, дальность действия и т.д.). В ходе испытаний выяснилось, что для наибольшей эффективности функционирования необходимо провести конструктивную доработку некоторых элементов конструкции ходового макета. Одной из основных доработок является увеличение диаметра базового цилиндра и изменение геометрии лопасти роторно-винтовых двигателей. Данная доработка призвана увеличить показатели проходимости платформы, а также уменьшить величину сопротивления движения. Также требуется доработка системы управления на предмет стабилизации траектории при прямолинейном движении за счет синхронизации скоростей вращения двигателей. Тем не менее, проведенные испытания показали жизнеспособность платформы и возможность её использования для решения задач разведки в условиях техногенных катастроф и экстремальных условиях.

Дальнейшим этапом развития проекта станет создание ходового макета еще одного звена, а также узла активного сочленения, разработка системы управления к ним.

А.Л. Коротков, М.А. Ногин, А.В. Рогов, О.А. Шмаков
**ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК МРК СВЕРХЛЕГКОГО И ЛЕГКОГО КЛАССОВ**

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, a.korotkov@rtc.ru, m.nogin@rtc.ru,
rogov@rtc.ru, shmakov@rtc.ru

Korotkov A.L., Nogin M.A., Rogov A.V., Shmakov O.A.
**TEST SITE FOR EVALUATION OF TECHNICAL
CHARACTERISTICS OF MOBILE ROBOTIC COMPLEXES OF
ULTRA-LIGHT AND LIGHT CLASSES**

RTC, Saint-Petersburg

Согласно государственному стандарту, существует классификация для мобильных робототехнических комплексов (МРК), предназначенных для проведения аварийно-спасательных работ и пожаротушения. Эта классификация не применима ко всем современным МРК в силу того, что многие из них, различающиеся по применению, будут относить к сверхлёгкому классу. Для более подробной классификации РТК НБ введено деление сверхлёгкого класса на подклассы.

Классификация МРК только по массе не отражает полностью механические характеристики, включая проходимость и грузоподъёмность, что не способствует достаточной оценке МРК, основываясь на его классе. Для составления представления о возможностях МРК различных классов необходимо проведение ряда исследований для множества представителей каждого класса. Чтобы обеспечить достаточную точность и однообразность исследований, необходимо минимизировать влияние человеческого фактора на ход исследования. Для выполнения этой задачи предлагается использовать испытательный полигон, оборудованный достаточным набором препятствий для проведения полноценной оценки характеристик МРК.

Ниже приведены краткие описания препятствий, разрабатываемых ЦНИИ РТК для проведения пробеговых испытаний МРК сверхлегкого и лёгкого классов, определения ходовых, энергетических и топливно-экономических характеристик, манёвренности и управляемости при преодолении препятствий.

1. Комплекс сооружений для проведения испытаний по преодолению препятствий с различным грунтом. В состав комплекса входят горизонтальные и наклонные поверхности с углами наклона 20°, 25° и 30° с песчаным, глиняным и гравийным покрытиями, а также эскарпы крутизной 45° и 60°.

2. Сооружение для проведения испытаний по преодолению препятствий с бетонным покрытием. В состав сооружения входят горизонтальные и наклонные площадки с углами наклона 20° и 30° и лестничные марши.

3. Комплекс сооружений для проведения испытаний по преодолению препятствий с элементами железной дороги. В состав комплекса входят участки железнодорожного полотна с укладкой на горизонтальную поверхность и гравийную насыпь.

4. Комплекс сооружений, который воспроизводит условия ограниченного пространства и видимости. В состав комплекса входят реконфигурируемые сооружения с имитацией интерьера складских, жилых и прочих помещений.

5. Сооружение для проведения испытаний по преодолению препятствий с полной или частичной погружаемостью в жидкую или сильно сыпучую среду. Сооружение представляет собой бассейн переменной глубины.

6. Комплекс сооружений для проведения испытаний по преодолению препятствий с различной сложностью проходимости. В состав комплекса входят конструкции с реконфигурируемыми бетонными надолбами для воссоздания труднопроходимых участков, в том числе завалов.

7. Реконфигурируемый модульный стенд для проведения испытаний по преодолению различных препятствий. В состав стенда входят прямолинейные участки с песчаным, гравийным и травяным покрытиями, наклонные поверхности различной крутизны, лестничные марши нестандартных размеров.

8. Реконфигурируемый модульный стенд для проведения исследований маневрирования МРК массой до 50 кг и летательных аппаратов. Стенд оборудован системой захвата движения для построения компьютерных моделей.

Разрабатываемые типовые методики проведения испытаний и ведение протокола исследований в автоматическом режиме будут способствовать полноте и точности исследований, а так же выявлению наиболее перспективных направлений разработки МРК.

М.В. Савин¹, С.Г. Цариченко²
РОБОТ ДЛЯ ШАХТНЫХ РАБОТ

¹ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Московская область, г. Балашиха;
²НИИ «Геодезия» Московская область, Красноармейск

M.V. Savin¹, S.G. Tsarichenko²
ROBOT FOR MINE

¹EMERCOM of Russia; Scientific research Institute
²"Geodesy", Moscow region

25 февраля 2016 года на шахте «Северная» произошел внезапный выброс метана, что повлекло серию последующих взрывов, обрушение породы и возникновения многочисленных очагов пожара.

27 февраля 2016 года в район ЧС была направлена дополнительная группировка сил, оснащенная робототехническими средствами (далее – РТС).

Оперативной группой сотрудников МЧС России были исследованы возможности применения робототехнических комплексов, стоящих на вооружении МЧС России.

На территории учебной шахты Печерского военизированного горноспасательного отряда обрабатывались задачи по возможному применению РТС.

По результатам выполненных задач выявлено, что:

- на данный момент РТС, способных выполнять задачи в шахте на глубине 750 метров для проведения разведки и разборов завалов и других работ на оснащении у МЧС нет;

- имеющиеся РТС в спасательных операциях подобного рода не применялись.

РТС в настоящее время имеющиеся на вооружении МЧС не приспособлены для проведения разведки и аварийно-восстановительных работ в условиях аварийных угольных шахт по трем основным причинам:

- отсутствие взрывобезопасного исполнения;

- отсутствие надежной связи и систем управления в условиях горных выработок;

- низкая проходимость наземных комплексов в условиях аварийных шахт.

Поэтому для дальнейшего эффективного применения РТС при ликвидации последствий ЧС на предприятиях горнодобывающей промышленности необходимо создать робототехнический комплекс для проведения аварийно-спасательных работ в условиях аварийных угольных шахт.

Робот для работ в шахтных выработках должен соответствовать следующим требованиям:

- конструкция РТС должна быть выполнена во взрывобезопасном, искро - пожаробезопасном, термостойком, ударопрочном и влагоустойчивом исполнении;

- разработать принципиально новые движители для РТС в условиях сложной проходимости, в том числе в водной среде;

- РТС должны быть оснащены различными приборами контроля и обнаружения взрывоопасных примесей в воздухе (широкого спектра);

- разработать системы связи и управления в условиях поглощения и переотражения на больших расстояниях и глубинах шахт;

- создать комплексную систему обеспечения бесперебойным энергопитанием РТС более 8 часов.

Р.В.Гогин, Н.В.Заруцкий
**РАЗРАБОТКА РЕКОНФИГУРИРУЕМОГО ДВИЖИТЕЛЯ
КОЛЕСНОГО ТИПА ДЛЯ МОБИЛЬНОГО РТ ТС**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
r.gogin@rtc.ru, zarutskiy@rtc.ru*

Рассматривая вопрос проходимости планетохода можно сделать вывод о том, что в данное время количество движителей, возможных для применения на планетоходах, чрезвычайно разнообразно. Но на сегодняшний день единственным отработанным вариантом для планетоходов является колесный движитель, как наиболее простой и эффективный.

Колесный движитель является наиболее универсальным типом движителя, но выбор фиксированного размера обода и шины накладывает существенные ограничения по параметрам проходимости и экономичности использования энергоресурсов планетохода.

Расширить диапазон применения колеса можно путем изменения размеров обода колеса. В связи с чем был разработан принцип действия механизма реконфигурации колесного движителя, предназначенного для планетоходов.

В данной статье приводится обзор существующих реконфигурируемых колес, и рассматривается оригинальная конструкция с объяснением принципа действия. Так же кратко рассмотрены основные характеристики, показана выгода от применения реконфигурации.

Ключевые слова: планетоход, проходимость, реконфигурируемое колесо.

R.V.Gogin, N.V.Zarutskiy
**DEVELOPMENT OF RECONFIGURATION MOVEMENT
WHEEL TYPE FOR MOBILE RT TS**

RTC, Saint-Petersburg
r.gogin@rtc.ru, zarutskiy@rtc.ru

Considering the question of the of a planet rover, it can be concluded that at the present time the number of mobility systems possible for use on planet rovers is extremely diverse. But for today the only well-developed option for planet rovers is wheeled drive, as the most simple and effective.

The wheel chassis is the most universal type of chassis, but choosing a fixed, specific size of the rim and tire, there are significant restrictions on the parameters of all-terrain ability and economy in utilizing of the planet rover energy resources.

It is possible to expand the range of application of the wheel by changing the size of the rim of the wheel. In this connection, the principle of the mechanism for reconfiguring a wheel for planetary vehicles was designed and developed.

This article provides an overview of the existing reconfigurable wheels, the principle of operation and the original design are proposed. The main characteristics are briefly considered, the benefits from reconfiguration are shown.

Key words: planet rover, all-terrain ability, reconfigurable wheel.

И.В. Лазарев, А.Н. Тимофеев
**МЕХАНИЗМ РАБОЧЕГО ОРГАНА МАНИПУЛЯТОРА
КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
rjcnz_07@mail.ru, timofeevan@inbox.ru

Предложена конструкция механизма привода рабочего органа манипулятора для обеспечения надежной фиксации робота с базовой точкой, установленной на поручне внешней поверхности космических аппаратов.

Ключевые слова: рабочий орган, манипулятор, конструкция, фиксация.

I.V. Lazarev, A.N. Timofeev
END-EFFECTOR MECHANISM OF SPACE MANIPULATOR

RTC, Saint-Petersburg
rjcnz_07@mail.ru, timofeevan@inbox.ru

This paper proposes the design of the end-effector mechanism of the manipulator to ensure reliable fixation of the robot with a base point installed on the outer surface of spacecrafts.

Keywords: end-effector, manipulator, construction, fixation.

И.Л. Ермолов¹, А.Ф. Кононов², С.П. Хрипунов²
НАПРАВЛЕНИЯ УНИФИКАЦИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСОВ ВОЕННОГО, СПЕЦИАЛЬНОГО И ДВОЙНОГО
НАЗНАЧЕНИЯ

¹*Научный совет по робототехнике и мехатронике РАН, Москва,*
ermolov@ipmnet.ru

²*ФПИ, Москва,*
KononovAF@fpi.gov.ru

I.L. Ermolov¹, A.F. Kononov², S.P. Hripunov²
UNIFICATION IN ROBOTICS

¹*Scientific Council on mechatronics and robotics of Russian Academy of Sciences;*

²*Fund of perspective researches, Moscow*

В работе рассматриваются вопросы унификации робототехнических комплексов военного, специального и двойного назначения (РТК ВСДН).

Проводится анализ результативности унификации с позиции преимуществ, получаемых на различных этапах жизненного цикла робототехнических комплексов (РТК). К числу основных преимуществ относятся следующие:

- сокращение времени и затрат на разработку, производство и поставку РТК;
- повышение качества и надежности образцов (комплексов);
- уменьшение сроков освоения образцов (комплексов) потребителями;
- повышение готовности РТК;
- упрощение снабжения, эксплуатации и ремонта РТК.

Приводится обзор различных видов унификации: межвидовая унификация, видовая унификация, унификация образцов и составных частей.

В рамках работы особое внимание уделяется проведению мероприятий по унификации РТК ВСДН, представленных для этих целей в виде типовой структурно-функциональной схемы модульного построения (Рис. 1).

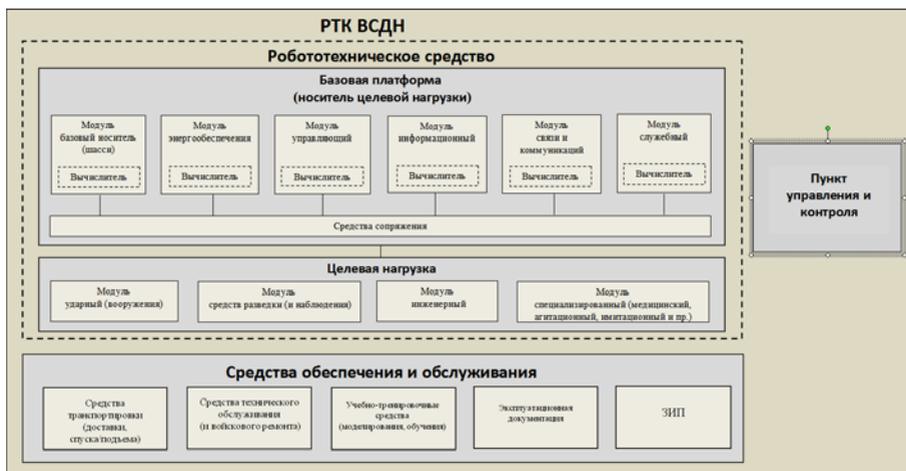


Рис. 1 Типовая схема деления (типовой состав) РТК ВСДН

Отдельное внимание уделяется противоречию, заключающемуся в ограничении унификацией функциональных возможностей новых образцов РТК ВСДН.

В заключении рассматриваются различные перспективные мероприятия и направления работ по унификации РТК ВСДН.

А.И. Галкин

**ОРГАНИЗАЦИЯ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОРСКИХ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ВОЕННОГО
НАЗНАЧЕНИЯ В ОПЕРАТИВНО-ВАЖНЫХ РАЙОНАХ МИРОВОГО
ОКЕАНА**

Galkin I.A.

**ORGANIZATION OF NAVIGATION SUPPORT FOR MARINE
ROBOTIC COMPLEXES IN OPERATIONALLY IMPORTANT AREAS
OF THE WORLD OCEAN**

Naval academy, Saint-Petersburg

В настоящее время, в интересах Военно-Морского Флота проводится ряд научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию морских робототехнических комплексов военного назначения для действий как в воздушной среде, на поверхности акваторий, так и под водой, а также ряд научно-исследовательских работ по разработке функциональных моделей, обоснованию форм и способов их применения, в том числе и в составе групп.

В перспективе, групповое применение МРТК ВН целесообразно при выполнении задач по предназначению за минимальное время на больших пространствах Мирового океана, например: производстве съемки рельефа дна, лидарной съемки мелководья и побережья, измерения океанологических величин, освещения подводной обстановки, противоминных действий, обследования подводных гидротехнических сооружений и инфраструктуры, создания поля ретрансляторов, привязки боевых порядков, организации навигационного обеспечения группового применения робототехнических комплексов военного назначения при выполнении ими задач в оперативно-важных районах Мирового океана.

Существующая организация навигационного обеспечения действий робототехнических комплексов военного назначения, а также традиционных сил Военно-Морского Флота, в настоящее время, осуществляется с использованием спутниковых навигационных систем и радионавигационных систем, – при выполнении ими задач на водной поверхности и в воздушном пространстве, и с использованием гидроакустических навигационных систем, – под водой.

Однако, использование спутниковых навигационных систем не всегда удовлетворяет требованиям, предъявляемым к точности, необходимой для выполнения ряда задач силами ВМФ, особенно в районах, находящихся вне зоны покрытия контрольно-корректирующих

станций. Кроме этого, в определенных районах Мирового океана, сигналы космических аппаратов, содержащие информацию о навигационных параметрах, могут быть отключены, подавлены, существенно загроушены или заменены на ложные вероятным противником. В таких условиях выработка навигационных параметров, с необходимой точностью, с помощью спутниковых навигационных систем будет сильно затруднена или вовсе невозможна.

Существующие радионавигационные системы, используемые для обеспечения сил ВМФ навигационной информацией, позволяют определять координаты объектов на дальностях до 3000 км от местонахождения станции, но, при этом, обладают большой погрешностью, составляющей от 50 до 700 м в зависимости от РНС. Существуют также морские радионавигационные системы высокой точности, позволяющие обеспечить необходимую точность выработки навигационных параметров до 1 м, но дальность таких РНС составляет порядка 150 км. Для использования таких РНС, их необходимо разворачивать в непосредственной близости от выполнения задач обеспечиваемыми силами, что в настоящее время для удаленных акваторий не реализовано.

Вопросы навигационной поддержки автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА), имеющих большую автономность и дальность действия, существенно превышающую дальность действия обычных дальномерных гидроакустических систем, достаточно актуальны. Эти проблемы довольно успешно решаются в составе аппаратов большого водоизмещения, имеющих инерциальные навигационные системы, систему бортовой навигации, корректируемую, как правило, по дальномерным данным с заблаговременно расставленной сети маяков-ответчиков по трассе движения или в районе работ. Маяки-ответчики (различают донные маяки-ответчики и поверхностные маяки-ответчики) устанавливаются для обеспечения работы гидроакустической навигационной системы с длинной базисной линией.

Для аппаратов с малым водоизмещением и с учетом требований к высокой мобильности АНПА, желание исключить маяки, значительно увеличивающие стоимость и время проведения работ, является вполне оправданным. Вместе с тем, гидроакустические навигационные системы с ультракороткой базисной линией, когда движущийся АНПА сопровождает судно обеспечения с буксируемой приемной антенной, также недостаточно хороши, прежде всего, из-за увеличения погрешности выработки навигационных параметров, по сравнению с ГАНС ДБ, а также значительного увеличения сложности буксируемого устройства, которое, кроме антенны УКБ, должно содержать датчики угловой ориентации антенны, датчики курса, глубины, систему передачи данных и т.д. Важным

является также то, что УКБ системы в ряде случаев не обеспечивают необходимой точности при выполнении задач в интересах ВМФ.

Существуют также навигационные гидроакустические системы комбинированного типа, совмещающие использование донных маяков-ответчиков и буксируемой гидроакустической системы с ультракороткой базисной линией. Такие системы используют в районах большой протяженности. Недостатком таких систем является необходимость заблаговременной подготовки района выполнения задач (постановка донных маяков-ответчиков), а также необходимость судну обеспечения следовать за АНПА.

Существующие способы навигационного обеспечения имеют ряд недостатков, влияние которых возможно минимизировать в мирное время за счет увеличения временных затрат на выполнение мероприятий по заблаговременному оборудованию района выполнения задач МРТК ВН в навигационном отношении. Это не позволяет производить эффективное навигационное обеспечение при оперативном развертывании МРТК ВН, особенно в оперативно-важных районах Мирового океана.

Таким образом, возникает противоречие между возрастающей роботизацией современных сил ВМФ, что влечет за собой и разработку новых методов, моделей применения робототехнических комплексов военного назначения в различных условиях обстановки, в удаленных районах Мирового океана, где существующие системы навигационного обеспечения вырабатывают навигационные параметры с большой погрешностью, либо вовсе отсутствуют, и необходимостью производить эффективное обеспечение МРТК ВН с достаточной оперативностью и заданной точностью в удаленных районах Мирового океана, в случае возможного противодействия противника, а также под водой, при необходимости выполнения оперативных задач, не позволяющих заблаговременно произвести развертывание навигационной системы, невозможности задействовать при выполнении задач суда обеспечения.

Особенно актуальной данная проблема становится в случае группового применения МРТК ВН, т.к. возникает необходимость одновременной выработки навигационных параметров для объектов, действующих в различных средах, осуществление их навигационной привязки и определения взаимного расположения друг относительно друга для успешного выполнения поставленных задач, безопасных совместных действий, исключающих создание аварийных ситуаций и взаимных помех применению вооружения и технических средств.

В качестве решения выявленных противоречий необходимо разработать автономную локальную навигационную систему, сочетающую в себе возможности оперативного развертывания, одновременную выработку высокоточной навигационной информации для определенного

числа потребителей, действующих в различных средах, их координатную привязку и выдачу данных об их взаимном расположении.

В качестве функционального элемента данной системы перспективным было бы использование специальных автономных аппаратов: автономных навигационных подвижных буев, способных произвести самостоятельное развертывание автономной локальной навигационной системы в заданном районе, выработку навигационной информации с необходимой точностью для надводных, подводных объектов, а также объектов, действующих в воздушном пространстве, возможность сворачивания системы и самостоятельное следование к кораблю-носителю по окончании обеспечения сил ВМФ.

Эффективное применение МРТК ВН может быть обеспечено только в условиях полного и непрерывного покрытия зоны его эксплуатации. Для этого, в зоне развертывания, автономная локальная навигационная система должна обеспечить надежную и безошибочную выработку информации о местоположении потребителей в пространстве.

Организация автономной локальной навигационной системы построена на основе самоорганизующихся сетей. Все автономные навигационные подвижные буи определяют взаимное расположение друг друга, создавая замкнутую локальную сеть. Один или несколько элементов сети определяет свое местоположение относительно корабля-носителя, либо особенностей рельефа местности, либо, в случае функционирования спутниковых навигационных систем – по этим системам.

Все абоненты автономной локальной навигационной системы определяют свое местоположение относительно ее элементов, которые находятся в дрейфе. В итоге происходит построение мобильной динамической локальной системы определения местоположения потребителей – движущихся объектов. Относительно близкое местоположение элементов системы позволит минимизировать ошибки взаимного определения их местоположения.

Инфраструктура автономной локальной навигационной системы: автономные навигационные подвижные буи, должны обеспечивать возможность оперативного наращивания масштаба системы вплоть до полного покрытия района военных действий.

Ключевой особенностью автономной локальной навигационной системы является возможность обеспечения потребителей навигационной информацией с точностью (в рамках заданного района), превышающей точность позиционирования по «традиционным» навигационным системам (например, спутниковым навигационным системам), а также ее мобильность, – основа обеспечения ее оперативного развертывания в

заданном районе, быстрого перемещения и развертывания в смежном районе, в случае необходимости.

Для организации выработки навигационной информации автономной локальной навигационной системой предлагается оснастить ее элементы – автономные навигационные подвижные буи высокоточной радионавигационной системой, – для обеспечения надводных объектов и летательных аппаратов, и гидроакустической навигационной системой с длинной базисной линией, – для обеспечения автономных необитаемых подводных аппаратов, определения их координат и элементов движения. К настоящему времени ГАНС ДБ являются хорошо освоенным и надежным навигационным средством, позволяющим обеспечивать заданное количество потребителей навигационной информацией, в особенности, когда предъявляются повышенные требования к точности навигационного обеспечения.

Кроме навигационного обеспечения, в случае установки соответствующего оборудования, автономная локальная навигационная система дополнительно может выступать в качестве системы ретрансляторов, обеспечивая обмен информацией как между центрами управления и МРТК ВН, так и между аппаратами, действующими в различных средах непосредственно в районе выполнения задач.

Таким образом, автономная локальная навигационная система должна будет обеспечить одновременное определение местоположения нескольких потребителей, действующих в различных средах, а также их взаимное расположение, в том числе и с привязкой к географическим координатам. Для функционирования такой системы необходима группировка, состоящая не менее, чем из трех автономных навигационных подвижных буюв. Это позволит обеспечить выработку навигационной информации для воздушных, надводных и подводных объектов с необходимой точностью. Для реализации подобного обеспечения «традиционными» средствами с выработкой навигационных параметров равной точности, необходимо развернуть системы, в состав которых входят радионавигационные станции (не менее двух), поверхностные, либо донные маяки-ответчики (не менее трех). Такое обеспечение повлечет дополнительные финансовые, временные и эксплуатационные затраты.

Сведения об авторе:

Доцент кафедры навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения военного института (военно-морского) ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», кандидат технических наук, доцент ГАЛКИН Илья Алексеевич.

Секция: Военная и антитеррористическая робототехника.

Н.В. Малиутин
**ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МОРСКОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ
КОМПЛЕКС ОБНАРУЖЕНИЯ, ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И
УТИЛИЗАЦИИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ И ПРЕДМЕТОВ**

*ООО «КБ ИГАС», г. Москва,
mrv220609@mail.ru*

Экологические проблемы, обусловленные технической деятельностью человека и чрезвычайными ситуациями техногенного характера, показали отсутствие комплекса технических средств обеспечивающих решение задачи обнаружения, транспортирования и утилизации опасных веществ и предметов. Эта проблема особенно проявляется при решении задач утилизации в морской среде.

Предлагается создание морского робототехнического комплекса. В состав комплекса входят средства поиска и подъёма на борт судна материалов и средства, их утилизации и транспортирования (если невозможна утилизация на борту судна). Поиск и подъём материалов на борт судна обеспечивают автономные подводные необитаемые роботы поиска объектов и контроля обстановки, эвалатор (гибкая труба) с манипуляторами на конце. Утилизация материалов и опасных предметов выполняется с помощью лазера на расстоянии до 50 м. Утилизируемые материалы и предметы сжигаются (дефлаграция) в первой камере при температуре 2000 °С. Во второй камере выполняется «дожигание» оставшихся в первой камере газовых фракций. Отходы утилизации и материалы, не подлежащие тепловой обработки, размещаются в контейнере для последующего транспортирования на специальнопредприятие.

Степень готовности основных технических средств - высокая, так как подводные автономные роботы экологического контроля, охраны зоны работ, поиска опасных материалов и предметов, а также неавтономные (телеуправляемые) роботизированные средства, в целом понятны, имеют прототипы и не требуют каких-либо исследований для их создания. Надводный комплекс утилизации можно реализовать на базе известного отечественного лазерного комплекса удалённого разминирования снарядов и мин. Высокотемпературные камеры изготавливаются в России. Транспортирование отходов утилизации, радиационных материалов и предметов, можно обеспечить в унифицированных контейнерах дополненных защитой из инновационных материалов с 10-20 кратным ослаблением действия радиации.

Предлагаемый морской робототехнический комплекс обнаружения, транспортирования и утилизации опасных веществ и предметов может найти широкое применение для МО РФ, МЧС РФ зарубежного потребителя. Аналогов предлагаемого комплекса не выявлено.

Морской робототехнический комплекс обнаружения, транспортирования и утилизации опасных веществ и предметов одобрен НТС ФГУП «Оборонпромэкология» МО РФ.

N. V. Malyutin

**PROMISING MARINE ROBOTIC SYSTEM FOR DETECTION,
TRANSPORTATION AND DISPOSAL OF HAZARDOUS SUBSTANCES
AND ITEMS**

" LTD «CB IGAS», Moscow
mnv220609@mail.ru

Environmental problems caused by technical human activity and emergency situations of technogenic character, showed the absence of complex of technical means ensuring the decision of tasks of detection, transportation and disposal of hazardous substances and objects. This problem is particularly evident when solving problems of disposal in the marine environment.

Proposes the creation of a marine robotic complex. The system includes search tools and a hoist on Board material and the means of disposal and transportation (if impossible disposal on Board the vessel). Search and recovery of materials on Board the vessel provide the uninhabited Autonomous underwater robots search for objects and control of the situation, evaluator (flexible tube) with manipulators on the end. Recycling materials and dangerous items is performed using the laser at a distance of 50 m. Recyclable materials and items incinerated (deflagration) in the first chamber at a temperature of 2000 °C. In the second chamber is "post-combustion" remaining in the first chamber gas fractions. Waste disposal and materials not subject to thermal treatment, are placed in a container for subsequent transport a special enterprise.

The degree of readiness of major equipment, high, as underwater Autonomous robots, environmental control, protection of work areas, finding dangerous materials and items, as well as non-Autonomous (remote-controlled) robotic means are generally understood, are prototypes and do not require any research to create them. Surface complex recycling can be implemented on the basis of well-known domestic laser system for the remote clearance of shells and mines. high temperature cameras are made in Russia. Transportation of waste disposal of radioactive materials and items can be provided in standardized containers supplemented with the protection of innovative materials with 10-20 fold weakening of radiation.

The proposed marine robotic system for detection, transportation and disposal of hazardous substances and items can be widely used for the defense Ministry, emergency situations Ministry of foreign consumers. Analogues of the proposed complex have not been identified.

Marine robotic system for detection, transportation and disposal of hazardous substances and items approved by NTS FSUE "Oboronpromecology" MO of the Russian Federation.

*А.А. Арыскин, А.Я. Ксензенко, Ю.С. Марзанов, Е.А. Прысев,
В.Е. Пряничников, Р.В. Хелемендик, С.Р. Эприков*
**ПРОМЫШЛЕННАЯ АВТОМАТИКА С ДИСТАНЦИОННЫМ
ДОСТУПОМ И АВТОМАТИЧЕСКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ
ЛОГИЧЕСКИХ ПРОТИВОРЕЧИЙ ДЛЯ ИНДУСТРИИ 4.0**

*Международная лаборатория «Сенсорика», МГТУ «Станкин»,
МИНОТ РГГУ, ИПМ им. М.В.Келдыша РАН, Москва,
v.e.pr@yandex.ru*

Начиная с первой промышленной революции, технологические достижения позволяли существенно, скачкообразно увеличивать производительность труда. Кратко охарактеризовать мировые индустриальные революции I-IV можно буквально одним словом: механизация, электрификация, автоматизация, интеллектуализация. Основой для концепции Индустрии 4.0 послужила синергия таких идей как: Internet of Things («Интернет вещей»), Big DATA («Большие данные»), Cyber-Physical Systems («Кибер-физические системы»).

В рамках данной концепции, одной из основных задач является обеспечение эффективного выпуска даже минимальных партий при быстром внесении изменений в продукцию. Применение встроенных датчиков/исполнительных механизмов с сетевым доступом приводит к необходимости создания новых методов оптимизации для сохранения ресурсов в производственной среде. Стало необходимым создание механизма предсказания момента повреждения компонентов или оборудования, а также возможность включения процесса самовосстановления, нахождения альтернативных решений для текущей производственной задачи, разрешение проведения соответствующих работ по ремонту или техобслуживанию. Если ещё недавно потребители средств автоматизации не предоставляли производителю доступ к закупленному оборудованию, то за последние годы появился большой спрос на пожизненное сопровождение оборудования. Одним из лидеров реализации данной концепции является концерн FESTO, работающий в более, чем ста странах с 300000 потребителей и на практике обеспечивающий just in time production.

В Российской Федерации не все предприятия готовы к внедрению концепции «Умного производства», так как это является сложным, долгим и дорогостоящим процессом. В тоже время предприятия, создающиеся «с нуля», более восприимчивы к подобным инновациям. Международная лаборатория «Сенсорика» совместно со специалистами и аспирантами МГТУ «СТАНКИН», ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, МИНОТ разработала технологию реализации и внедрения «Умного производства» на примере

создания новой автоматической линии по приготовлению натриевого стекла и изделий из него в городе Кимры. Система автоматики, внедряемая в рамках данного проекта, строится на основе запатентованной ранее методики автоматического разрешения логических противоречий (дорабатывается для адаптации к потребностям решаемых задач). Эта методика позволяет спрогнозировать вероятные отказы системы в тех или иных ситуациях, что является одной из основ надежности проекта. Автоматика, внедряемая в проект, представляет собой симбиоз децентрализованных систем, объединенных в общую цифровую сеть с возможностью перехода на жесткое программное или ручное управление в случае необходимости. Разрабатываемая концепция позволяет выполнять нетривиальные задачи «умного» управления исполнительными элементами технологического процесса, например, переключением клапанов, задвижек, управлением двигателями для подачи, вывода, перемещения составляющих производственного процесса в процессе изготовления готовой продукции. В технологическом процессе производства задействована специализированная транспортная система, разработанная при участии Международной лабораторией «Сенсорика» и предназначенная для сушки и перемещения отливок готовой продукции в производственном пространстве площадью порядка 1400 м². Данная система выполнена на основе индивидуальных роботизированных тележек, которые приводятся в движение посредством пар бортовых двигателей и комплекта сенсорных устройств. Одна такая транспортная единица способна перемещать по сложной траектории внутрипроизводственного пространства элементы готовой продукции весом до 2-х тонн в условиях с повышенной влажностью. В состав общей системы управления производственным циклом входит интерфейс, обеспечивающий круглосуточный доступ к ней, с целью дистанционного контроля, тестирования и модернизации технологического процесса. При разработке системы управления транспортных и манипуляционных роботов по технологии «Индустрия 4.0», в нашем проекте изначально исключались периферийные устройства, которым не свойственна гибкость. При этом предусматривается «интеллектуальный ввод данных» через систему датчиков и обратных связей, контролирующих работу всех исполнительных механизмов с логическим анализом и выявлением некорректного хода производственных процессов, что существенно уменьшает вероятность нарушения технологического цикла и аварийной ситуации.

Ключевые слова: индустрия 4.0, умное производство, сенсорные системы, Cyber-Physical Systems, Internet of Things, искусственный интеллект, системы автоматики, логические противоречия, облачные технологии, промышленная автоматика, дистанционный контроль.

*A.A. Aryskin, A.J. Ksenzenko, Yu.S. Marzanov, E.A. Prycev,
V.E. Pryanichnikov, R.V. Khelemendik, S.R. Eprikov*
**INDUSTRIAL AUTOMATION WITH REMOTE ACCESS AND
AUTOMATIC RESOLUTION OF LOGICAL CONTRADICTIONS FOR
INDUSTRY 4.0**

*International Laboratory «Sensorika», MSTU “Stankin”, INET
RSUH, Moscow
KIAM Russian Academy of sciences, v.e.pr@yandex.ru,*

Since the first industrial revolution, technological advances had significantly, rapidly increase productivity. Briefly describe the global industrial revolutions I-IV can be just one word: mechanization, electrification, automation, intellectualization. The basis for the concept of Industry 4.0 was the synergy of such ideas as: “Internet of Things”, “Big Data”, "Cyber-physical system". Under this concept, one of the main tasks is to ensure effective releasing of even minimal parties with the rapid changes in production lines. Using built-in sensors/actuator network access leads to the necessity of creating new methods of optimisation for resource conservation in a production environment. It was necessary to create a mechanism for predicting the fault of the components or equipment, as well as the possibility of integrating the process of self-repair, finding alternative solutions to current production problems, the resolution of the relevant repair or maintenance. If more recently, consumers of automation did not provide the manufacturer access purchased equipment, in recent years, a large demand for life support equipment. One of the leaders of implementation of this concept is the Concern FESTO, working in more than hundred countries with 300,000 users and in practice, providing just-in-time production.

In the Russian Federation, not all businesses are ready to introduce the concept of "Smart production", as this is a difficult, long and expensive process. At the same time enterprise, created "from scratch", more receptive to such innovations. International laboratory "Sensorika" together with specialists and graduate students MSTU "STANKIN", KIAM RAS, IINET has developed a technology implementation and deployment of "Smart production" by building a new automatic line for manufacturing of sodium glass and products from him in the city of Kimry. The automation system implemented in the framework of this project, based on the previously patented methods automatically resolve logical contradictions (refined to adapt to the needs of the tasks). This technique allows to predict the probable failures of the system in certain situations is one of the foundations of the reliability of the project. Automation implemented into the project is a symbiosis of decentralised systems integrated into a digital network with the possibility of switching to a hard program or manual control if necessary. The developed concept allows to perform non-trivial tasks for the

intelligent control of Executive elements of technological process, for example, switching valves, dampers, motor control for input, output, for moving components of the production lines in the manufacturing process. In the process of production involved specialized transport system, developed with the participation of the International laboratory "Sensorika" and is used for drying and moving of castings and finished products in a production space with an area of about 1400 m². This system is made on the basis of individual robotic trucks, which are driven by electro engines and a set of sensor devices. One such transport unit is able to move in complicated paths of internal space elements of the finished product weighing up to 2 tons in conditions of high humidity. Part of the overall management system of the production cycle is the interface, that provides access to it with the purpose of remote monitoring, testing and upgrading process. When developing control systems of transport and manipulation robotic technology "Industry 4.0", in our project initially excluded the peripheral devices, which are not have a characteristics of flexibility. At the same time provides "intelligent data entry" through a system of sensors and feedback controlling the operation of all actuators with logical analysis and the detection of incorrect manufacturing processes, which significantly reduces the probability of violation of the technological cycle and emergency.

Keywords: industry 4.0, intelligent manufacturing, sensor systems, Cyber-Physical Systems, Internet of Things, artificial intelligence, automation, logical contradictions, cloud computing, industrial automation, remote monitoring.

М.Б. Игнатьев, В.П. Попов, М.Б. Сергеев
**ПРОБЛЕМЫ ВНЕШНЕГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЯМИ-
НАРУШИТЕЛЯМИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического
приборостроения
ignatmb@mail.ru, mbse@mail.ru*

Рассматривается проблема повышения безопасности дорожного движения и предлагается вводить внешнее управление автомобилями-нарушителями на основе использования интеллектуальных функций умных автомобилей и умных дорог. Анализируется проблема определения автомобилей – нарушителей в режиме on-line видеонаблюдения за транспортным потоком.

Ключевые слова: внешнее управление, умные автомобили, умные дороги, безопасность дорожного движения.

М.В. Ignatiev, V.P. Popov, M.B. Sergeev
**THE PROBLEM OF THE EXTERNAL DRIVING OFFENDERS TO
IMPROVE ROAD SAFETY**

*Saint-Petersburg state University of Aerospace Instrumentation
ignatmb@mail.ru, mbse@mail.ru*

Considers the problem of improving road safety and proposed to introduce external control of vehicles-violators based on the use of the intelligent functions of smart cars and smart roads. Examines the problem of determining the vehicles of offenders in the on-line video cameras monitor traffic flow.

Keywords: external control, smart cars and smart roads.

А.Н. Власенко, О.Е. Лапин
**ПРИМЕНЕНИЕ КОДИРОВАННОЙ АПЕРТУРЫ ПРИ ВЕДЕНИИ
ВОЗДУШНОЙ РАДИАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ МЕСТНОСТИ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
vlas@rtc.ru*

A.N. Vlasenko, O.Ev. Lapin
**APPLICATION OF THE CODED APERTURE WHEN CONDUCTING
AN AIR RADIATION SURVEY OF THE AREA**

RTC, Saint-Petersburg

В настоящее время в России и за рубежом активно ведутся разработки беспилотных летательных аппаратов (БЛА), способных нести полезную нагрузку массой от одного до нескольких десятков килограмм. БЛА являются перспективными носителями аппаратуры для ведения воздушной разведки в районах радиационных аварий с целью определения границ зоны радиоактивного заражения и местоположения наиболее загрязненных участков местности. Применение БЛА вместо пилотируемых летательных аппаратов в зоне радиационной катастрофы позволит полностью снять дозовую нагрузку на экипаж воздушного судна.

Анализ современных средств и методов беспилотного мониторинга показал, что БЛА в настоящее время в основном комплектуются поисковой аппаратурой, состоящей из одиночных детекторов гамма-излучения. Такой детектор позволяет обнаруживать локальные загрязнения по превышению радиационного фона на высоте полета БЛА, а также идентифицировать радионуклидный состав гамма-излучения. Тем не менее, если в поле зрения детектора на полосе поиска попадут несколько локальных источников, расположенных на некотором расстоянии друг от друга, аппаратура выдаст сигнал как от одного загрязнения суммарной активности. Таким образом, использование одиночного детектора позволяет только грубо оценить радиационную обстановку в районе радиационной аварии, причем составленная по итогам полета карта радиоактивного заражения может содержать неточности в плане определения истинного положения источников гамма-излучения.

Другой важной задачей при ведении радиационной разведки является определение активности каждого обнаруженного локального загрязнения для составления безопасных маршрутов следования техники. Если радиоактивное загрязнение представляет собой локальный источник гамма-излучения и находится точно под линией полета БЛА, его активность можно оценить, используя данные о высоте полета и зарегистрированной детектором плотности потока гамма-излучения. Но

если загрязнение содержит несколько фрагментов, расположенных в разных местах полосы поиска, определение активности данным методом будет содержать значительную ошибку. Использование разного рода защитных экранов, которые формируют диаграмму направленности детектора для определения направления на источник излучения и его точного местоположения, будет существенно увеличивать массу блока детектирования и уменьшать его чувствительность.

Решить поставленную задачу поможет применение устройств, также известных как «гамма-визоры», построенных на принципе кодированной апертуры. Данный принцип, заключающийся в модулировании потока гамма-квантов кодирующей маской, позволяет визуализировать множественные источники гамма-излучения и определять угловые координаты каждого источника в поле зрения устройства. Гамма-визоры в последнее время приобрели широкое развитие в связи с появлением новой элементной базы и компактных высокочувствительных детекторов гамма-излучения с широким рабочим диапазоном по мощности дозы гамма-излучения. Традиционно гамма-визоры строятся на основе двумерной кодирующей маски и позиционно-чувствительного детектора, которые позволяют получать одновременно две угловые координаты источника излучения относительно устройства (азимутальный и полярный углы). С другой стороны, грузоподъемность большинства БЛА не превышает нескольких килограмм, и данное обстоятельство накладывает ограничения на массогабаритные характеристики устройства. Снизить массу гамма-визора можно переходом от двумерного варианта кодирующих масок к одномерному варианту кодирующей линейки, которая будет перемещаться вместе с БЛА над поверхностью земли и модулировать потоки от всех источников гамма-излучения, расположенных на полосе поиска. Преимуществом такого варианта является существенное уменьшение габаритов и, как следствие, массы детектирующего устройства, так как вместо двумерной матрицы теперь достаточно использовать одномерную линейку детекторов.

Использование в качестве полезной нагрузки БЛА устройств с кодированной апертурой позволит составлять более точную карту расположения «горячих пятен» в опасной зоне, так как координаты источников гамма-излучения могут быть определены с точностью до нескольких метров по всей ширине полосы поиска. Дополнительным преимуществом является возможность определения активности каждого обнаруженного локального загрязнения.

А.В. Яскевич, И.Е. Чернышев
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА
НОВОГО ПЕРИФЕРИЙНОГО СТЫКОВОЧНОГО МЕХАНИЗМА**

*ПАО Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королева,
Королев
Andrey.Yaskevich@rsce.ru*

Рассматривается кинематическая схема и принцип действия нового периферийного стыковочного механизма на основе платформы Гью-Стьюарта. Его основной особенностью является накопление кинетической энергии сближения активного корабля в пружинах штанг платформы без их отдачи и демпфирования. Кинематическая модель платформы с проверкой сингулярности, трехмерная контактная модель звеньев и специальный алгоритм сканирования используются для определения рабочего пространства стыковочного механизма, ограниченного возможными, но нежелательными контактами. После этого выбираются параметры пружин штанг для исключения нежелательных контактов в наихудшем случае с максимальной величиной кинетической энергии сближения активного космического аппарата.

Ключевые слова: стыковочный механизм космических аппаратов, платформа Гью-Стьюарта, рабочее пространство, предотвращение контактов

A. V. Yaskevich, I.E. Chernyshev
**DESIGNING OF PARALLEL MANIPULATOR FOR A NEW
PERIPHERAL DOCKING MECHANISM**

*Energiya Rocket and Space Corporation
Andrey.Yaskevich@rsce.ru*

The kinematical scheme and principle of operation of new peripheral docking mechanism based on Gough- Stewart platform are considered. Its main features is accumulation of kinetic energy of active spacecraft approach in platform rod springs without theirs recoil and damping. Platform kinematical model with singularity check, links 3D-contact model and special scanning algorithm are used for determination of docking mechanism workspace limited owing to possible but undesirable contacts. Then parameters of rod springs are selected for avoidance of all undesirable contacts in worst case with max value of kinetic energy of active spacecraft approach.

Key words: spacecraft docking mechanism, Gough- Stewart platform, workspace, contact avoidance.

А.В. Лопота, С.А. Половко, Е.Ю. Смирнова, П.К. Шубин
**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИННОВАЦИОННОГО
РАЗВИТИЯ МОРСКОЙ СПАСАТЕЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ ДЛЯ
ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ АРКТИКИ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт–Петербург
alopota@rtc.ru, polovko@rtc.ru, eus@rtc.ru, shubin@rtc.ru*

Определены актуальность создания и области применения морских беспилотных роботизированных спасательных систем. Сформулированы принципы внедрения робототехнических комплексов для решения задач поиска и спасания на море и эвакуации с аварийных морских объектов. Рассмотрены концептуальные вопросы научно обоснованного инновационного развития морской спасательной робототехники для применения в экстремальных условиях Арктики. Предложена концепция создания авиа-десантируемых амфибийных робототехнических беспилотных средств интегрированных в состав роботизированных систем на базе авиационно-морских поисково-спасательных комплексов.

Ключевые слова: поиск и спасание на море, эвакуация с морских аварийных объектов, инновационное развитие, морские роботизированные беспилотные спасательные системы, концепция создания, безэкипажное амфибийное универсальное спасательное средство, авиа-десантируемые беспилотные робототехнические средства, экстремальные условия Арктики.

A.V. Lopota, S.A. Polovko, E.Yu. Smirnova, P.K. Shubin
**CONCEPTUAL ISSUES OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF
MARINE RESCUE ROBOTICS IN EXTREME ARCTIC CONDITIONS**

*RTC, Saint-Petersburg
alopota@rtc.ru, polovko@rtc.ru, eus@rtc.ru, shubin@rtc.ru*

Annotation: Relevance of development and application areas of unmanned marine robotic safe systems are defined. Implementation principles are set for robotic complexes that are intended to find and rescue in the sea and evacuation from emergency marine facilities. Conceptual development issues of marine rescue robots for use in extreme Arctic conditions are considered. Development concept of avia drop pod amphibious robotic means that are integrated into robotic systems based on the avia marine search and rescue complexes.

Keywords: sea search and rescue, evacuation from emergency marine facilities, innovation development, marine rescue unmanned robotic complex, design concept, unmanned amphibian universal rescue device, avia drop pod robotic means, extreme Arctic conditions

И.Э. Новиков
**ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ АВИАЦИОННОГО РАДИАЦИОННОГО
МОНИТОРИНГА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ**

novikov@rtc.ru

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт–Петербург

Решаются задачи поиска локальных источников гамма-излучения и дистанционного измерения мощности дозы гамма-излучения на высоте 1 метра над поверхность Земли.

Разработаны программный комплекс математического моделирования процессов переноса и регистрации гамма-излучения, а также методы и алгоритмы обработки спектрометрической информации для проектирования и обеспечения систем авиационного радиационного мониторинга поверхности Земли.

Ключевые слова: Авиационный радиационный мониторинг; контроль природных сред; спектрометры гамма-излучения; методы Монте-Карло; алгоритмы обработки спектрометрической информации; поиск локальных источников гамма-излучения; измерение мощности дозы гамма-излучения.

Актуальность работы обусловлена необходимостью модернизации существующих и разработки новых систем авиационного радиационного мониторинга (АРМ) поверхности Земли для улучшения их технических характеристик и обеспечения возможности эффективного решения с их помощью ряда задач в сфере современной радиационной безопасности.

Проведено исследование и модернизация методов дистанционного обнаружения локальных источников гамма-излучения и дистанционного измерения мощности дозы гамма-излучения на высоте 1 метра над поверхность Земли от радиоактивного загрязнения местности на базе спектрометрических сцинтилляционных блоков детектирования, размещаемых на борту летательных аппаратов, для повышения точности и достоверности результатов измерений и расширения области применения этих методов. Также на базе математического моделирования проводилась разработка эффективных средств проектирования и градуировки измерительных систем, реализующих указанные методы.

Разработана концепция повышения эффективности АРМ за счет конструктивного учета специфики условий измерений, разработки и применения соответствующих методов математического моделирования и обработки спектрометрической информации а также эффективной

реализации комплексного подхода для увеличения точности измерений, позволяющего существенно уменьшить величину погрешности при косвенных измерениях параметров поля гамма-излучения в природных средах.

Разработан уникальный пакет специализированных программных средств и реализованные в нем математические методы, непосредственно предназначенные для решения класса задач, связанных с получением методом Монте-Карло аппаратурных спектров и характеристик поля гамма-излучения вблизи границы раздела двух сред, необходимых для проектирования и градуировки систем дистанционного радиационного мониторинга поверхности Земли [1,2,3]. Следует отметить, что производится расчет не только интегральных, но и дифференциальных характеристик поля излучения. Использование данного пакета программ позволяет повысить точность получаемой информации по сравнению с традиционными экспериментальными методами, отказаться от проведения дорогостоящих натурных испытаний с высокоактивными источниками ионизирующего излучения опасного для здоровья людей и окружающей среды, расширить области применения аппаратуры и проводить градуировку даже для источников излучения недоступных в современной практике.

Разработан и программно реализован многоканальный спектрометрический метод дистанционного измерения мощности дозы и соответствующий разработанный в ЦНИИ РТК оригинальный математический аппарат для расчетов градировочных характеристик дозиметрической аппаратуры, позволяющий минимизировать погрешность от различий энергетических спектров реально измеряемого и учтенного источника излучения и использовать минимальный объем необходимых исходных данных для градуировки аппаратуры [1]. Разработанный метод обладает простотой и удобством при эксплуатации, обеспечивает наглядность представления промежуточных и конечных результатов расчетов градировочных характеристик, что дает возможность применять этот метод широким классом гамма-спектрометров для решения разнообразных дозиметрических задач.

Разработан метод дистанционного обнаружения источников ионизирующего излучения, использующего временные и спектральные отличия полезного сигнала от фона на основе применения разработанного в ЦНИИ РТК оригинального алгоритма обработки спектрометрической информации [1] и математического моделирования полезного сигнала, позволяет максимально повысить обнаружительные способности аппаратуры для различных условий применения, обеспечивает удобство проведения градуировки и оценки предельных потенциальных

обнаружительных возможностей аппаратуры методом математического моделирования.

Результаты работы апробированы и использованы в аппаратно-программных комплексах АРМ и в других комплексах радиационного контроля ЦНИИ РТК.

1. Сухоруков А.И., Хисматов И.Ф., Новиков И.Э. Основы теории аэрокосмического радиационного мониторинга Земли. Ч. 1. Физические основы радиационного дистанционного зондирования Земли. М.: Изд-во ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2011. 312 с.

2. Новиков И.Э. Пакет программ математического моделирования процессов переноса и регистрации гамма-излучения систем авиационного радиационного мониторинга // Научно-технический и производственный журнал "Вестник компьютерных и информационных технологий" № 8, 2013 С.16-21.

3. Новиков И.Э. Программный комплекс математического моделирования процессов переноса и регистрации гамма-излучения для разработки систем дистанционного радиационного мониторинга поверхности Земли. // Труды Международной научно-технической конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА» 24-25 ноября 2016, Санкт-Петербург. С.441-446.

I.E. Novikov

**STUDY OF THE POSSIBILITIES OF THE EARTH'S SURFACE
AERIAL RADIATION MONITORING EFFICIENCY INCREASING**

RTC, Saint-Petersburg

novikov@rtc.ru

The problems of searching for local sources of gamma radiation and remote measuring the dose rate of gamma radiation at a height of 1 meter above the ground are solved.

Software complex for mathematical simulation of processes of transfer and registration of gamma-radiation and methods and algorithms for spectrometric information processing are developed to obtain and ensure systems for the earth's surface aviation radiation monitoring.

Keywords: Aviation radiation monitoring; environmental media monitoring; gamma-radiation spectrometers; Monte-Carlo methods; algorithms for processing spectrometric information; local gamma-radiation sources search; gamma-radiation dose rate measurement.

М.А.Гудков¹, В.Н. Лукьянчик², С.Н.Овсянников³
**К СОЗДАНИЮ НАЗЕМНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО
КОМПЛЕКСА ПЕРЕДОВОГО АВИАЦИОННОГО НАВОДЧИКА
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АРМЕЙСКОЙ И ШТУРМОВОЙ АВИАЦИЕЙ**

¹ *Военная академия связи им. С.М. Будённого, 194064, Санкт-Петербург, Тихорецкий пр.3,*

тел. +7(812)247-94-94, e-mail: gudkovmihail82@mail.ru

² *Военная академия связи им. С.М. Будённого, 194064, Санкт-Петербург,*

Тихорецкий пр.3, тел. +7(812)247-91-93

³ *Военная академия связи им. С.М. Будённого, 194064, Санкт-Петербург,*

Тихорецкий пр.3, e-mail: stasfvo@mail.ru, тел. +7(812)247-98-58

Создание наземного робототехнического комплекса передового авиационного наводчика РТК ПАН ориентировано на два основных преимущества: первое - уменьшение потерь личного состава и техники при выполнении боевых и высокорисковых задач; второе - повышение эффективности решения известных задач и появление возможности выполнения новых задач, недоступных для решения человеком в силу физиологических и интеллектуальных ограничений.

Предлагаемый наземный робототехнический комплекс по своему оснащению является многофункциональным видом вооружения, обеспечивающим управление авиацией (летательными аппаратами) при выполнении боевых задач как совместно с общевойсковыми соединениями, частями (подразделениями), так и отдельно для нанесения ударов по противнику на изолированных направлениях.

Комплекс структурно и функционально состоит из систем, обеспечивающих его работу в автономном (автоматизированном) режиме и при дистанционном управлении.

Ключевые слова

Робототехнический комплекс, передовой авиационный наводчик, автоматизированное рабочее место, пункт управления, летательный аппарат.

M.A. Gudkov¹, V.N. Luk'yanchik², S.N.Ovsjannikov³
**THE CREATION OF A GROUND-BASED ROBOTIC COMPLEX OF
ADVANCED AIRCRAFT AIMER FOR THE MANAGEMENT OF
ASSAULT AND ARMY AVIATION**

¹Military Academy of telecommunication,3, Tikhoretsky pr., Saint-Petersburg, 194064, Russia,

tel.:+7(812)247-94-94, e-mail: gudkovmihail82@mail.ru

²Military Academy of telecommunication,3, Tikhoretsky pr., Saint-Petersburg,

194064, Russia, tel.: +7(812)247-91-93

³Military Academy of telecommunication,3, Tikhoretsky pr., Saint-Petersburg,

194064, Russia, tel.: +7(812)247-98-58,e-mail: stasfvo@mail.ru

Annotation

The creation of a ground-based robotic complex of advanced aircraft aimer is focused on two main advantages: first, - reduction of losses of personnel and military equipment in combat high-risk tasks; second, - increase the efficiency of task performance and creation of possibility for new tasks not available for human capability.

The ground-based robotic complex is a multipurpose type of weapons. He provides aviation management in combat task performance both with troops and without them.

The complex can operate autonomously and in remote control mode.

Keywords

robotic complex, advanced aircraft aimer, computer workstation, control center, aircraft

В.А. Кожемякин
**БЛОКИ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ ДИСТАНЦИОННО
УПРАВЛЯЕМЫХ БЕСПИЛОТНЫХ СРЕДСТВ РАДИАЦИОННОГО
МОНИТОРИНГА**

*Научно-производственного унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,
Республики Беларусь, Минск
info@atomtex.com*

Широкое распространение малоразмерных беспилотных систем в качестве средств обнаружения разноплановых наземных объектов стимулировало нарастающий интерес к бортовым малогабаритным устройствам детектирования гамма-излучения. Цель их применения в составе малоразмерных и миниатюрных летательных аппаратов – обеспечение дистанционного радиационного мониторинга окружающей среды в зонах, прилегающих к радиационно-опасным и радиационно-чувствительным объектам.

Для использования в составе таких летательных аппаратов предлагается линейка интеллектуальных блоков детектирования (датчиков) гамма-излучения, способная выполнять следующие функции в зависимости от их назначения и решаемых задач:

- обнаруживать источники радиоактивного загрязнения;
- измерять уровни радиации на высоте полета;
- приводить измеренное значение мощности дозы на высоте полета к уровню 1 метр (при наличии информации о высоте полета над поверхностью объекта);
- осуществлять идентификацию радионуклидного состава загрязнения по гамма-спектрам;
- оценивать плотность поверхностного загрязнения.

В докладе приведены основные технические характеристики 16-ти интеллектуальных блоков детектирования гамма-излучения, из числа которых может быть выбран потребителем приемлемый вариант в соответствии с допустимой массой полезной нагрузки и целевым применением.

К настоящему времени сцинтилляционные блоки детектирования БДКГ-11М, БДКГ-24, БДКГ-04, БДКГ-211М уже нашли свое применение в составе беспилотных малоразмерных летательных аппаратов (самолетов, вертолетов, мультикоптеров). В докладе представлены реализованные и рекомендуемые к использованию в их составе блоки детектирования,

особенности ведения радиационного мониторинга, его преимущества и ожидаемые результаты.

UDC 623.454.862

V.A. Kozhemyakin
**GAMMA RADIATION DETECTION UNITS FOR USE WITH
REMOTELY PILOTED AIRCRAFTS FOR RADIATION MONITORING
PURPOSES**

ATOMTEX Scientific and production unitary enterprise, Republic of Belarus,
Minsk
info@atomtex.com

The widespread use of small unmanned aerial vehicles (UAVs) for detection of different ground objects stimulated the growing interest in airborne small-sized gamma radiation detectors. The purpose of their application as part of small and mini UAVs is to provide remote radiation monitoring of environment in areas surrounding radiation-hazardous and radiation-sensitive sites.

We offer the range of smart gamma radiation detection units (Detectors) for use with such UAVs capable of performing the following functions, depending on their purpose and active tasks:

- detection of sources of radioactive contamination;
- measurement of radiation levels at flight altitude;
- reduction of the dose rate value measured at the flight altitude to 1-meter level (If altitude of flight above the object surface is available);
- identification of radionuclide composition of contamination by gamma radiation spectra;
- estimation of Γ surface contamination density.

This report presents main technical specifications of sixteen smart gamma radiation detection units available to customers, from which an acceptable variant can be selected according to requirements of maximum payload mass and target application.

By now BDKG-11M, BDKG-24, BDKG-04 and BDKG-211M scintillation detection units have already found their use as part of small UAVs (aircrafts, helicopters, multicopters). This report presents detection units used and recommended for use in assembly with these UAVs, features of radiation monitoring, its advantages and expected results.

Дудзиак М.
**ФУНКЦИОНАЛЬНО-ЛОГИЧЕСКАЯ ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА
ATHOS ДЛЯ ГРУПП РОБОТОВ С ВОЗМОЖНОСТЯМИ
САМООРГАНИЗАЦИИ И НЕПРЕРЫВНОГО ОБУЧЕНИЯ**

Академия Мирнова, Зеленоград, Россия

M. Dudziak
**ATHOS, A FUNCTIONAL-LOGIC OPERATING SYSTEM FOR ROBOT
COMMUNITIES WITH SELF-ORGANIZATION AND PERSISTENT
LEARNING CAPABILITIES**

MIRNOVA Academy, Zelenograd, Russia
martinjoseph@mirnova.org

This paper provides a summary of the ATHOS real-time meta-level operating system which is designed to serve as a cloud-based interpretative language enabling robots and other systems, including “internet of things” (IoT) apparatus, to establish multidirectional levels of communication, command and control. ATHOS is being developed using functional programming paradigms and is intended to be an open-source platform available to cooperative user communities and capable of integrating diverse hardware protocols and software systems within a device-independent computational environment.

Keywords: cooperative network, device independence, command and control, operating system, machine learning

The rapid development and proliferation of robotic systems, particularly UAV and UGV (ULV) units, for commercial applications, creates both opportunities and challenges that are not dissimilar to the situation in earlier decades with the introduction of personal devices for computing, telephony, and data storage uses. Presently there are diverse platforms and software modules and the proliferation of variety continues and even accelerates. The aim of the ATHOS architecture project is to produce a suite of tools, initially focusing upon software logics but also extending to physical modules, which can accommodate diverse designs and open-ended functions for robots that ultimately must be organized into cooperative networks and “teams” for tasks that span from agriculture to public health to security to space exploration.

In the past the dilemma of diversity and nonconformity has led to standardization and conformity, such as those relating to data storage and distribution via HTTP and other protocols on the internet. Rather than to attempt such measures as in the past, involving industry committees and formal standards, something that in the present economic and techno-accelerative climate is almost certain to meet

enormous resistance, we are taking a different approach with ATHOS. There are three foundational points.

[1] The combination of computational speed, coupled with the availability of both massive memory and distributed computing platforms, makes it practical to extend the use of interpretive scripts and languages including XML-type “markup languages” into functional areas that heretofore were the domain of classical “programming” languages. Such compiler-based and interpretive, machine-independent languages are ultimately the mechanism for command and control within any device such as a robot, but the highest-level system-level language can be independent of the machine software on which different functions will execute.

[2] The ease and efficiency of networking computing over distributed and time-shared platforms with sophisticated redundancy capability, such as with the mature and globally deployed Berkeley Open Infrastructure for Network Computing (BOINC), creates an opportunity for implementing high-demand computational tasks in high-mobility systems such as a group of robots operating in remote and even harsh conditions, including with limited or absent connectivity to the internet

[3] Inclusion of artificial (synthetic) intelligence capabilities, including self-generated machine learning, is both a practical and arguably a necessary component for multi-robotic networks that will operate on real-time tasks which introduce highly variable operating conditions. Robotic elements will need to share in the cybernetic functions of their operations and not depend upon connectivity and time-constrained interfacing with human operators. Simple autonomous operations that do not enable active real-time new learning and active cooperative command-sharing among robots is inadequate for the long-term.

Thus, ATHOS is being designed to incorporate the progressive and stepwise development of an artificial intelligence (AI) based operating system and programming language suite, along with appropriate electro-mechanical devices and systems that can interface to such software, within principally unmanned robotic sensing, data collection, analysis and knowledge generation, provided through UAV (unmanned air vehicles; “drones”), UGV (unmanned ground vehicles) and AUV (unmanned water (surface and subsurface) vehicles).

The range of such applications is diverse and open-ended and includes these eight main categories as a “mandate” list of functions that can be performed by robot networks and for which a new “C3” paradigm of command, control and communication such as ATHOS is necessary:

- energy conservation, discovery, generation, optimization
- environment and ecosystem management
- public and personal healthcare
- security including incident and emergency management

- space-based construction, exploration, and industry
- entertainment and leisure including gaming
- civil engineering including infrastructure maintenance, construction
- agriculture - food and water production and management

ATHOS is described (and thus named) as an Adaptive set-Theoretic Hierarchical Operating System. It derives architecturally from prior research that originated in the early 2000's with the CUBIT architecture for implementation of sensor and sensor + actuator networks used for environmental, health and emergency situations. This became implemented first as an "Internet of Things" (IoT) system that was geographically distributed but operating as data collectors (sensors for CBRNE (chemical, biological, radioactive/nuclear and explosive) substances. Known as Nomad Eyes, its mobility was strictly limited to positioning of static sensors in different locations by human operators, and through mobility of wireless devices such as mobile phones with sensor devices as auxiliary attachments. The chart below illustrates a portion of the formal taxonomy of CUBIT. Figure 1 shows the general features of the Nomad Eyes system architecture.

The fundamental basis for ATHOS derives from classical parallel processing of the type known as MIMD (multiple-instruction, multiple-data) networking, involving asynchronous and asymmetric-load processes that communicate through a hierarchy of message types. These processes are mapped across the computing resource pool of devices such as active UAV and UGV robots and also conventional computers and servers. Through ATHOS, users and robots communicate with one another independent of the specific platform logics and protocols for the individual devices. In the background of ATHOS is processing that employs open-ended machine learning such as HORUS (Hierarchically Organized Reasoning and Understanding System) and APIS (Anomaly and Pattern Interface Schema).

(cubit-element /* **cubit-ε** --- fundamental cubit logic element */

(binar /* elementary agent unit – computational and physical components (Biological-like Intelligent Neural Adaptive Recognizer) */

(cybot /* generic, limited-autonomy, limited-modifiability binar – computational element (analogous in some respects to "bots") */

(cybernaut /* a type of cybot dedicated to coordination and control functions within a cubit-structure */)

(cybereng /* cybot dedicated to energy, power, and mechanical functions within a cubit-structure */)

(cyberent /* cybot dedicated to environmental data acquisition and effect functions within a cubit-structure */)

(**cybermed** /* cybot dedicated to biological and medical-type functions within a cubit-structure */)

(**cybersec** /* cybot dedicated to security and countermeasure functions within a cubit-structure */)

) /* cybot */

(**mentat** /* self-organizing and semi-autonomous binar – computational element with greater complexity than a regular cybot (analogous in some respects to “bot masters” - subtypes include the same classification order as with cybots */)

(**m-cybernaut** /* a type of cybot dedicated to coordination and control functions within a cubit-structure */)

(**m-cybereng** /* cybot dedicated to energy, power, and mechanical functions within a cubit-structure */)

(**m-cyberent** /* cybot dedicated to environmental data acquisition and effect functions within a cubit-structure */)

(**m-cybermed** /* cybot dedicated to biological and medical-type functions within a cubit-structure */)

(**m-cybersec** /* cybot dedicated to security and countermeasure functions within a cubit-structure */)

) /* mentat */

(**kyber** /* type of binar specifically dedicated to KYBEROS hyper-encryption and hyper-security tasks */)

(**soph** /* higher-complexity, higher-autonomy binar – essentially an assessor, evaluator, and coordinator of mentats and cybots and elemental binars – subtypes include the same classification order as with cybots and mentats (e.g., cybernaut... cybersec) */)

) /* binar */)
/* cubit-ε aka cubit-element */

(**cubit-structure** /* **cubit-σ** --- fundamental cubit machine structure */)

(**cubit-λ aka logic-cubit** /* algorithmic, logical, computational structure – manifest in software, not in physical components, although the logic may be implemented in firmware such as a micro/nano-processing object */)

(**binet** /* configuration of logical, computational operations and processes constituted and conducted by binars */)

(**cyborg** /* organism/community-configuration of binets – example: as implemented in an IoT device */)

(**cyberecos** /* ecosystem-configuration of cyborgs – example: as may be implemented in a LUXworld */)

(**LUX** /* computational configuration (environment) for the control and operation of cubits in AR (“augmented reality”) and VR applications involving interactions and interfaces with conventional computing devices and humans */)

) /* cubit- λ aka logic-cubit */

(**cubit- μ aka cubit-Mod** /* physical, mechanical, modular device – e.g., micro/nano-processing object, MEMS device, electromechanical machine, module composed of several integrated circuit components, simplex or complex cubit physical device, macroscopic machine, etc. */)

(**cubit- δ aka simplex-cubit** /* simpler, unitary, modular “building-block” type of physical cubit that can be combined physically and functionally with other simplex and complex cubits */)

(**cube** /* physical cube-geometry cubit */)

(**C-cube** /* computation cube */)
data-acquisition cube */)

(**D-cube** /*

(**F-cube** /* function cube */)
interface cube */)

(**I-cube** /*

(**M-cube** /* memory cube */)
power cube */)

(**P-cube** /*

(**R-cube** /* router cube */)
transform cube */)

(**T-cube** /*

) /* cube */

) /* cubit- δ aka simplex-cubit */

(**cubit- κ aka complex-cubit** /* non-simplex, non-cube, variational design and function, compound-element cubit */)

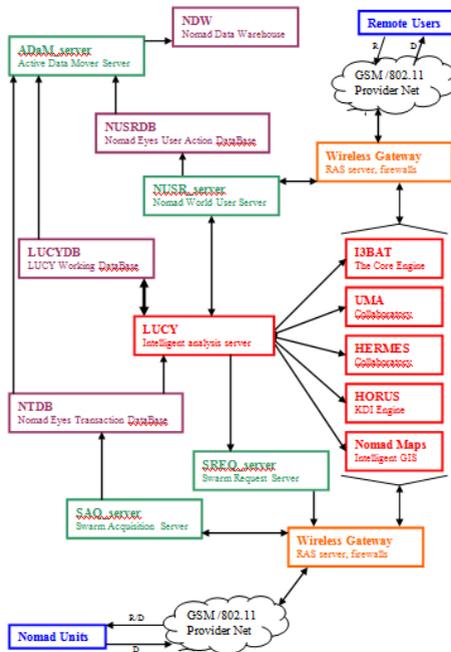
(**cebit** /* **chemical, environmental, biological interaction** technology unit – a specialized F-cube or multi-cube device that serves as a sensor or actuator designed to react with one or more specific stimuli of inorganic or organic chemical compounds including biologically-active and

Figure 1 – Nomad Eyes architecture (system-level)

Within ATHOS, this architecture undergoes significant modifications. Sensor and actuator management, and other device-operation tasks, along with data acquisition, error-correction, mapping, and knowledge extraction processes, are handled as distributed processes following the CSP (CDP) overall process architecture, based upon classical MIMD parallel processing.

Agents (known as cybots, binars) are assigned responsibilities for tasks including resolution of information conflict and uncertainty. The human element in the system is “adjustable” on a metaphorical “sliding bar” ranging from full engagement (non-autonomous real-time and constant control) to fail-safe interruption (autonomous, but humans can override at any point).

radioactive substances



Communicating Dynamic Processing (CDP) derives from Communicating Sequential Processing (CSP) and the seminal work of Hoare and others, leading to process algebras that establish the communications among individual nodes (units, robots) and the distributed knowledge processing (e.g., HORUS). The importance of process algebras within ATHOS is central for development of an extensible platform that will be capable of process distribution and resource allocation. In other words, an array of robots and the dynamic processing in a given task will be distributed among all available devices in a manner designed to optimize performance, taking into account location, security, and projected task demands upon individual processor elements such as UAVs and UGVs. An algebraic approach will enable both “look-ahead” and “fault-tolerance” functionality.

HORUS is a computational system for maintaining a library of knowledge about objects and their relations that can be used by a wide variety of humans and other computational systems for understanding the meanings, uses, and relationships between different concepts, terms, physical objects, and media including objects that are text, audio, image, video, and other hypermedia (web-based) entities. As illustrated in Figure 2, HORUS provides a mechanism for the use of incomplete concepts, terms and functions, including “shell” code that is incrementally built up and completed. Such an approach will initially require human intervention of what may be future autonomous functions, and in the process there is opportunity for refinement of algorithms and the interim use of pre-existing software even if such use demands less autonomy and more direct intervention by operators.

APIS is a mechanism for building the knowledge world of HORUS which in turn serves the applications of multi-user network communities such as robots. APIS provides a means for design-agents (human or robot) to create real-time (“on the fly”) packages of definitions, functions, and software for use in searching for, identifying, comparing, and acting in response to different categories (types) of patterns within data streams where the patterns of interest are typically those that stand out as being of interest by virtue of being anomalies, discrepancies, disturbances, departures from the norm, and other situations requiring some type of attention and intervention. The capabilities of APIS and its applications extend far beyond the customarily connotations of “anomaly” and similar terms. In effect, APIS provides a cybernetics language and computational environment, an architecture and toolset for control of exceedingly diverse systems, from purely informatics resources, to autonomous devices and machines, to highly complex networks of humans, autonomous agents and machines operating in SCADA-type networks.

APIS has been designed to accommodate any type of data stream that can be treated in terms of objects with definable, separable attributes and behaviors. Figure 2 illustrates in Backus-Naur format the APIS schema. Thus it is an

architecture and set of computational tools for use with subject matter as diverse as:

- people or vehicles moving through corridors, channels, passageways, gateways, etc.
- financial and general text transactions and messages
- real-time medical instrumentation readings and measurements
- power consumption by machines, sectors of a building, regions of a neighborhood or city
- traffic system flow on highways, rail lines or air routes
- people interacting with co-workers and customers in business or social contexts

This can be adapted to serve comparable needs within a network of robots and other autonomous systems, not only to detect and manage anomalies as such but for a wider class of patterns such as behaviors that need to be performed in the course of a mission, some of which will be triggered by observed events during that mission.

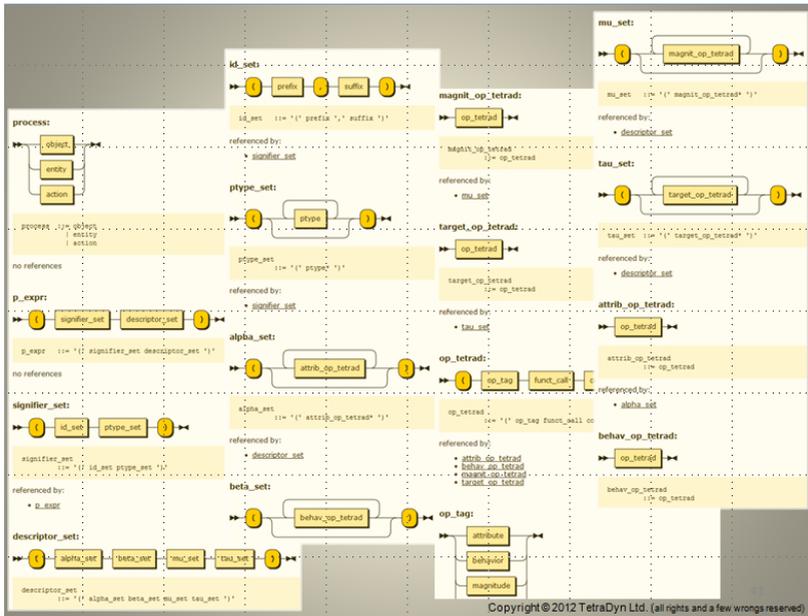


Figure 2 – APIS Schema in BNF

The use of an XML-type scripting language for encoding actions to be performed by devices will enable operators to express the logic of a mission (e.g., surveying of an agricultural area, or an environmental zone after some event such as a flood or storm) in progressively human-language and “ad hoc” terms. This will aid in the process of planning such missions. From the tagged (markup) commands, selection is made from libraries of existing “API” code for specific instruments (e.g., UAVs). This also aids in the meta-task project management tasks for identifying software modules that require new composition or editing. Scheduling issues can be minimized by having a clearer understanding of what software engineering tasks require priority attention. This also enhances adaptability of the entire deployed system (robot network) for being able to accommodate new assignments (e.g., switching from agricultural to other assignments).

Two projects are currently providing platforms for development and testing of ATHOS modules and their integration. One is the AgriBrains project for open-ended and interchangeable-component networking of UAVs and other robotic units in agricultural and environmental applications such as monitoring of irrigation, soil conditions, insect and other pest behavior, and harvest readiness of fruits and vegetables. A second project is underway as part of a research consortium spanning from theory to applications that are space-focused but still very much involving networks of cooperative, diverse-architecture and multi-task robots – ASTRIC (asteroid deterrence, space-debris management, and future

space-based mining/manufacturing). This project will draw upon ATHOS for the end-user device operations. Involved currently are researchers in cybernetics and control systems, aerospace, and materials science from Saint Petersburg and South Urals Universities, Norwegian University for Science and Technology, and the NEOShield-2 program co-managed by European Space Agency and other members.

In summary, ATHOS will be a self-adaptive, self-learning, self-modifying operating system for hierarchically-organized communities of machines that perform tasks involving motor, sensory, and cognitive processes. It provides for limited-restrictive dynamic construction of a vocabulary and grammar that is used to describe and control processes in dynamically-configured networks of heterogeneous machines. Such networks typically involve autonomous and semi-autonomous robotic devices equipped with a variety of sensors, actuators, and analytical processor components.

M. Dudziak. SOLON: An Autonomous Vehicle Planner, Proc. of the JPL Workshop on Space Telerobotics, JPL, Pasadena CA (1990)

M. Dudziak. Parallel Replicative Neural Networks for Cooperative Robot Systems, NATUG-90, Santa Clara CA, April 1990

M. Dudziak. Spaceships To Planet Earth: Designing Systems for Space that Sustain Life on Earth. Dupont Summit, Washington DC, Dec. 2015

I. Ermolov, V. Gradetsky, M. Knyazkov, S. Sobolnikov. Cooperative Motion Planning of Autonomous UGVs for Mobile Reconfigurable Communication Networks, Proc. of IEEE-RAS-IARP Joint Workshop on Tech. Challenges for Dependable Robots in Human Environment, IROS2013 WS, Nov. 3, 2013, Tokyo, Japan

C. A. R. Hoare. Communicating Sequential Processes, Prentice Hall, ISBN 0-13-153289-8.

Robin Milner. A Calculus of Communicating Systems, Springer Verlag, ISBN 0-387-10235-3.

Robin Milner. Communicating and Mobile Systems: the Pi-Calculus, Springer Verlag, ISBN 0-521-65869.

H. Yamaguchi. A Cooperative Hunting Behavior by Mobile Robot Troops. IEEE Intl. Conf. on Robotics

and Automation. May 16-20, 1998, Leuven, Belgium, Vol.4, p. 3204-3209

A.S. Yushchenko, K.V. Ermishin. Collaborative Mobile Robots – A New Stage of Robotics. Proc. Intl. Scientific and Technological Conference EXTREME ROBOTICS. Nov. 24-25, 2016, St. Petersburg, Russia

Дудзиак М., Гранчин О.
**СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАБОТЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ
УСЛОВИЯХ, НЕОПРЕДЕЛЕННЫЕ И НЕКООПЕРИРУЕМЫЕ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СЕТИ И СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ,
ПОСТРОЕННЫЕ НА ОСНОВЕ СТОХАСТИЧЕСКИХ
АЛГОРИТМОВ**

Академия Мирнова, Зеленоград, Россия

M. Dudziak, O. Granichin
**EXTREME COMPLEX SYSTEMS, UNCERTAIN AND
UNCOOPERATIVE ROBOTIC NETWORKS, AND CONTROL
STRATEGIES BASED UPON STOCHASTIC ALGORITHMS**

*Institute for Innovative Study, Ann Arbor, Michigan
martin@instinnovstudy.org
Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia
oleg_granichin@mail.ru*

Deterministic control of complex systems, particular those with multiple components exhibiting high degrees of uncertainty and asymmetric behavior, is subject to both unpredictable error and computational performance limits. This is seen particularly in systems whose components (such as robots, satellites and other “agent” devices) are constrained by limited size, power and computational capacity, such as in remote operations such as space-based engineering. Stochastic approximation and randomized algorithm methods offer sound alternatives when coupled with adaptive pattern recognition and machine learning, plus experience-trained heuristic models. Heterogeneous approaches that can incorporate learning and self-correction models during remote autonomous operations offer solutions for reducing state space complexity and avoiding critical instability and catastrophe points. Experiments in aerodynamic turbulence are providing a platform and set of models that can be transferred into such diverse applications as cooperative robotics in construction, network management, biomedical monitoring, and space-based challenges such as defense from asteroid impacts.

Keywords: complex systems, uncertainty, stochastic algorithm, randomized algorithm, cooperative network, device independence, space robotics, command and control, artificial intelligence, machine learning

Multi-agent networks and autonomous systems including mobile-capable robots become more common in life-critical applications such as mass transportation, military and security operations, manufacturing, healthcare, and public infrastructure management. Such systems are increasing in their capabilities and

diversities of tasks that can be performed, including unattended tasks that can be life-saving when performing optimally and according to design. Stabilization, cooperation within confined physical and operational environments, and solutions to turbulence are among the types of problems that are addressable and desirable, thus compelling the argument for introducing more robots and more AI (artificial intelligence) into critical infrastructure and life-support systems.

However, there are also vulnerabilities that derive from the inherent high dimensionality of any system state space and the critical points into which functions within such a system may lead. Simply put, singularity events can be more sharply and irreversibly catastrophic. The goal of reducing a complex state space is a challenge in any environment where there can be uncertainty or fuzziness with regard to that dimensionality and the relations between parameters which may be inherently noisy or difficult to measure under any circumstances. Risks of system instability and criticality are further exacerbated by conditions that can be introduced from external agents and unpredictable configurations into which even a well-designed and well-tested system (e.g., aircraft, rail, satellite, wireless network) may be placed. External-origin disorders and failures increase in relation to not only complexity within a control system model and its physical and computational implementation, but also in response to other paths to vulnerability.

The outcome for end-users (passengers, patients, bankers, communication networks, civil engineers) may be quite more severe in cases of critical mechanical failure, incidents of cyberhacking, or system critical points and singularities that were not projected during the design process. The increased capabilities (as well as the sharper vulnerabilities) may often be linked directly to the capabilities (and limitations) of machine learning and artificial intelligence (AI) mechanisms, coupled with the performance speeds and responsiveness of computing and communication devices for managing the individual components and composite systems. Supercomputing, high-bandwidth and AI can offer a “double-edged sword” in many respects – improved or optimal performance and beneficial results, when everything is running smoothly, or else true “crash and burn” catastrophic results when some critical point has been reached, especially if the existence of the critical points or regions in a system's performance are unknown or insufficiently predictable.

All of these issues become even more delicate and potentially severe in impact when the operations are conducted in remote environments such as orbital, lunar or interplanetary space. The majority of space-based tasks, to date, have been generally limited to singular (even composite) devices (e.g., satellite or landing rover) with limited variations in the type of interactions that may take place. As complex as have been missions to Moon, Mars, Jupiter, Saturn, 67P/Churyumov–Gerasimenko and other destinations, there have been limited

and strongly constrained operations involving two or more robot devices interacting with each other and/or with manipulation-type operations involving other objects such as an asteroid or a fragment of space debris. Moreover, command and control involving human operators has been highly constrained in order to accommodate normal signal transmission delays as well as periodic and asymmetrical breaks in uplink or downlink signaling. Space robotics has, until recently, been kept quite simple in comparison to what demands are now emerging, particularly in some areas of space engineering.

The growth of interest and the emergence of capable instrumentation – coupled with the need for productivity and commercial return values - demands much more complexity in future space operations. These include space-based construction and assembly for both habitation and manufacturing, asteroid mining, and also asteroid deflection and other forms of NEO impact deterrence. This “demand portfolio” alters radically the requirements for intelligent, adaptive, and fault-tolerant control systems. Deterministic models cannot work satisfactorily when parameters cannot be identified, measured and estimated with sufficient certainty. This critical claim is directed also at such quasi-deterministic models which include Bayesian probabilistic networks, neural networks, and other variants of both statistically-based and rule-based “machine learning.”

It is thus argued here that a new type of thinking about command and control is necessary, and with it, a new type of computing architecture as well, for the types of machines and systems that offer such dual-impact concerns which may be termed “Extreme Complex Systems” or XCS. However, this new cybernetics and new computation is not simply a move into multi-agent parallelism, which is still inherently deterministic (in most architectures; Figure 1). We suggest, on the basis of formal and experimental results, that stochastic, randomized, and non-parametric-dependent modeling may be often more effective for stable control of such XCS environments.

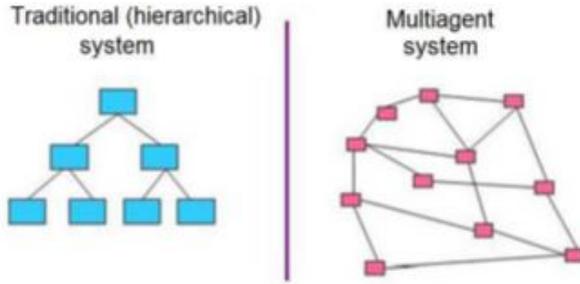


Figure 1 --- Hierarchical vs. Multi-Agent Control - but still deterministically based [1]

Such XCS-type systems are not only of a type such as multiple robots working together to construct a space station on the Moon or Mars, or to perform drilling, ballistic blasts or other forms of trajectory change for an asteroid, but such examples are among the most clear-cut cases of a class of problems that are presenting themselves for solutions and for which traditional “linear” thinking and also conventional Turing-Machine computation is running into barriers of performance and accuracy. There are many other “earth-bound” problems that approach or match the complexity, uncertainty and non-deterministic character of space-based multi-agent robotics – for example, aircraft turbulence, high-density highway traffic, global wireless network load balancing, and cardiovascular arrhythmia response.

We make a distinction here from other forms and levels of complexity in both natural and artificially-engineered systems. By XCS we mean those types of systems which are inherently hard to formulate into models and algorithms to process such models, by virtue of the uncertainties and stochastic, random-like natures of their parameters, and through the complex relationships and interdependencies among those parameters. Computationally, these may be NP-hard problems, but not necessarily so. Instability and insufficiency within a given control system may be not only due to the calculations that must be performed in order to ascertain values and even value ranges for such parameters. Limitations on physical hardware and long-distance communications, for instance in aerospace as well as high-speed rail, subsurface sea, and high-density highway traffic, curtail the ability to perform calculations that even in “polynomial time” may vastly exceed the time limits for answers, for decisions on course correction.

An XCS environment can be considered as having an unknown and uncertain structure, where that structure s_k changes in time instances t_0, t_1, t_2, \dots . The task of understanding how s_k changes at specific instances t_i and in response to certain parameter changes may not be computationally achievable, certainly within

finite time intervals when change (adaptation) is required in order to avoid catastrophic critical values. The path forward to understanding how changes and how to adapt in terms of a control system may be realized by a technique of dividing the state space into regions, clusters, or cellular networks. Clustering of the state space may be understood as:

$$X_{sk} = \{X_1, X_2, \dots, X_{n(sk)}\} : X = \cup_{i=1,2,0,\dots,n(sk)} X_i, \text{ where } X_i \subset X$$

The goal from a cybernetic perspective becomes then one of identifying changes within dynamically defined regions or clusters, making use of simplified sampling and adaptation, avoiding the computationally intensive and deterministic methods which can be less resilient to unexpected and non-linear behaviors, and impractical from the standpoint of practical engineering, especially in the case of microscopic-sized or ultra-light devices.

Networks of both mobile and stationary robots and other autonomous or semi-autonomous devices are often characterized by uncertainty in data reporting, sharing and analysis within the network. Again, these problems become exacerbated by factors such as physical distance (light-years or simply “light-minutes”), bandwidth competition, and asymmetric threats (e.g., cyber-hacking). Furthermore there can be problems of conflict or “un-cooperativity” which pertain to conflicting agent goals and sharing of resources such as energy (fuel, accessory equipment and supplies, etc.). This can also be described in terms of load-balancing problems, but the problem becomes more complicated as the autonomy and independence of the agent subsystems increases. Competition over resources can include inadvertent competition for access to a physical connecting port, for example, or a location for either placing or retrieving some object (e.g., drilling or removing a machine part or a sample from an asteroid surface). The overall mission task of the robot network (“team”) may be further complicated by a combination of other factors, all of which carry elements of uncertainty and undecidability – for example:

- fuel/power consumption during repositioning or “wait-mode” states
- maintaining a steady position relative to another moving object
- irregular and “wobbly” motion of some target object (e.g., asteroid or fragment thereof)
- collision avoidance and consumption of fuel with reverse thrusters, etc.
- performing work tasks within a prescribed period (e.g., sufficient access to sunlight for solar panels)

The principle challenge with XCS is the issue of undecidability about critical points and regions, also known as singularities. A general or comprehensive

model of interaction within distributed and non-stationary spaces that does not allow for the appearance and even dominance of critical points can lead to catastrophic results (mathematically and physically). Failure to observe minute variations and gradient changes can lead to irreversible situations. However, such minute variations may be measured and analyzed much faster through attention to local neighborhoods and cellular-type regions or fields of data. This path has led to new approaches using sets of localized models that have simpler and potentially faster computational loads and which can be conveniently mapped to parallel architectures. Such models are characterized by asymmetric, stochastic methods for sampling, estimating, and assessing predictive values for regions in a data space where changes may otherwise be unobserved within constraints of computational time.

Stochastic programming is one framework for modeling of optimization problems that involve uncertainty in both the identity and interrelationship of parameters and in their values at given instances and configurations. Whereas deterministic optimization problems are formulated with known parameters, real world problems almost always include some unknown parameters. One of the approaches for solving such problems, when the parameters are known only within the certain bounds, is called the robust optimization. Here, the goal is to find a solution, which is feasible for all such data and is optimal in some sense. Stochastic programming models are similar in style, but take the advantage of the fact that probability distributions governing the data are known or can be estimated. The goal here is to find some policy that is feasible for all (or almost all) the possible data instances and minimizes the expectation of some decision functions and the random variables. More generally, such models are formulated, solved analytically or numerically, and analyzed in order to provide useful information to a decision-maker. The approximation techniques are then extensible to randomized selection and trial (an interpolation process) of algorithms for adjusting system parameters (Figure 2). In the experimental case described here, this randomization is performed with wing-flap adjustments in response to randomly sampled pressure readings.

The Local Voting (LV) control protocol developed by Granichin et al [1] is one such model. It operates with a nonvanishing step-size for conditions of significant uncertainty and external disturbances [2]. The objective is to detect changes that may be insignificant in most cases but which can be

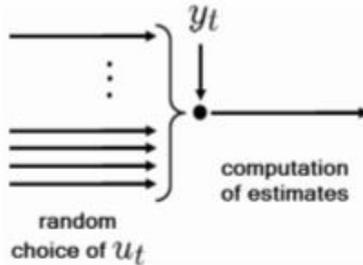


Figure 2 – Random selection of estimation and control coupled with learning and optimization of choice [1]

indicative of developing conditions that could have irreversible effects. This stochastic gradient-like (stochastic approximation) method has also been used before in other works (see, e.g. [3], [4]) but with a decrease to a zero step-size. Usually, the stochastic approximation is studied for unconstrained optimization problems, but the above-mentioned results stimulated the development of new approaches [5] to track the changes in the parameter drift using the simultaneous perturbation stochastic approximation [6].

An experimental platform has been developed [1] (Figures 3-6) which addresses one major problem in aerodynamic stabilization during turbulence, focusing upon wing surface pressure points as the key observable parameter. This may be considered as a prototype for use of the LV protocol to other applications including the interactivity among a group of cooperating robots, or the dynamics of one or several robots manipulating an unwieldy, relatively amorphous and free-standing object, such as an asteroid or other object in low-gravity or zero-gravity (e.g., “space-debris” in near-earth orbit). In such a case the “turbulence” is not present in a classic aerodynamic or hydrodynamic phenomenon but there are comparable dynamics in the forces exerted between the target object and the robot apparatus operating with it. Simple joining of satellites, robots, and manipulation of fixed-geometry parts in zero-G space offers challenges that are “extreme” in comparison to those in an earth-gravity or planet-gravity region, and the demand for computational simplicity and speed (other than what can be provided by impractical “supercomputers” or machines requiring cryogenic environments (e.g., contemporary “quantum computers”)) becomes mandatory.

Consider a wing structure whose surface is covered with actuators that serve as mini-wingflaps, each coupled with a pressure sensor, such as illustrated in Figure

3. Each sensor-actuator unit may be considered as an active agent in a computational network. However, sampling – and motor response – can be performed asynchronously and asymmetrically – this derives from the use of the stochastic approximation methods.

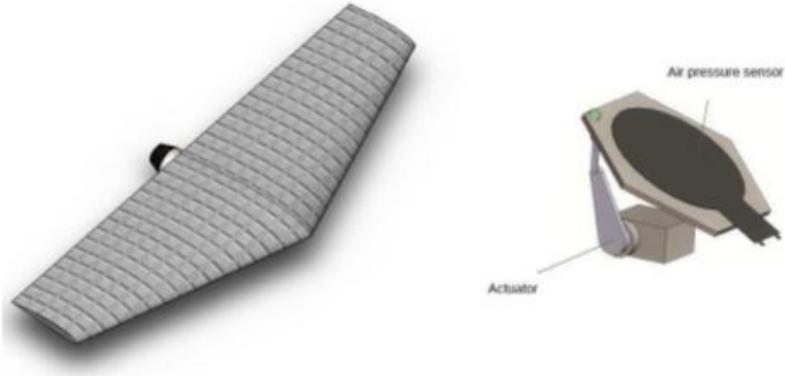


Figure 3 --- “Wings with feathers” [1]

Let x_k^i be the integrated pressure deviation for “feather” a^i – data derived from sensor measurement

Agent dynamics may be described as: $x_{k+1}^i = f(x_k^i, u_k^i)$, $i \in N = \{1, \dots, n\}$

Observations: $y_k^i = x_k^i + \xi_k^i$

The Local Voting Protocol is given by: $u_k^i = \alpha \sum_{j \in N_k^i} b^{ij} (y_k^j - y_k^i)$

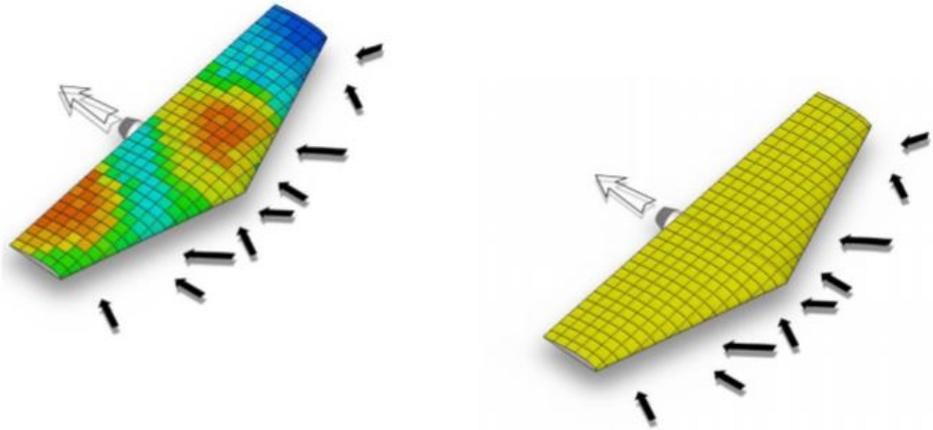
Consistent behavior (consensus): $x_k^i \approx x_k^j$, $i, j \in N$

In a turbulent flow environment, with no responsive adjustments to the sensor-actuator units, LV readings across the wing surface will resemble a “kaleidoscope” effect among the regions, as shown in Figure 4 below. All actuator units “feathers”) in the wing remain unadjusted and with no change in orientation in response to changes in applied external pressures. The consensus “goal” state (illustrated in Figure 5) provides for uniform or within-threshold

values from all LV “cellular regions” (clusters) during turbulent conditions, achievable in this case through servo-controller adjustments of the sensor-actuator “feather” units.

Figure 4 --- Wing sensor field under turbulence [1]

Figure 5 --- Wing



consensus state under turbulence [1]

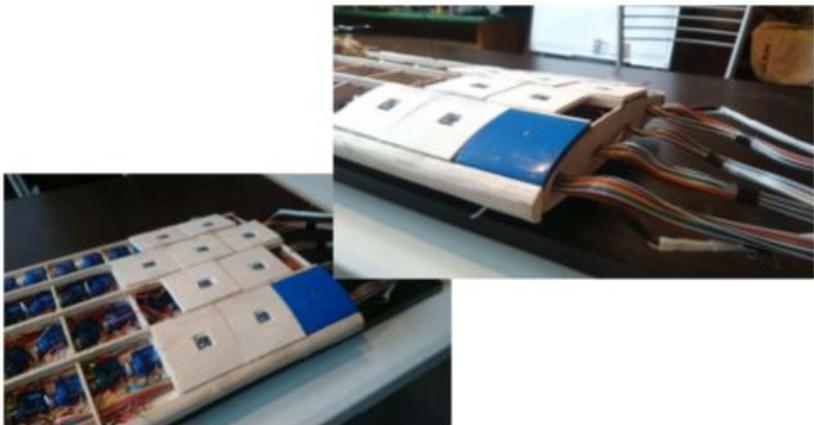


Figure 6 – Experimental Wing Sensor Platform [1]

In this given experimental case the LV clusters are statically defined by the geometry of the sensor-actuator units (Figures 3 and 6). However, stochastic approximation and randomized sampling and perturbation is not limited to a static architectural model of the given system, but quite to the contrary. A conventional aircraft wing, and the entire vessel, constitutes a static geometry –

the wing has a defined and permanent geometry. In other applications and tasks the LV regions need not be uniform, nor static, in their geometry. For instance, consider cooperative agents working with interchangeable components (such as tool fittings) in physically dynamic environments with unpredictable kinetics (such as an asteroid in the process of being mined or split into fragments with the intention of reducing impact threats to Earth or some other habitation). It is possible to create different “dynamic” maps of LV cellular regions and also larger assemblies of clusters, with different geometries that correspond to how the system is being affected by its environment at any given time period.

Within XCS operations there are critical time intervals for such adaptations that can avert an critical “singularity” event affecting the entire system. Adaptation of wing surfaces (and potentially also other components) in an aircraft to atmospheric turbulence requires that decisions be made regarding adjustments of multiple actuators. Randomized alterations to small regions (clusters) of the system space have two unique advantages over models that attempt to comprehensively address the entire system. First, results can generally be achieved faster and with fewer computational resources. This is significant for mobile, remote and compact device platforms (such as satellites and other space vehicles, robotic or otherwise). Secondly, and very significantly, errors in the decision process – which can be frequent in beginning stages of a cybernetic system adaptive learning process – will be more localized, more containable, and more easily correctable, than errors which affect large sectors of some system performance. Drawing from the illustration of wing adaptation to turbulence - adjustment of several “feather” actuators, in a way that has an adverse or otherwise non-beneficial effect on the overall system, will (generally) be more easily correctable and offset by other adjustments, in contrast to a system-wide adjustment that may be irreversible.

A Thought-Experiment with “Cosmic” Implications

Consider a network of 10, 20, 50 or more robot devices, each powered by an ion propulsion engine, each equipped with a toolset that may consist of drills, impactors, chisels, cables and grappling hooks, and apparatus for placing ballistic charges. These form a cooperative team of robots working on an asteroid (perhaps 10m – 20m in approximate diameter) traveling in space, perhaps even on a potential collision course with Earth. There is limited opportunity for use of massive or physically cumbersome supercomputing, and real-time human or even AI control from Earth may be completely out of the question. The objective is to alter the asteroid’s trajectory or to otherwise reduce its capacity for surface impact or for a severe air burst with consequences for human life Earth.

Tunguska and Chelyabinsk offer two actual case histories within the past century-plus.

Consider the stochastic approximation and randomized algorithm methods being applied within a sensor-motor control system that is intended to optimize the cooperation among several robots to orient the asteroid rock and to configure the positioning of robots and tools for a variety of engineering tasks. The range of operations spans from drilling to use of ballistics, kinetics, gravitation mass adjustments and the use of nets and tethers. All of these decision processes ultimately depend for their possible successful completion upon the control of multiple units in what amounts to being a turbulent, dynamic, uncertain environment in which there are many critical points within the overall system state space, and wherein there is a high degree of uncertainty, noise, and unpredictability. The “turbulence” is not involving air, water or any physical “fluid” but it involves the movements and positioning of multiple bodies, the largest and most massive being the least controllable and adjustable (namely, the asteroid object). During all of this process there are two major limits that have critical “countdowns” - the amount of time that can be expended operating the robots, because they all have finite fuel and power reserves, and the amount of time before a projected Critical Point of the asteroid's movement, namely a point beyond which there will be irreversible consequences of impact or atmospheric burst.

Control functions may be distributed across virtual as well as literal physical surfaces and spaces. An aircraft wing and fuselage surface has distributed forces and air pressures which can be measured as points, then as cellular neighborhoods, then as increasingly larger regions. Parallel and competing analysis can provide sets of points where adjustments should be made that will offset pressures positively or negatively and lead to a stable laminar flow, the goal state for the plane in flight. The same model can be applied to the virtual space of robots manipulating amorphous shapes that have multiple axes of motion and angular momentum. There are goal states which involve positioning of devices and avoidance of collision impacts including those that could occur between the cooperative robots. The suggestion made here is that for some levels of extreme complexity, a rethinking of what we mean by “control” and by “learning” and indeed by “intelligence” is required, and in this process, also, a rethinking of how we can perform the computations that are required to operate multiple motors in parallel. We are only at the beginning of what appears to be a revolution in how we think about computability and control, but the key may be found in looking at the simpler ways that some tasks are done in Nature, in Biology, more than at any other example. Flies and mosquitoes fly very well and avoid obstacles and threats. Synchronized swimmers and dancers do not rely only upon knowing the score and the choreography. Infants learn to handle balls

and toys first with touch, then with eyes, and last of all comes learning via discourse, logic, and formal arithmetic. Food for Thought, in a world increasingly dominated by Extreme Complex Systems.

[1] O. Granichin, T. Khantuleva, O. Granichina, “Local Voting Protocol for the Adaptation of Airplane’s ‘Feathers’ in a Turbulence Flow,” 2017 American Control Conference, May 24–26, 2017, Seattle, USA.

[2] N. Amelina, A. Fradkov, Y. Jiang, and D. Vergados, “Approximate consensus in stochastic networks with application to load balancing,” *IEEE Trans. on Information Theory*, vol. 61, no. 4, pp. 1739–1752, 2015.

[3] J. Tsitsiklis, D. Bertsekas, and M. Athans, “Distributed asynchronous deterministic and stochastic gradient optimization algorithms,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 31, no. 9, pp. 803–812, 1986.

[4] M. Huang, “Stochastic approximation for consensus: a new approach via ergodic backward products,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 57, no. 12, pp. 2994–3008, 2012.

[5] O. Granichin and N. Amelina, “Simultaneous perturbation stochastic approximation for tracking under unknown but bounded disturbances,” *IEEE Trans. on Automatic Control*, vol. 60, no. 6, pp. 1653–1658, 2015.

[6] J. Spall, “Multivariate stochastic approximation using a simultaneous perturbation gradient approximation,” *IEEE Trans. Automat. Control*, vol. 37, no. 3, pp. 332–341, 1992.

[7] O. Granichin, N. Amelina, “Simultaneous perturbation stochastic approximation for tracking under unknown but bounded disturbances,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2015.

[8] O. Granichin, K. Amelin, “Randomized control strategies under arbitrary external noise,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2016.

[9] M. Dudziak. Parallel Replicative Neural Networks for Cooperative Robot Systems, NATUG-90, Santa Clara CA, April 1990.

[10] M. Dudziak. Spaceships To Planet Earth: Designing Systems for Space that Sustain Life on Earth. Dupont Summit, Washington DC, Dec. 2015.

- [11] I. Ermolov, V. Gradetsky, M. Knyazkov, S. Sobolnikov. Cooperative Motion Planning of Autonomous UGVs for Mobile Reconfigurable Communication Networks, Proc. of IEEE-RAS-IARP Joint Workshop on Tech. Challenges for Dependable Robots in Human Environment, IROS2013 WS, Nov. 3, 2013, Tokyo, Japan
- [12] A.S. Yushchenko, K.V. Ermishin. Collaborative Mobile Robots – A New Stage of Robotics. Proc. Intl. Scientific and Technological Conference EXTREME ROBOTICS. Nov. 24-25, 2016, St. Petersburg, Russia.
- [13] M. Chacin, A. Mora, K. Yoshida, “Motion control of multi-limbed robots for asteroid exploration missions,” IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2009. ICRA '09, Kobe, Japan.
- [14] F. Matsuno, Y. Oosako, “Control of an asteroid sample return robot during contact based on complementarity modeling,” Procs. of the 40th IEEE Conf. on Decision and Control, 2001, Orlando, Florida.

M. Tsepeleva, M. Dudziak
**BRAINS, BOTS AND BUILDERS – MIRNOVA ACADEMY AND ITS
“STEM” PROGRAM WITH ROBOTICS SERVING CHALLENGED
YOUTH AND CREATIVE MENTORS**

*MIRNOVA Academy, Zelenograd, Russia
martinjoseph@mirnova.org*

This paper presents an overview of a new program in STEM education, teacher training, and integrated application development. Each project, engaging students ranging from pre-high-school classes to post-graduate university levels, is focused strongly upon coupling robotics research and field testing of new devices and algorithms within the context of practical everyday environments, beginning with agriculture and monitoring of chemical, microbiological and crop parameters using UAV and ULV systems.

Keywords: robotics, UAV, drone, agriculture, sensor, monitor, spectroscopy, irrigation, fertilizer, pesticide, insect, crop yield, GIS, education

The pace of new technology development and implementation within the broad sector of commerce and industry, particularly in the domains of robotics and distributed network systems, is extraordinarily rapid. Challenging situations are arising for the general society and its economy, in virtually all countries including the most technologically developed, to keep up with that pace and to accelerate educational proficiency among students and adults who are increasingly faced with both job requirements and opportunities that depend upon knowing more about many new technologies and STEM (science, technology, engineering, mathematics) skill sets. As the variety and complexity of new technologies is increasing, so is the need for people at all levels of usage and engagement to be skilled in systems thinking, project management and the disciplines for working together as teams, often distance-based and remote in locations. This is true and demanding for the research world as well as in applications for conventional business, manufacturing and other uses.

MIRNOVA Academy is a private non-profit institution established in the Russian Federation. It has committed to implementing a novel plan that addresses such problems and also other challenges that face current youth entering into both adolescence and future employment and social frameworks which are characterized by uncertainty, the needs to know more substantial and practical STEM knowledge and skills, and the needs to be adaptive and innovative. A Program has been designed and implemented for conducting projects that involve collaboration between students at multiple levels of knowledge, skill, aptitude and competence, ranging from elementary to high school class levels, and mentors who may be teachers, university or post-

graduate students, professors, and experts from industry and the research community.

Unlike many programs worldwide which focused upon short-term projects which will begin and end within the confines of a few months and which are often competitive challenges with specific rules and guidelines, the MIRNOVA Program creates projects are multi-year in nature, intended to involve participants from multiple institutions including schools and universities, and to do so in a manner that is consistent with contemporary project management methods and techniques as practiced in higher education and within industry. There are several reasons for this program architecture, four in particular.

◆ First, such methods (including, for example, AGILE software engineering, and formal project management disciplines, aid in the educational process for students, teachers and mentors alike in training within the pertinent disciplines of product design and commercialization, business and financial development, and entrepreneurial management. This is important for future scientists, engineers and technologists, whether such persons focus their careers in basic research and academics or in the domain of commerce and industry.

◆ Second, the nature of projects that involve multiple technologies and interfaces between systems is such that strongly disciplined project management is a fundamental prerequisite for successful completion. Projects involving distance-based team members operating in not only different time zones but different personal schedules require the structure for scheduling and completing assigned tasks and for arranging real-time interactions using internet-based communications.

◆ Third, the nature of a project such as AgriBrains puts demands upon all team members and all technical components for improved communications between diverse groups. Simply put, the engineering and technical people need to be able to communicate clearly and efficiently with persons who may be experienced in fields such as agriculture, aeronautics, healthcare, environmental testing or public safety and security, in order for complex and complicated systems such as UAVs and other robotic devices to be used in optimal ways for the final applications. This communication pathway is bi-directional; application experts need to understand the potentials and the limits of the hardware and software systems in order to know better what can be done with the technology and in order to ask the right questions and make the right requests for new development.

◆ Fourth, the trends and requirements in both education and “large-scope” research programs – the type of research that typically demands time, diverse-capability teams, extensive experimentation and replication for verification – demand both more adept and experienced work forces, people who will have vocational as well as academic skills and training, and opportunities to do more variety of trials and field-tests, and all with greater economy and reduced costs for such tasks. Examples can be found in fields like “self-driving cars,”

cooperative robots in space-based engineering (e.g., NEOShield for asteroid impact deterrence), environmental and especially climate-change monitoring, and several aspects of agriculture including pest control and abatement. These needs from the research and commercialization sectors complement the needs for the educational process, beginning at earlier ages and skill levels, to include more opportunity for students to interact, within projects directly, with those engaging in “deep” research. The opportunities include internships and apprenticeships, often enabled or enhanced by today’s internet and “virtual reality” capabilities; these opportunities are part of the motivation and the technical basis for MIRNOVA Projects.

Thus, this STEM initiative within MIRNOVA places a strong emphasis upon the development of interaction and communication skills, along with the work on actual electronics, software, and mechanical engineering.

Each project in the overall Program is designed to engage students at multiple levels of their schooling in sequential phases of a multi-year, multi-institution, and also, gradually, a multi-national project that will share in being open-source, readily deployable for experimentation and testing, extensible to new applications, and producing intellectual property and tangible tools that will have demonstrable value for potential commercialization. AgriBrains is the first project within the Program. It has been selected and designed in order to provide the optimum foundations – organizationally, technically, and financially, for conducting future projects, for generating a platform upon which future projects can extend research and provide testing and validation, and for creating sustainability through commercial value. Currently, it is defined as:

Agricultural Productivity Optimization using cooperative robots for sensing, analytics and control.

In its initial work, AgriBrains concentrates upon using individual units and clusters (groups) of UAVs for:

Monitoring of crop conditions for humidity (irrigation), pest control and ripeness.

This project encompasses the following objectives in the subject matter of study, training, experimentation and new research conducted by the project team members:

- Use of robot networks (UAV, ULV, AUV) with both human-assisted and autonomous functionality, employing a diverse array of CBR (chem-bio-rad) and EM (electromagnetic) multi-spectral sensors as well as electromechanical actuators.
- Onboard and mobile, as well as manually-delivered
- Dynamic mobile operation, and static-placed stationary operation
- “Plug-n-play” device independence for all platforms including other non-UAV systems

- Data acquisition and integration with satellite-based and other telemetry and knowledge sources
- Analytics employing human expertise and synthetic (AI, machine-learning) intelligence
- BOINC-based distributed processing for massive computational tasks (open-source, UC-Berkeley)
- Data management and knowledge representation and distribution

This project builds upon extensive and proven prior research by members of the technical and management team within MIRNOVA as well as by other research and development that is accessible to the team. The scope of the project is open-ended and will evolve over time as new participants and stakeholders enter into direct activity and indirect collaboration, making use of the open-source platform created in the first phase.

AgriBrains begins with technical components that are currently “COTS” (commercial-off-the-shelf) – available devices and components including software modules. All of the core technologies and tools, including electronics, software, project management, are currently existing and accessible for this project. Research leading to new designs, both physical and in control systems such as software, will develop after teams have achieved sufficient familiarity and skill levels with system operations. Furthermore, there is much new development in the application areas, using today’s existing UAVs and software. Two major areas within agriculture that are only beginning to receive attention are:

- Fruit crops, in particular orchards, especially high-sensitivity crops such as grapes, cherries, and citrus fruits
- Monitoring and management of livestock including herds of cattle, sheep, goats and even reindeer

Among the UAV systems for use within AgriBrains are devices that have already been introduced successfully into both the agricultural industry and the educational/research sector in China, EU and USA. These include three specialized UAVs already being successfully deployed in agricultural settings. It is significant that these and many other UAVs do not conveniently communicate with one another, either in sharing of data and control parameters, nor in direct cooperative actions. Furthermore, autonomous operations are virtually nonexistent. These tasks constitute part of the focus within the AgriBrains Project as it is currently underway.



Figure 1: eBee SQ drone for spectroscopic surveys

Figure 2: DJI eight-rotor drone with 10-liter capacity

Not every task nor every project team needs to work hands-on with the most sophisticated or expensive equipment. This is a major consideration for being able to offer educational and internship opportunities to a larger and more diverse population of participants and to make project activities be more adaptive and useful to research groups who may have limited mobility, budgets, and who also may desire increased testing of devices (including onboard sensors) without a high learning curve or a high budget for platforms such as the more “industrial level” UAVs. Figure 4 below illustrates two low-cost UAVs, one of which is capable of being produced using low-cost 3D printed structural components, an Arduino or Raspberry Pi motherboard, and about one hour of concentration in an ordinary home or garage environment.

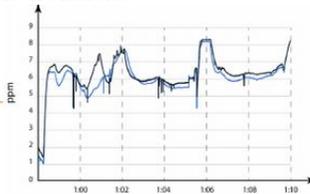


Figure 3: Sentroid UAV illustrating air sampler, analytical results and control unit

Figure 4: CopterExpress UAVs for education and low-end commerce (delivery)



Project Outcomes and Benefits:

The AgriBrains Project delivers first and foremost an Engineering Platform (“Testbed”) that can be employed in many future ways by different teams including those who graduate formally and informally from the MIRNOVA Program and from their university programs. This platform is as much one for testing new devices including UAVs, and software, as it is also for new methods in every dimension of agriculture including all types of livestock farming such as cattle, pigs, sheep, and fish in the form of aquaculture.

As a platform, AgriBrains is designed to provide reusable toolsets and libraries, both hardware and software, that may be used across different experiments conducted by totally distinct teams. This process is not only about technology but about project management and cooperativity among teams. Here is where AgriBrains, and the MIRNOVA Program as a whole, makes a substantive departure from a dominant tradition of competition and contest-oriented projects within especially the educational domains (e.g., FIRST Robotics, an eminent and pioneering robotics competition, very international in scope – www.firstinspires.org), and other competition-oriented STEM programs (e.g., Intel Science Fair). The primary differentiator is the emphasis upon working on projects that will produce components that others can use – including multi-year participants (e.g., through middle and high school and then into college levels) – and to link project technical activity and success directly with training for internships, apprenticeships, and entrepreneurial business “start-up” initiatives. In the process, those persons who are mentors, advisors and trainers, coming from the research centers of universities and institutes, gain tangible results for their efforts and energies in guiding youth to “find their guiding stars and reach them.”

First there are direct, concrete Technical Outcomes and Benefits:

This initial project will enable participating students, teachers, mentors and teams to implement practical technologies, products and services serving the

global agricultural industry in the following 12 manners, gradually over a period of months and years:

- CB (chem-bio) sensing and monitoring – focus upon toxins, bacteria and viruses
- Frost control – this is an emerging problem given the trend in non-linear climate change
- Seed planting – focus upon actual planting and follow-up for germination/replanting
- Fertilizer optimization – focus upon reduction of excess use and cost
- Irrigation optimization – focus upon balance in hydration
- Pest control – focus upon emerging insect and micro-fauna due to climate change
- Sugar content – a critical area for fruits and for crops used in beverage production
- Ripeness and harvest readiness – focus upon increasing yield and turn-around
- Tree and bush pruning (management and planning)
- Differentiation and specialization for crop type variants
- Predator control (e.g., birds, foxes, wolves) – focus upon deterrence
- Planting and harvest planning (info maps AI-recommendations)

These technical outcomes from this foundational project are remarkably wide, open-ended and expansive, and this governs the choice of such an area for the Program’s Initial Project undertaking. These outcome values extend beyond agriculture into many other application areas, all of which have value for training, education, research, and commercialization.

Next, in principle with the MIRNOVA mission, there are other significant outcomes besides those of technology development. These are also areas of study and new learning for all participants – students in pre-college and university levels, as well as teachers and expert mentors. In essence, the use of “STEM” activity provides the matrix and basis for learning important social and economic principles and skills often missed.

Social Outcomes: Students, including the pre-risk/higher-risk group of students who may initially not be interested in STEM topics will be more attracted to a project that is more visibly connected to more “concrete” and “business-tangible” topics such as food production.

Educational Outcomes: There will be teachers, university students and professors experienced in training teachers and peers for expansion of STEM into all school levels and especially for addressing populations of non-STEM-

interest students, especially those who will not be likely to attend university and go into STEM careers. There will be a refined group of students identified as top-choice candidates for employment in companies that are constantly seeking to identify and evaluate their “next generation” of employees.

Financial Outcomes: There is ample evidence, worldwide and especially from studies conducted in USA, Korea and China (2015-2017), that there will be commercially viable intellectual property (“IP”) from the AgriBrains Project, and such will be marketable as technology and potentially through entrepreneurial spin-off and startup companies.

Conclusion:

To paraphrase one of the producers of the futuristic film, “Interstellar,” regarding our current socioeconomic, educational, and also agricultural climate, “We are not there yet, thankfully, but we could find ourselves there sooner than we think possible.” James Cameron’s “there” refers to a world where basic farming and agriculture is a major challenge that demands far more daily attention than our highly urbanized and geographically sequestered populations on this planet currently devote to the process of producing what we will eat each day.

The specific AgriBrains project is designed to provide re-usable, reconfigurable software and hardware that can be deployed in other topics (this model derives from the historical successes in many computing systems especially; e.g., object-oriented design, interpretive programming, XML-based scripts). High on the list for extensions of AgriBrains are applications in climate change and ecosystem monitoring as well as corrective action (use of actuators, not only sensors), experimental field studies in turbulence and non-linearity wind patterns, as well as in energy optimization, water control, and the critical domain of public health (epidemiology of emerging infectious diseases, many deriving from global warming and climate change).

Capolupo, A., Kooistra, L., Berendonk C., Boccia, L., Suomalainen, J.
Estimating plant traits of grasslands from UAV acquired hyperspectral images: a comparison of statistical approaches. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 4(4): 2792-2820 (2015)

Kale, S., Khandagale, S., Gaikwad, S., Narve, S., Ganga, P. Agriculture Drone for Spraying Fertilizer and Pesticides. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering* 5(12). (December 2015)

Kooistra, L., Suomalainen, J., Anders, N., Franke, J., Bartholomeus, H., Keesstra, S., Múcher, S. Opportunities for UAS as Smart Inspectors in Environmental Monitoring Applications. *Unmanned Systems Expo*, 1-4 February 2015, The Hague, The Netherlands. (2015)

Randers, J. 2052: A Global Forecast for the Next Forty Years. Chelsea Green Publishing, Vermont, USA. (2012) (www.2052.info)

Roosjen, P.P.J., Suomalainen, J.M., Bartholomeus, H.M., Kooistra, L., Clevers, J.G.P.W. Mapping Reflectance Anisotropy of a Potato Canopy Using Aerial Images Acquired with an Unmanned Aerial Vehicle. *Remote Sensing* 9, 417. (2017)

Tokekar, P., Vander Hook, J., Mulla, D., Sensor Planning for a Symbiotic UAV and UGV System for Precision Agriculture. *IEEE Transactions on Robotics* 32(6). (2016)

van der Meij, B., Kooistra, L., Suomalainen, J., Barel, J. M., and De Deyn, G. B. Remote sensing of plant trait responses to field-based using UAV-based optical sensors. *Biogeosciences*, 14, 733-749. (2017)

Villa, T., Gonzalez, F., Miljievic, B., Ristovski, Z., Morawska, L. An Overview of Small Unmanned Aerial Vehicles for Air Quality Measurements: Present Applications and Future Prospectives. *Sensors* 2016, 16, 1072-1101. (2016)

Vivoni, E., Rango, A., Anderson, C., Pierini, N., Schreiner-McGraw, A., Saripalli, S., Laliberte, A. Ecohydrology with unmanned aerial vehicles. *Ecosphere* 5(10), 130-144. (2014)

Zhang, C., Walters, D., Kovacs, J., Applications of Low Altitude Remote Sensing in Agriculture upon Farmers' Requests– A Case Study in Northeastern Ontario, Canada. *PLoS One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112894> (2014)

Cable JW, Kovacs JM, Jiao X, Shang J (2014) Agricultural monitoring in northeastern Ontario, Canada, using multi-temporal polarimetric RADARSAT-2 data. *Remote Sens* 6: 2343–2371

Torres-Sánchez J, López-Granados F, De Castro AI, Peña-Barragán JM (2013) Configuration and specifications of an unmanned aerial vehicle (UAV) for site specific weed management. *PLoS One* 8: e58210

[15] J. Bellerose, A. Girard, D. Scheeres, “Dynamics and Control of Surface Exploration Robots on Asteroids,” : *Optimization & Cooperative Ctrl. Strategies*, LNCIS 381, pp. 135–150, Springer-Verlag, 2009.

***В.М. Московченко¹, А.С. Максимов¹, С.Х. Киреев², М.А. Гудков²,
В.Е. Дементьев²***

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ
РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ
С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

*¹Россия, Южно-Российский государственный политехнический
университет имени М.И. Платова, г. Новочеркасск,
fvo.urgpu.npi@yandex.ru*

*²Россия, Военная академия связи имени Маршала Советского Союза
С.М.Буденного, г. Санкт-Петербург, gamlet8806@rambler.ru, gud-
0207@mail.ru, dem-vlad@rambler.ru*

***Moskovchenko V.M.¹, Maksimov A.S.¹, Kireev S.H.², Gudkov M.A.²,
Dementiev V.E.²***

**SECURITY IN CONTROL OF ROBOTIC SYSTEMS USING NEURAL
NETWORKS**

*¹Southern Russian State Polytechnical University of M.I. Platov Novocherkassk
town; ²Military Academy of the Signal Corps named after S.M. Budjonny,
Saint-Petersburg*

В статье описан подход к обеспечению защищенности канала управления робототехническим комплексом, основанный на анализе обмена между оператором и комплексом с использованием протоколов пакетной передачи данных. Для анализа предлагается использовать различные типы нейронных сетей. В статье рассмотрены типовые задачи, решаемые различными типами нейронных сетей, и вопросы сводимости данных задач к задаче обнаружения аномалий в процессе обмена данными управления между робототехническим комплексом и оператором.

Ключевые слова: роботизированные системы; система управления; беспроводное управление; протоколы управления; защита информации; искусственные нейронные сети. На текущем этапе развития технологий робототехнические комплексы (РТК) выполняют широкий спектр задач в различных областях деятельности человека: научной, промышленной, медицинской. Отдельную нишу занимают РТК, выполняющие задачи специального назначения: военные РТК, РТК, обеспечивающие ликвидацию последствий чрезвычайных происшествий и других задач, связанных с риском для жизни человека.

Одной из важнейших задач при построении РТК как специального назначения, так и некоторых других типов, является обеспечение управления комплексом. Под управлением РТК понимается решение комплекса задач, связанных с адаптацией робота к кругу решаемых им задач, программированием движений, синтезом системы управления и её программного обеспечения [1].

Системы управления РТК можно классифицировать следующим образом:

- Биотехнические – основанные на повторении роботом движений оператора.

- Автоматические – системы управления, способные функционировать без участия оператора.

- Интерактивные – системы управления, способные как функционировать в автоматическом режиме, так и обеспечивать двустороннее взаимодействие с оператором для решения сложных задач.

Наибольший интерес для решения задач, связанных с риском для жизни человека, представляют интерактивные системы управления, так как при решении сложных задач пока что избежать необходимости участия оператора избежать не удаётся. При этом, более перспективным методом интерактивного управления РТК является дистанционное беспроводное управление. Применение данного метода управления позволяет изолировать оператора от опасных для жизни факторов, а также обеспечить максимально мобильный процесс управления, не требующий наличия какого-либо материального носителя для передачи сигналов управления.

Протоколом управления называется стандарт, описывающий правила взаимодействия объекта и оператора. Для решения задачи интерактивного управления РТК чаще всего приходится использовать несколько протоколов, объединённых в так называемый «стек протоколов». На нижнем уровне стека располагается протокол, описывающий физический процесс передачи сигналов управления, а на верхнем – протокол, описывающий непосредственные команды управления, принимаемые роботом и передаваемые им сигналы.

Сравнительная характеристика основных протоколов передачи, используемых для дистанционного беспроводного управления РТК, представлена в таблице 1[2].

Таблица 1 – Характеристики беспроводных протоколов, используемых для управления РТК

Протокол	Используемая частота, ГГц	Тип модуляции	Пропускная способность, Мбит/с	Дальность действия, м	Тип соединения	Мощность
ИК канал	-	-	0.1-4	4	Точка-точка	5 мВт
Bluetooth	2.4/5	FHSS	0.72	10-100	Ad-hoc	0.3-30 мВт
IEEE 802.11b	2.4/5	DSSS	5.5-11	30-100	Иерархическое, Ad-hoc	2 Вт
IEEE 802.11g	2.4	DSSS/OFDM	20-54	100	Иерархическое, Ad-hoc	1.5 Вт
IEEE 802.11n	2.4/5	OFDM	200+	100+	Иерархическое, Ad-hoc	4.3 Вт
IEEE 802.15.4	0.868/0.915/2.4	O-QPSK/DSSS	0.02/0.04/0.25	10-100	Ad-hoc	10-60 мВт

Рассмотренные протоколы являются пакетными, то есть данные, передаваемые с использованием этих протоколов разбиваются на логические единицы – пакеты, в простейшем случае состоящие из заголовка пакета и содержимого. При этом, содержимым пакета одного протокола может выступать пакет другого протокола более высокого уровня в стеке протоколов.

Важнейшим вопросом, при построении и использовании РТК специального назначения, а в особенности, РТК, применяемых силовыми структурами, является обеспечение защищённости канала управления комплексом. Получение злоумышленником передаваемых сведений, их подмена, искажение или подавление могут привести к различными негативным последствиям вплоть до того, что могут погибнуть люди.

Можно выделить два основных подхода к обеспечению безопасности передачи сигналов управления РТК:

1. Использование средств защиты передаваемой информации, предоставляемых протоколом передачи.

2. Внедрение дополнительных средств защиты.

Так, протоколы семейства 802.11 и 802.15 (ZigBee) предоставляют возможность шифрования данных использованием криптостойких алгоритмов, таких как AES (AdvancedEncryptionStandard). Также в протоколы встроены различные механизмы защиты от помех и намеренного искажения данных.

К дополнительным средствам защиты можно отнести использование туннельного шифрования (VPN) для передачи данных, использование широкополосных сигналов и др. [3].

Большинство рассмотренных методов полагаются на криптографические механизмы защиты передаваемой информации. Данный подход является эффективным с точки зрения защиты от получения, подмены и искажения данных злоумышленником, но при этом абсолютно утрачивает свою эффективность в случае, когда злоумышленник обладает секретными ключами, используемыми для шифрования и подписи передаваемых данных.

Для обнаружения злоумышленника и противодействия ему в описанной ситуации предлагается использовать системы, контролирующие процесс обмена данными в процессе управления РТК и выполняющими обнаружение аномальной активности на основе анализа протоколов различных уровней, участвующих в обмене.

Можно выделить два основных подхода к обнаружению аномалий в протокольном обмене в процессе управления РТК: использованием статистических данных, применение методов искусственного интеллекта.

Статистический подход подразумевает собой снятие различного рода метрик, характеризующих процесс управления РТК за определённый промежуток времени и построение на основании данных метрик профиля нормального поведения. Дальнейшее вычисление данных метрик непосредственно в процессе эксплуатации РТК и сравнение их с профилем нормального поведения позволяет определить отклонение поведения РТК от нормального и принять решение о наличии несанкционированных воздействий на комплекс.

Применение методов искусственного интеллекта для обнаружения аномалий протокольного обмена также основывается на построении профиля нормального поведения, но в отличие от статистического подхода, данный подход использует менее структурированный профиль, который не строится согласно заданным метрикам, а может включать в себя произвольный набор данных, характеризующих те или иные протоколы, включённые в используемый стек. В дальнейшем, анализ этих данных в режиме реального времени и сравнение их с профилем нормального поведения также позволит обнаружить отклонения от нормального поведения и сделать вывод о наличии несанкционированных воздействий. Хорошо зарекомендовавшим себя подходом к решению подобных задач с применением методов искусственного интеллекта является использование искусственных нейронных сетей (ИНС). ИНС представляют математически-формализованную модель естественного мыслительного процесса человека, основанного на передаче информации между простейшими структурными единицами – нейронами. Данный подход

является одним из наиболее перспективных и позволяет решать широкий спектр задач: классификация, оптимизация, кластеризация, аппроксимация функций, прогнозирование и др.

Процесс построения профиля нормального поведения в случае с нейронными сетями сводится к созданию обучающей выборки, состоящей из примеров, содержащих данные нормального обмена РТК с оператором, и дальнейшего обучения ИНС с использованием этих данных. Алгоритмы обучения, обычно, выбираются на основе выбранного типа ИНС. Параметры ИНС выбираются эмпирическим путём в зависимости от конкретной задачи [5, 7].

В случае, когда профиль нормального поведения строится на основе данных протоколов передачи, в качестве характеристик используются поля заголовков пакетов, а также дополнительные данные, такие как, например, временная метка, если эти данные не предусмотрены протоколом, но являются существенными для обнаружения аномалий.

В случае же, когда профиль нормального поведения содержит данные протокола непосредственной передачи команд управления, характеристиками могут служить связанные между собой последовательности команд. Такой подход является более эффективным, так как анализ закономерностей в последовательностях команд позволяет получить более конкретные сведения о действиях и намерениях оператора в процессе его взаимодействия с РТК и более точно произвести обнаружение аномалии при её наличии.

Далее будут рассмотрены различные задачи, решаемые с использованием ИНС, типы ИНС, используемые для решения этих задач и методы применения данных задач к процессу обнаружения аномальных событий в процессе управления РТК.

1. Задача классификации. Сети прямого распространения

Классической структурой нейронной сети для решения задачи классификации является многослойный персептрон (MLP) – сеть прямого распространения. Пример такой сети изображён на рисунке 1:

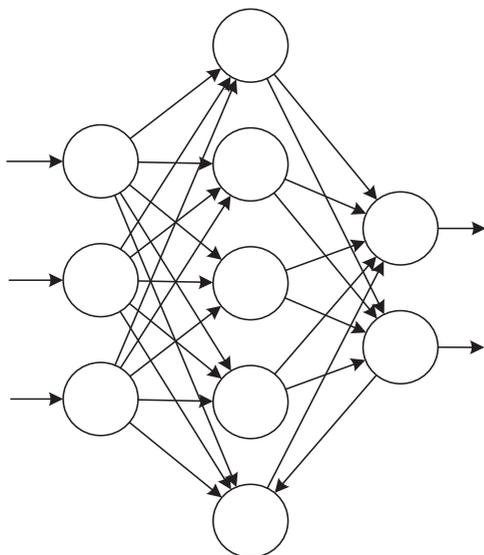


Рисунок 1 – Многослойный перцептрон

Перцептрон принимает на вход заданный вектор и определяет принадлежность этого вектора к тому или иному классу. В задаче обнаружения аномалий управления входными данными могут служить поля заголовков пакетов. На выходе ИНС мы можем получать сведения о том, являются ли входные данные «нормальными», либо «аномальными». Существенным недостатком данной топологии ИНС является то, что она не позволяет работать с последовательностями данными, что ограничивает возможности обработки последовательно приходящей команд, т. е. такая сеть способна делать выводы только на основе одного набора входных параметров. Возможным решением данной проблемы является добавление входного поля, содержащего временную метку для каждого пакета, что «упорядочивает» пакеты для ИНС и даёт ей возможность установить закономерности, связанные с последовательностью появления тех или иных входных данных.

2. Задача кластеризации. Самоорганизующиеся карты

Одной из топологий ИНС, предназначенных для решения задачи кластеризации или задачи проецирования многомерного пространства в пространство с более низкой размерностью являются самоорганизующиеся карты Кохонена (Self-organizing maps – SOM). Пример такой сети изображён на рисунке 2:

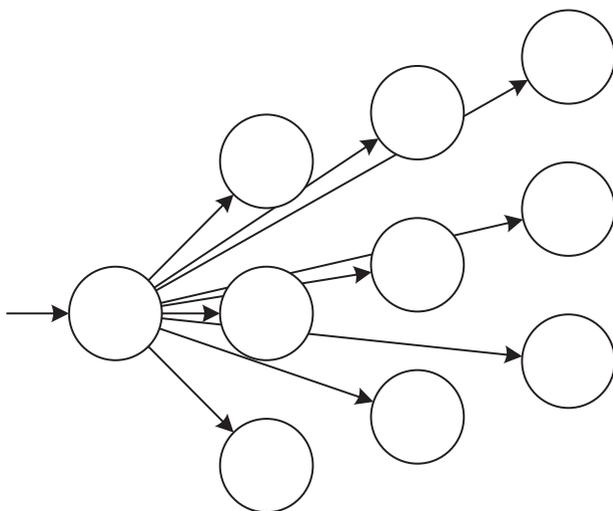


Рисунок 2 – Самоорганизующаяся карта Кохонена

Результатом работы такой ИНС является формирование топологической структуры (карты), которая классифицирует входные примеры на кластеры (группы схожих примеров) и визуально отображает многомерные входные данные на плоскости нейронов.

Важным преимуществом данного подхода является то, что эта ИНС является самообучающейся, то есть для обучения ей не нужны наборы входных данных и соответствующих им «правильных» выходных данных.

Для идентификации аномальной активности по результатам работы оператору РТК следует дожидаться формирования устоявшейся структуры кластеров на выходе ИНС, а в процессе дальнейшего функционирования РТК наблюдать за изменением данной структуры. Наличие явных изменений в ней будет свидетельствовать об аномальном поведении.

Очевидным недостатком данного подхода является сложность анализа получаемых от ИНС данных.

3. Задача прогнозирования. Рекуррентные ИНС

Наиболее хорошо зарекомендовавшими себя в решении задач, связанных с прогнозированием, являются так называемые рекуррентные нейронные сети. Отличие данного класса ИНС состоит в том, что в них имеется обратная связь: выходы нейронов скрытого слоя сети соединяются с входами сети, т. е. при обработке нового набора входных параметров учитывается контекст, возникший в процессе обработки предыдущих наборов. Пример такой сети изображен на рисунке 3 (Сеть Элмана).

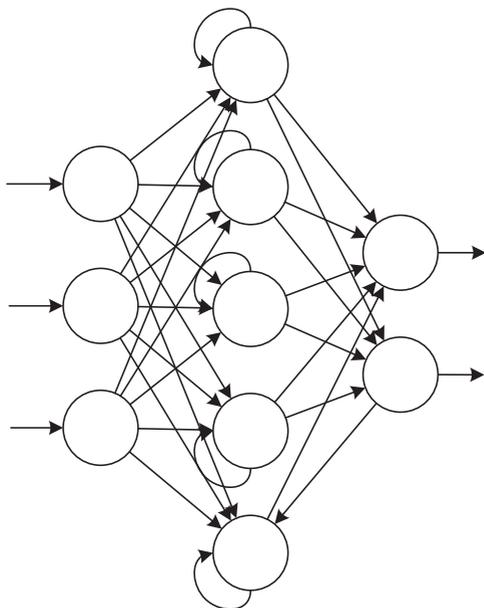


Рисунок 3 – Сеть Элмана

Учитывая динамический и последовательный характер процесса управления РТК, такой подход может показаться наиболее подходящим при построении систем обнаружения аномалий, так как возможность учитывать взаимосвязь между различными командами позволит системе более эффективно выполнять свои функции.

Задача прогнозирования в контексте обнаружения аномалий управления РТК будет заключаться в определении возможной следующей команды РТК на основе информации о предыдущих. При этом, если полученная команда будет значительно отличаться от возможных прогнозируемых, то можно сделать вывод об аномальном поведении.

Кроме того, рекуррентные нейронные сети могут быть использованы и для решения задач классификации как перцептроны, при этом, при анализе потоковых данных, к которым относятся последовательности команд управления РТК, они способны выдавать лучшие результаты [4, 6].

К сожалению, появление обратных связей привносит некоторые сложности, связанные с изменением структуры ИНС. Классические алгоритмы обучения, используемые для сетей прямого распространения, не могут быть использованы для обучения таких ИНС.

Становится понятно, что ИНС позволяют эффективно решать различные задачи, связанные с обнаружением аномального поведения в процессе

управления РТК. Таким образом, использование ИНС позволит повысить защищённость систем дистанционного беспроводного управления РТК и обеспечить более высокий уровень безопасности процесса управления по сравнению с традиционно-используемыми средствами защиты, так как помимо криптографического подхода использует подход, построенный на анализе поведения системы.

1. Зенкевич С. Л., Ющенко А. С. Основы управления манипуляционными роботами : учебник для вузов/Зенкевич С. Л., Ющенко А. С. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004;

2. Santos R.A., Lengerke O. Mobile Ad Hoc Robots and Wireless Robotic Systems: Design and Implementation: University of Colima, Mexico, 2012;

3. Жук А.П., Осипов Д.Л., Гавришев А.А., Бурмистров В.А. Анализ методов защиты от несанкционированного доступа беспроводных каналов связи робототехнических систем // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2016. Т. 8. № 2. С. 38-42.

4. Лаута О.С., Никитин В.В., Клишинов И.А., Лаута А.С. Нормативно-правовые документы США, регламентирующие политическую и военную деятельность в киберпространстве // Материалы конференций ГНИИ "НАЦРАЗВИТИЕ". ноябрь 2016. с 118-125.

5. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006.

6. The Unreasonable Effectiveness of Recurrent Neural Networks [Электронный ресурс]. URL:<http://karpathy.github.io/2015/05/21/rnn-effectiveness/> (дата обращения: 30.05.2017)

7. Саенко И.Б., Лаута О.С., Котенко И.В. Применение метода преобразования стохастических сетей для моделирования мобильных банковских атак // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2016. Т. 59. № 11. С. 928-933.

**В.М. Московченко¹, В.В. Кузнецова¹, О.С. Лаута², А.М. Крибель²,
М.А. Коцыняк²**
**ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЗАЩИТЫ КАНАЛА УПРАВЛЕНИЯ
РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

*¹Россия, Южно-Российский государственный политехнический
университет имени М.И. Платова, г. Новочеркасск,
fvo.urgpu.npi@yandex.ru*

*²Россия, Военная академия связи имени Маршала Советского Союза
С.М. Буденного, г. Санкт-Петербург, nemo4ka74@gmail.com, kot-
c@yandex.ru, laos-82@yandex.ru*

***Moskovchenko M.V.¹, Kuznetcova V.V.¹, Laut O.S.², Kribel A.M.²,
Kotcynayk M.A.²***

**APPROACH TO FORECASTING PROTOCOL IMPACTS ON
ROBOTIC SYSTEMS**

*¹Southern Russian State Polytechnical University of M.I. Platov
Novocherkassk town; ²Military Academy of the Signal Corps named after S.M.
Budjonny, Saint-Petersburg*

Автоматизированные и роботизированные системы обладают неразрывной связью между входящими в них вычислительными и физическими элементами. Сегодня представители таких систем могут быть найдены в самых разнообразных областях - космос, автомобильные, химическая технология, гражданская инфраструктура, энергетика, здравоохранение, производство, транспорт, и потребительские устройства. Такой класс систем рассматривается как киберфизические системы.

С одной стороны, киберфизические системы за счет распределенной сети датчиков и блоков управления позволяют решить многие практические задачи, позволяющие сэкономить время и уменьшить человеческие потери, за счет выполнения опасных заданий роботизированными системами.

С другой стороны, за счет использования открытых радиоканалов и протоколов киберфизические системы подвержены воздействию компьютерных атак, которые в наилучшем случае могут привести к нарушению работоспособности сети, а в худшем к перехвату управления.

К наиболее распространенным компьютерным атакам на киберфизические системы относятся: активные и пассивные виды компьютерных атак.

Учитывая вышеизложенное, в настоящее время остро стоит вопрос о защите киберфизических систем и каналов управления ими. С этой целью предлагается использовать криптографические протоколы и алгоритмы.

Для реализации защиты канала управления киберфизической системы, рациональным является симметричный алгоритм AES, который отличается криптостойкостью и быстродействием.

В настоящее время криптография решает следующие основные задачи:

1. Обеспечение конфиденциальности сообщений – решение проблемы защиты информации от ознакомления с ее содержанием со стороны лиц, не имеющих права к ней.

2. Обеспечение целостности данных – невозможность несанкционированного изменения информации.

3. Аутентификация – подтверждение подлинности сторон и самой информации в процессе обмена данными.

4. Невозможность отказа от авторства – предотвращение отказа от совершенных действий.

Эти задачи защиты данных реализованы в специальном аппаратном блоке, который называют криптографическим ускорителем (криптографическим блоком).

Для обеспечения криптографически стойкого протокола управления в разработанной роботизированной системе используется микроконтроллер с 32-разрядным ядром ARM Cortex-M4F с криптографическим ускорителем stm32f415rgt производства компании «STMicroelectronics». Для того, чтобы чип дешифровал принятые пакеты, в качестве алгоритма дешифрования используется AES с длиной ключа 128 бит.

В качестве алгоритма распределения ключей был рассмотрен и реализован алгоритм Диффи–Хеллмана, который позволяет двум сторонам получить общий секретный ключ, используя незащищенный от прослушивания, но защищенный от подмены, канал связи.

Таким образом, в настоящей статье представлен пример создания роботизированного комплекса, как элемента КБС, с защищенной системой управления им на основе алгоритма шифрования AES, являющимся на сегодняшний момент наиболее криптостойким.

Кроме того, для защиты от атаки «грубого перебора» криптографического ключа в системе управления необходимо реализовывать алгоритм распределения ключей, позволяющий генерировать новый ключ, каждый раз перед выполнением команды.

А.Г. Неткачев, Д.Н. Бычковский
**ПРИМЕНЕНИЕ 3D ПРИНТЕРА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЛИТЕЙНЫХ
ФОРМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РОБОТОВ И
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК
AlexandrNetkachev@gmail.com*

Netkachev A.G., Bychkovskiy D.N.
**3D PRINTED MOLDS IN PRODUCTION OF ROBOTS AND ROBOTIC
COMPLEXES**

RTC, Saint-Petersburg

При производстве роботов с каждым годом предъявляются все более высокие требования к деталям и компонентам роботов и робототехнических систем, в частности это касается производства корпусных элементов. К корпусам роботов различного назначения предъявляются различные требования. В особенности это касается роботов-манипуляторов, антропоморфных роботов и роботов специального назначения, в т.ч. экстремальные роботы. Корпусные элементы роботов становятся все более сложными, облегчается конструкция, используются математическое моделирование для поиска оптимальных вариантов конструкций, отвечающим требованиям прочности, габаритных размеров, массы, динамики и функциональности. Примерами таких деталей являются корпуса роботов KUKA, ESTUN, Kawasaki и др. В промышленности все больше возрастает влияние бионического дизайна, эта тенденция отражается и в проектировании роботов, все больше конструкций становятся тоньше, изящнее, легче, при этом сохраняются прочностные характеристики.

Для применения результатов расчетов и математического моделирования возникает необходимость применять современные технологии производства, такие как Аддитивные технологии.

Большинство корпусных элементов роботов выполняется с помощью литья металлов. Примеры роботов с такими элементами представлены на рис.1 и рис.2.



Рис.1 Роботы KUKA, Kawasaki



Рис.2 Корпусные элементы роботов разрабатываемых в ЦНИИ РТК

Применение 3D принтера для создания литейных форм позволит изготавливать корпусные элементы высокой сложности в короткие сроки. Основная область применения 3D принтера: вариативный поиск при разработке конструкции новых роботов, изготовление пилотных серий продукта, изготовление небольших серий специальных и экстремальных роботов.

Технология создания литейных форм методом послойного синтеза (3D печати) заключается в послойном построении деталей литейной формы из порошковых материалов, таких как кварцевый или керамический порошок, используя в качестве исходного задания трехмерную цифровую модель литейной формы. В цифровой модели уже учтены технологические особенности формы, литниково-питающая система, выпора, прибыли. Процесс построения литейной формы состоит из двух этапов на каждом слое. Первый этап: нанесение порошкового материала (кварцевого или керамического) в камере построения. Порошок, в зависимости от последующего назначения литейной формы, предварительно подготавливается. Второй этап: после нанесения каждого слоя происходит внесение связующего в порошок материал. Схема процесса представлена на рис.3

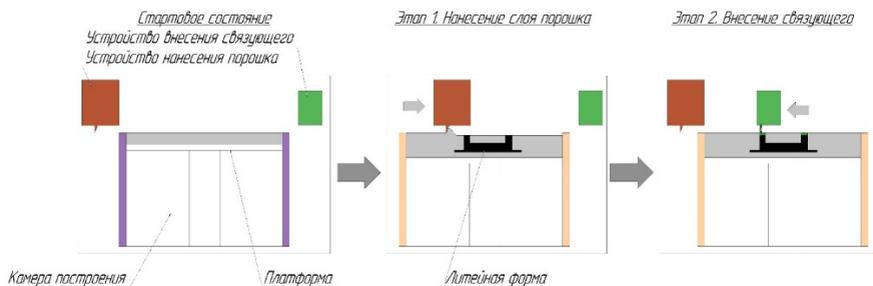


Рис.3 Схема послойного создания литейной формы

Преимущество описываемой технологии перед традиционной заключается в следующем: традиционная технология реализуется либо с помощью литья в разовые формы созданные вручную по физическим мастер-моделям, что требует длинной технологической линии по изготовлению мастер-модели, подготовке смеси, формовке частей формы, их сушки, места для хранения моделей и т.д, либо литья в кокиль (металлическую форму), что является очень долгим (от 6 мес. до 1-2 лет), затратным, трудоемким и экономически невыгодным способом, сопряженным с высоким риском брака при изготовлении кокиля. Обе традиционные технологии имеют технологические ограничения на сложность внутренней конфигурации отливки. Используя традиционные технологии невозможно или крайне сложно выполнить сложные каналы охлаждения, оптимизировать конструкцию и снизить припуск на последующую обработку, что ограничивает потенциал разработки продукции.

Перечисленные проблемы затрудняют выпуск новых моделей и новых видов продукции, увеличивают сроки выхода новинок на рынок и стоимость запуска в производство, что негативно сказывается на конкурентоспособности продукции. Проблемы с невозможностью реализации традиционными технологиями наилучших расчетных конфигураций конструкции ведет к снижению эксплуатационных характеристик продукции.

Для преодоления технологических ограничений и ускорения сроков проектирования и производства в последнее время мировыми лидерами машиностроения активно применяются аддитивные технологии. Создание литейных форм с использованием методов послойного синтеза позволяет обойти технологические ограничения традиционных технологий и сократить технологическую цепочку отказавшись от следующих операций: изготовления мастер-модели из металла или композитных материалов, изготовление литниковой системы и прибылей формовка частей формы (установка мастер модели и литниковой системы в опоку и засыпка смесью). Это приводит к сокращению времени производства и снижению стоимости формы на порядок. Использование альтернативных видов аддитивных технологий для замены традиционных технологий получения отливок, не смотря на повышения точности, уступают описываемой технологии по скорости получения отливки (технологии типа SLA, SLS, FDM, MJM) т.к. по-прежнему требуют формовки, удаления мастер-модели, прокали формы, или чрезвычайно дороги (технологии типа SLM, DMD, LDM). В технологии создания литейных форм методом послойного синтеза применяются недорогие расходные материалы, стоимость готовой литейной формы для литья алюминия, стали, магния не превышает 100руб/кг формы.

Все вышесказанное позволяет сделать вывод, что применение технологии прямого создания литейных форм методом послойного синтеза по цифровой 3D модели для получения отливок сложных корпусных элементов роботов и робототехнических систем позволит снизить издержки на стадии производства опытных образцов, ускорить процесс разработки новых видов продукции и обеспечить их вывод на рынок.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках соглашения № 14.575.21.0162 о предоставлении субсидии на выполнение ПНИ. Уникальный идентификатор работ (проекта) – RFMEFI57517X0162

А. Комаров, А.В. Бахшиев
**ОБЗОР АРХИТЕКТУР ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ
РОБОТОВ**

*СПбПУ, ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
alex_komaroff007@mail.ru*

В последние годы вновь наблюдается повышенный интерес специалистов к искусственным нейронным сетям и алгоритмам на их основе. Высокая производительность современных вычислительных машин позволяет строить и использовать более сложные архитектуры искусственных нейронных сетей чем в прошлом. Именно благодаря широкому спектру решаемых задач нейронные сети пользуются таким большим спросом в современном мире. Вследствие сложной и гибкой структуры, а также очень большого количества настраиваемых параметров, системы на основе нейронных сетей способны воспроизводить поведение сложных функций и зависимостей.

В рамках исследований искусственных нейронных сетей на данном этапе разработано множество архитектур нейронных сетей. Эффективность каждой архитектуры проявляется при решении конкретной задачи.

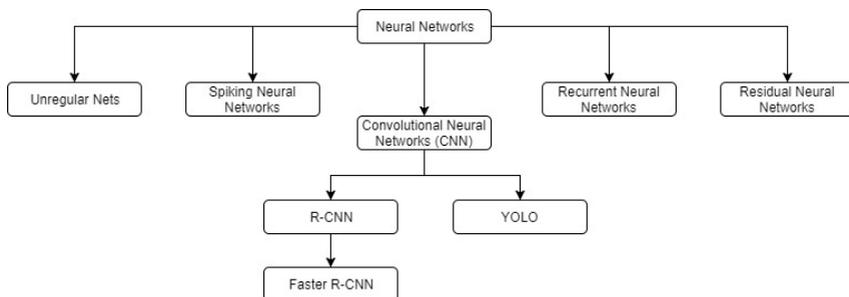


Рис. Основные разновидности искусственных нейронных сетей.

Нерегулярные нейронные сети (Unregular Nets) используются в задачах, где необходима кластеризация данных. Импульсные нейронные сети (Spiking Neural Networks) могут моделировать простые биологические процессы центральной нервной системы. В рекуррентных нейронных сетях (Recurrent Neural Network) – сигнал образует одну или несколько петель во время прохождения через слои нейронов. В остаточных нейронных сетях (Residual Neural Networks) сигнал может распространяться в обход одного или нескольких слоёв. Самыми распространенными в задачах

технического зрения считаются свёрточные нейронные сети (Convolutional Neural Networks).

Данный материал включает в себя обзор новейших архитектур искусственных нейронных сетей глубокого обучения. Таких как SSD (Single Shot Detector), R-CNN (Region-based Convolutional Neural Network) [1], Faster R-CNN [2] и YOLO (You Only Look Once) [3, 4]. Приведены такие сравнительные показатели этих искусственных нейронных сетей как скорость обработки изображений [5, 6], точность обнаружения и классификации объекта, а также размер и топология сети. Данная работа позволяет сделать вывод о целесообразности выбора той или иной архитектуры сети глубокого обучения в условиях использования мобильного робота [7]. Рассмотрены основные наборы данных для осуществления обучения представленных архитектур. Предложены потенциальные направления и области применения рассмотренных сетей глубокого обучения [8].

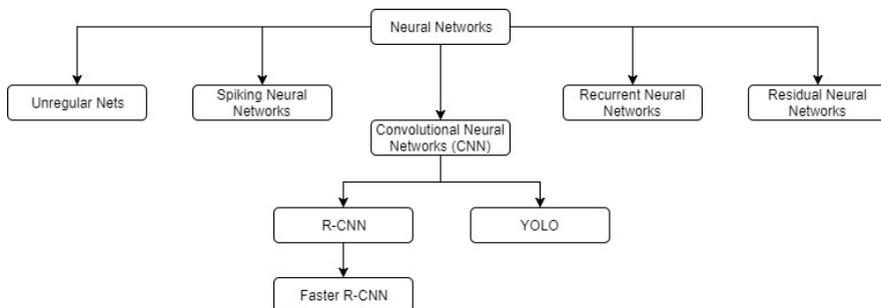
1. S. Ren, K. He, R. Girshick, and J. Sun. Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks. arXiv preprint arXiv:1506.01497, 2015. 2, 3, 4, 5, 6
2. R. B. Girshick. Fast R-CNN. CoRR, abs/1504.08083, 2015. 4, 5, 6
3. Joseph Redmon, Ali Farhadi. YOLO9000: Better, Faster, Stronger. University of Washington, Allen Institute for AI. 2016.
4. J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi. You only look once: Unified, real-time object detection. arXiv preprint arXiv:1506.02640, 2015. 4, 5
5. K. Simonyan and A. Zisserman. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. arXiv preprint arXiv:1409.1556, 2014. 2, 5
6. K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun. Deep residual learning for image recognition. arXiv preprint arXiv:1512.03385, 2015. 2, 4, 5
7. Anton Korsakov, Ivan Fomin, Dmitry Gromoshinsky, Aleksandr Bakhshiev, Dmitrii Stepanov, Ekaterina Smirnova. Determination of an Unmanned Mobile Object Orientation by Natural Landmarks // Supplementary Proceedings of the Fifth International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts (AIST-SUP 2016), Yekaterinburg, Russia, April 6-8, 2015. Published on CEUR-WS, vol. 1710, pp. 91-101, 17.11.2016. Online: <http://ceur-ws.org/Vol-1710/>
8. Fomin, I.S., Bakhshiev, A.V., Gromoshinskii, D.A. Study of Using Deep Learning Nets for Mark Detection in Space Docking Control Images // Procedia Computer Science. Issue 103C, 2017. – pp. 59-66.

A. Komarov, A.V. Bakhshiev
REVIEW OF ARCHITECTURES OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR COMPUTER VISION SYSTEMS IN MOBILE ROBOTICS

SPbPU; RTC, Saint-Petersburg
alex_komaroff007@mail.ru

In recent years, there has been an increased interest of specialists in artificial neural networks and algorithms based on them. High performance of modern computers allows to build and use more complex architectures of artificial neural networks than in the past years. It is due to a wide range of problems that neural networks can solve that they are in great demand in the modern world. Due to the complex and flexible structure and a very large number of adjustable parameters, a system based on a neural network is capable of reproducing the behavior of complex functions and dependencies.

In the field of studies of artificial neural networks at this stage, many architectures of neural networks have been developed. The effectiveness of each architecture is revealed when solving a particular problem.



Pic. Main categories of artificial neural networks.

Unregular networks are used in tasks where clustering of data is necessary. Spiking neural networks can simulate simple biological processes of the central nervous system. In recurrent neural networks - the signal forms one or several loops during its passage through the layers of neurons. In residual neural networks, the signal can propagate bypassing one or more layers. Convolutional neural networks are considered to be the most common in the computer vision tasks.

The given material includes a complete review of the newest artificial neural networks of deep learning. Such as SSD (Single Shot Detector), R-CNN (Region-based Convolutional Neural Network) [1], Faster R-CNN [2] and

YOLO (You Only Look Once) [3, 4]. Here is also given a comparison of such qualities of these networks as the speed of image processing [5, 6], the precision of detection and classification of the object, and also the size and the topology of the network. The given work allows to make a conclusion about the effectiveness of choice of one or the other architecture of the deep learning network under the conditions of use in the mobile robotics [7]. The main datasets for training of the given architectures were considered. Potential directions and areas of application of the deep learning networks were also offered [8].

1. S. Ren, K. He, R. Girshick, and J. Sun. Faster r-cnn: Towards real-time object detection with region proposal networks. arXiv preprint arXiv:1506.01497, 2015. 2, 3, 4, 5, 6
2. R. B. Girshick. Fast R-CNN. CoRR, abs/1504.08083, 2015. 4, 5, 6
3. Joseph Redmon, Ali Farhadi. YOLO9000: Better, Faster, Stronger. University of Washington, Allen Institute for AI. 2016.
4. J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi. You only look once: Unified, real-time object detection. arXiv preprint arXiv:1506.02640, 2015. 4, 5
5. K. Simonyan and A. Zisserman. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. arXiv preprint arXiv:1409.1556, 2014. 2, 5
6. K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun. Deep residual learning for image recognition. arXiv preprint arXiv:1512.03385, 2015. 2, 4, 5
7. Anton Korsakov, Ivan Fomin, Dmitry Gromoshinsky, Aleksandr Bakhshiev, Dmitrii Stepanov, Ekaterina Smirnova. Determination of an Unmanned Mobile Object Orientation by Natural Landmarks // Supplementary Proceedings of the Fifth International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts (AIST-SUP 2016), Yekaterinburg, Russia, April 6-8, 2015. Published on CEUR-WS, vol. 1710, pp. 91-101, 17.11.2016. Online: <http://ceur-ws.org/Vol-1710/>
8. Fomin, I.S., Bakhshiev, A.V., Gromoshinskii, D.A. Study of Using Deep Learning Nets for Mark Detection in Space Docking Control Images // Procedia Computer Science. Issue 103C, 2017. – pp. 59-66.

В.В. Варлашин, О.А. Шмаков
**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЛОКОМОЦИЙ
ЗМЕЕВИДНОГО РОБОТА
НА БАЗЕ СИСТЕМЫ ЗАХВАТА ДВИЖЕНИЯ**

*СПбПУ; ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
botanic-8@yandex.ru, shmakov@rtc.ru*

Приведено описание программно-аппаратного комплекса для исследования локомоций змеевидного робота с использованием системы захвата движения. В состав комплекса входят камеры с поддержкой ИК-диапазона, лабораторный программируемый источник питания и рабочая станция для управления роботом, системой захвата движения и обработки полученных данных. Программное обеспечение реализовано в пакете Simulink Matlab, обеспечивающего взаимодействие с системой захвата движения и источником питания при помощи стандартных инструментов. Представлены результаты испытаний при выполнении локомоционных мод.

Ключевые слова

**ЗМЕЕВИДНЫЙ РОБОТ, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОМ, СИСТЕМА ЗАХВАТА ДВИЖЕНИЯ,
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ.**

V.V. Varlashin, O.A. Shmakov
**HARDWARE AND SOFTWARE SYSTEM FOR CONDUCTING
EXPERIMENTAL STUDIES OF LOCOMOTION OF SNAKE ROBOT
BASED ON A MOTION CAPTURE SYSTEM**

*SPbPU RTC, Saint-Petersburg,
botanic-8@yandex.ru, shmakov@rtc.ru*

A description of the design of hardware and software system for study modes of locomotion of snake robot using motion capture system are presented. System includes cameras with IR support, a laboratory programmable power supply and workstation for controlling the robot, motion capture and data processing. The software is implemented in the Simulink Matlab, which provides interaction with the motion capture system and power supply with standard tools. The results of tests for the performance of modes of locomotion are presented.

**Keyword: SNAKE ROBOT, THE SOFTWARE ROBOT CONTROL,
MOTION CAPTURE SYSTEM, EXPERIMENTAL STUDY.**

Н.А. Рудианов, В.С. Хрущев
**ОРГАНИЗАЦИЯ ПРИОБРЕТЕНИЯ И ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗНАНИЙ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПЕРСПЕКТИВНЫХ
АВТОНОМНЫХ РТК ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ХОДЕ
ОПЫТНО-ВОЙСКОВОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИСТАНЦИОННО-
УПРАВЛЯЕМЫХ КОМПЛЕКСОВ**

3 ЦНИИ МО РФ, Москва

Рассматриваются вопросы приобретения знаний для построения интеллектуальных систем управления вооружением автономных наземных роботов. Предлагается такой этап жизненного цикла, как опытно-войсковая эксплуатация робототехнических комплексов военного назначения использовать для определения облика и формирования интеллектуальных систем принятия решений, приобретения в ходе нее и формализации знаний о типовых задачах функционирования, перечню, характеристикам и признакам типовых целей, последовательности действий, перечню возникающих альтернатив при принятии решений в ходе боевой работы и правилах их выбора.

N.A. Rudianov, V.S. Khrushchev
**ORGANIZATION OF THE ACQUISITION AND FORMALIZATION OF
KNOWLEDGE OF INTELLIGENT SYSTEMS OF PROSPECTIVE
AUTONOMOUS MILITARY RTK IN THE COURSE OF PILOT
OPERATION OF REMOTE-CONTROLLED COMPLEXES**

3 CNIИ MD RF, Moscow

The issues of acquiring knowledge for the construction of intelligent weapon control systems for autonomous terrestrial robots are considered. This stage of the life cycle is proposed as an experimental operation of the operation of robotic military complexes used to determine the appearance and formation of intelligent decision-making systems, the acquisition and formalization of knowledge about typical tasks of operation, a list, characteristics and characteristics of typical goals, sequence of actions, a list of emerging Alternatives when making decisions in the course of combat operations and the rules for their selection.

**А.К. Платонов, С.М. Соколов, А.А. Богуславский, Н.Д. Беклемишев,
О.В. Трифонов, О.И. Давыдов**
**К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ДАЛЬНОМЕТРИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ В
ЗАДАЧАХ МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ*.**

*ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва
sokolsm@keldysh.ru*

**Platonov A.K., Sokolov S.M., Boguslavskiy A.A., Beklemishev N.D.,
Trifonov O.V., Davydov O.V.**
**REGARDING THE CHOICE OF THE RANGE-FINDING SENSORS IN
THE TASKS OF MOBILE ROBOTICS**

*Keldysh Institute of Applied Mathematics (Russian Academy of Sciences),
Moscow
sokolsm@keldysh.ru*

В докладе приводятся тенденции развития современной мобильной робототехники, среди них выделяются: переход к практическому использованию беспилотных устройств с повышенной степенью автономности и полностью автономных; возрастание роли программного обеспечения в создании робототехнических комплексов и систем технического зрения в части систем информационного обеспечения [1, 2]. Обсуждаются проблемы сенсорного обеспечения мобильных роботов с повышенной степенью автономности. Описываются результаты сравнительного анализа образцов устройств четырёх типов, используемых в составе систем информационного обеспечения мобильных средств. В рассмотрении участвовали: лазерный сканер Hokuyo URG-04LX-UG01; датчик удаленности Kinect for Windows; времяпролетная камера Basler ToF 640-20gm_850nm (Time-of-Flight); стереосистема, образованная двумя камерами, установленными на звеньях манипулятора на подвижном основании.

Эксперименты по сбору данных проводились с помощью подвижной платформы, на которой установлен манипулятор РВИЖ.442469.001 (ОАО «НИИВК им. М.А. Карцева») и все сенсоры, участвовавшие в эксперименте (рис. 1).

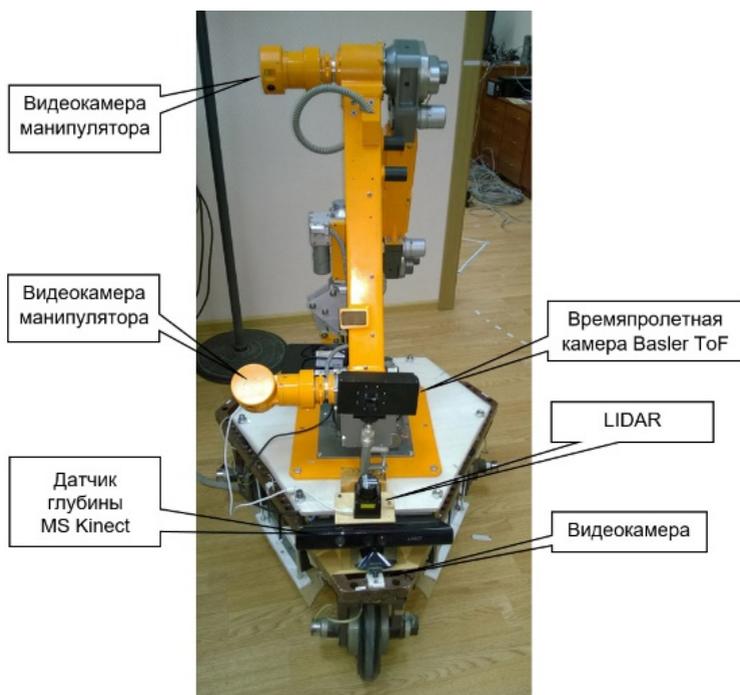


Рис. 1. Многофункциональный манипулятор РВИЖ.442469.001 на подвижной платформе с установленными дальнометрическими сенсорами.

Платформа с перечисленными сенсорами перемещалась по пространству лаборатории. Модель среды, используемая в данной работе, является метрической 2.5D моделью, состоящей из горизонтальных и вертикальных плоскостей. Подробно эта модель описана в работе [3]. Для такой модели в качестве отличительных признаков - ориентиров выбираются поверхности стен и предметов, находящихся в помещении, углы между поверхностями, а также кромки этих поверхностей.

Анализ характеристик сенсоров и их применимости проводился в конфигурационном пространстве систем информационного обеспечения мобильных робототехнических комплексов [4].

На основе сравнительного анализа рассмотренных сенсоров и имеющегося опыта в разработке систем информационного обеспечения мобильных средств с повышенной степенью автономности предлагаются к обсуждению наиболее эффективные компоновки дальнометрических систем и намечаются пути дальнейших исследований.

1. Сайт проекта «самоуправляемый» автомобиль (self-driving car)

режим доступа <https://www.google.com/selfdrivingcar>

2. Maimone M. et al. Autonomous Navigation Results from the Mars Exploration Rover (MER) Mission / Experimental Robotics IX, STAR 21, Springer-Verlag, pp.3-12, 2006.

Ellery A. Rover vision – fundamentals / Planetary Rovers, Springer, 2016, pp.199-262.

3. О.И. Давыдов, А.К. Платонов. Комплексная карта операционной среды робота. //Робототехника и искусственный интеллект. Материалы VII Всероссийской научно-технической конференции, Железногорск, 2015, стр. 108-114.

4. S.M. Sokolov, A.A. Boguslavsky Methodological aspects for the development of information systems of unmanned mobile vehicles. Proc. 13th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO2016), pg. 492-498.

С.И. Антоненко, В.П. Макарычев
**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВИЖИТЕЛЕЙ ПОДВОДНОГО
АППАРАТА**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
makar@rtc.ru*

Наиболее перспективным методом управления подводными аппаратами является управление на основе модели. При этом на основе уравнений обратной динамики аппарата вычисляются сначала главный вектор сил-моментов, который затем раскладывается на необходимые усилия двигателей.

Обычно, с той или иной степенью точности, известны прямые уравнения, дающие выражения усилий двигателей от скоростей вращения винтов двигателей. Требуется построить обратный оператор, что представляет собой не совсем тривиальную задачу: определить необходимые скорости вращения двигателей относительно необходимых развиваемых ими усилий и ряда других параметров.

Данная работа посвящена исследованию решения данной задачи аналитическим методом и методом компьютерного имитационного моделирования всего аппарата.

В данной работе предлагается два способа компенсации неопределенности модели: (1) адаптивная пассивная схема управления и (2) гибридный (адаптивный и скользящий) контроллер. Гибридный контроллер состоит из переключающего элемента, который компенсирует неопределенности во входной матрице и алгоритма онлайн оценки параметров. Общая стабильность обеспечивается за счет применения леммы Барбалата–Ляпунова. Гибридный контроллер моделируется для горизонтального движения норвежского экспериментального аппарата с дистанционным управлением (NEROV).

В работе описаны уравнения движения, адаптивное пассивное управление и гибридное адаптивное управление подводных аппаратов с неопределенностью во входной матрице.

Приведены результаты, которые могут быть применены к подводным аппаратам с мультипликативными входными неточностями. Описана гибридная (адаптивная и скользящая) схемы управления, которые компенсируют неточности входной матрицы при помощи введения непостоянных членов в существующий адаптивный закон управления.

В данной работе были представлены два адаптивных контроллера для нелинейных роботизированных систем. Первый контроллер является развитием адаптивного пассивного контроллера, применяемого от роботов манипуляторов и космических аппаратов до нелинейных подводных

роботизированных систем. Вторая схема представляет собой гибридный контроллер, в котором применяются как принципы адаптивного контроллера, так и теория скользящего режима управления. Рассматриваются системы с входными неточностями. Работа показывает, как адаптивный и гибридный (адаптивный и скользящий) контроллеры могут использовать нелинейные характеристики подруливающего устройства, полученные из тестов на открытой воде. Смоделирован гибридный контроллер для аппарата NEROV.

S.I. Antonenko, V.P. Makarychev
STUDY OF UNDERWATER VEHICLE MOTOR DYNAMICS

RTC, St. Petersburg
makar@rtc.ru

The most perspective method of controlling underwater vehicles is the model-based control. In this case, on the basis of the equations of the reciprocal dynamics of the apparatus, the principal force-moment vector is first calculated, which then decomposes into the necessary forces of the propulsors.

Usually direct equations that give expressions of the forces of the propellers from the rotational speeds of propeller screws are known with a certain degree of accuracy. It is required to construct an inverse operator, which is not quite a trivial task: to determine the necessary rotational speeds of the propellers relative to the necessary forces developed by them and a number of parameters.

This paper is devoted to the study of several methods for solving this problem by the analytical method and the method of computer simulation of the whole vehicle.

In this paper, two ways of compensating for model uncertainty are proposed: (1) an adaptive passive control scheme and (2) a hybrid (adaptive and sliding) controller. The hybrid controller consists of a switching element that compensates for the uncertainties in the input matrix and the algorithm for online parameter estimation. General stability is provided by applying of the Barbalat-Lyapunov lemma. The hybrid controller is modeled for the horizontal movement of a Norwegian Experimental Remotely Operated Vehicle (NEROV).

The paper describes the equations of motion, adaptive passive control, hybrid adaptive control of underwater vehicles with uncertainty in the input matrix is considered.

The results that can be applied to underwater vehicles with multiplicative input inaccuracies are presented. A hybrid (adaptive and sliding) control schemes are described that compensate for the inaccuracies of the input matrix by introducing non-permanent terms into the existing adaptive control law.

In this paper, we presented two adaptive controllers for nonlinear robotic systems. The first controller is the development of an adaptive passive controller, applied from robots of manipulators and spacecraft to nonlinear underwater robotic systems. The second scheme is a hybrid controller in which both the results of the adaptive controller and the theory of sliding control are applied. Systems with input inaccuracies are considered. The paper shows how an adaptive and hybrid (adaptive and sliding) controller can use the nonlinear characteristics of the thruster, obtained from open water tests. A hybrid controller was modelled for NEROV.

*А.Я. Ксензенко, Ю.С. Марзанов, Е.А. Прысев, В.Е. Пряничников,
В.В. Чернышев*
**ПРОТОТИПИРОВАНИЕ БЕСКОНТАКТНОГО ОБМЕНА
ДАНЫМИ И ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ГРУППИРОВКИ
ПОДВОДНЫХ РОБОТОВ-САТЕЛЛИТОВ С ШАГАЮЩЕЙ ПО ДНУ
БАЗОВОЙ СТАНЦИЕЙ**

*Международная лаборатория «Сенсорика», МГТУ «Станкин», МИНОТ
РГТУ,*

*ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, ВолгГТУ
v.e.pr@yandex.ru*

Работа посвящена вопросам создания подводных робототехнических комплексов. Разработаны ключевые элементы и архитектура робототехнического комплекса, состоящего из взаимодействующих между собой частей. Разделение на части - малоподвижную, но хорошо проходимую по дну базовую станцию, связанную кабелем с дистанционным пультом управления, и на высокоманевренные полностью автономные модули (с помощью которых непосредственно выполняются подводные работы) позволяет существенно расширить эксплуатационные возможности комплекса. Такое аппаратное построение дает положительный эффект при условии организации оперативной подзарядки аккумуляторов автономных модулей непосредственно в зоне проведения работ без их подъема на поверхность, а также разделения канала управления на две части: кабельную и гидроакустическую. Макетирование базового модуля и системы бесконтактной передачи энергии и данных для роботов-сателлитов показало реализуемость такого подхода.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проекты 16-07-01264а, 16-07-00811, 16-07-00935а, 16-08-01109а

Ключевые слова: беспилотные подводные аппараты, бесконтактное энергообеспечение, групповое взаимодействие, каналы дистанционного супервизорного управления

*A.Ya. Ksenzenko, Ju.S. Marzanov, E.A. Prysev, V.E. Pryanichnikov,
V.V. Chernyshev*

**PROTOTYPING OF A CONTACTLESS DATA EXCHANGE AND
ENERGY SUPPLY FOR A GROUP OF UNDERWATER ROBOTS-
SATELLITES WITH WALKING ON THE BOTTOM THE BASE
STATION**

*International Laboratory «Sensorika», MSTU «Stankin», INET RSUH,
KIAM Russian Academy of Sciences, Moscow;
Volgograd State Technical University
v.e.pr@yandex.ru*

The work is devoted to creating and prototyping underwater robotic systems. An architecture is proposed to build robotic complex consisting of 2 interacting parts. The separation of slow-moving, but well passable on the bottom of base stations connected by cable with a remote control, and highly maneuverable, fully self-contained units – direct executors of underwater operations can significantly extend the operational capabilities of the complex. This hardware build has a positive effect on the organization and operation of rapid charging of batteries autonomous modules, directly in the area of the works without their ascent to the surface, as well as the separation of the control channel into two parts: the cable and sonar. Prototyping of the walking on the bottom the base station and contactless data exchange and energy supply device had show the efficiency of the suggested approach. *The paper is partially supported by RFBR grants: 16-07-01264a, 16-07-00811, 16-07-00935a, 16-08-01109a.*

Key words: unmanned underwater vehicles, contactless power supply, group interactions of UAV, channels for remote supervisory control.

А.В. Чаднов, О.И. Палий, М.А. Гудков
**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ВОЕННОЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ И
УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ МОБИЛЬНЫМИ
РОБОТИЗИРОВАННЫМИ КОМПЛЕКСАМИ НА ОСНОВЕ
ДОРАБОТАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ LTE-ADVANCED PRO**

*Военная академия связи им. С.М. Буденного, Санкт-Петербург
chadap@yandex.ru*

A.V. Chadnov, O.I. Paliy, M.A. Gudkov
**DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES MILITARY MOBILE
COMMUNICATION AND MANAGEMENT PILOTLESS MOBILE
ROBOTIC COMPLEXES ON THE BASIS OF THE MODIFIED LTE-
ADVANCED PRO TECHNOLOGY**

*Military Academy of the Signal Corps named after S.M. Budjonny, Saint-
Petersburg
chadap@yandex.ru*

Обобщенная функциональная архитектура технологии LTE-Advanced Pro с технологиями eMTC/NB-IoT для сетей мобильной связи и управления 4++ поколения.

Характеристики новых технологий межмашинного взаимодействия eMTC и Интернет-вещей NB-IoT технологии LTE-Advanced Pro.

Особенности технологий межмашинного взаимодействия eMTC для обеспечения связью и управления беспилотными мобильными роботизированными комплексами (БМРК), включая группировки БПЛА, беспилотный транспорт, роботы мобильного специального и промышленного назначения.

Домены применения продуктов технологии обработки комплексных цифровых сигналов с когнитивной адаптацией к средам распространения радиоволн и уровням сигналов в радиолиниях LTE-A Pro для обеспечения помехоустойчивой связью и управления комплексами БМРК.

Схема разработки продуктов технологии обработки комплексных цифровых сигналов с когнитивной адаптацией к средам распространения

радиоволн и уровням сигналов в радиолиниях LTE-A Pro для обеспечения помехоустойчивой связью и управления комплексами БМРК.

Функциональная модель апробации в среде MatLab/Simulink помехоустойчивых комплексных сигнальных созвездий тракта передачи/приёма нисходящей радиолинии технологии LTE-A Pro.

Для заметок

Сборник тезисов
Международной научно-технической конференции

ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА

2-3 ноября 2017 года, Санкт-Петербург

Abstracts
of the International Scientific and Technological Conference

EXTREME ROBOTICS

November 2-3, 2017, Saint-Petersburg, Russia



Подписано в печать 26.09.2017
Формат 60x84¹/₈. Печать – цифровая.
Тираж 250 экз. Объем 21,97 п.л.
Бумага офсетная. Заказ № 2054
Отпечатано в типографии «Джем».