

Сборник тезисов
Международной научно-технической конференции

**ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА
И КОНВЕРСИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

7-8 июня 2018 года, Санкт-Петербург

Abstracts
of the International Scientific and Technological Conference

**EXTREME ROBOTICS
AND CONVERSION TENDENCIES**

June 7-8, 2018, Saint-Petersburg, Russia



er.rtc.ru

УДК 004.896:007.5:338.23
ББК 32813
Э41

ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА И КОНВЕРСИОННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ. // Сборник тезисов Международной научно-технической конференции. – Санкт-Петербург: ИПЦ ООО «Политехника-принт», 2018. – 224 с.

Материалы сборника отражают круг актуальных проблем и задач в сфере робототехнических систем и средств безопасности, представленных на Международной научно-технической конференции «ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА И КОНВЕРСИОННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ».

Тезисы опубликованы в авторской редакции.

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

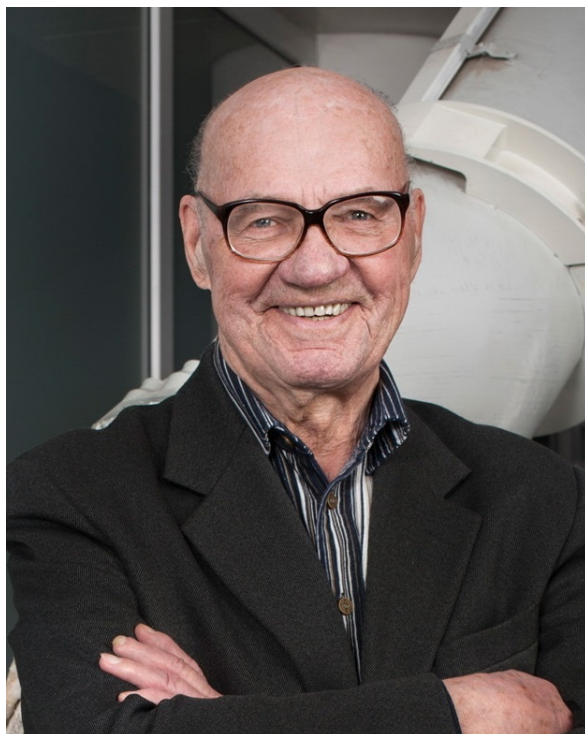
EXTREME ROBOTICS AND CONVERSION TENDENCIES. // Abstracts of the International Scientific and Technological Conference. – Saint-Petersburg: Company «Politekhnik-Print», 2018. – 224 p.

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 AND CONVERSION TENDENCIES».

Abstracts are published with author's correction only.

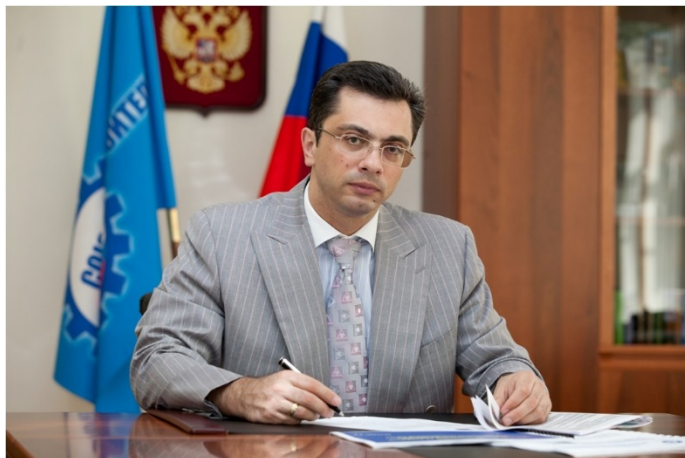
Design by Irina Kuptcova, kuptzova@rtc.ru

ISBN 978–5–907050–18–1 ©ЦНИИ робототехники и технической кибернетики, 2018



*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,
почетный сопредседатель программного комитета конференции
«ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА И
КОНВЕРСИОННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ»
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,
Honorary Co-Chairman of the Program Committee of
EXTREME ROBOTICS AND CONVERSION TENDENCIES Conference
Evgeny Yurevich*



Уважаемые коллеги!

От имени Союза машиностроителей России и от себя лично приветствую организаторов, участников и гостей 29-ой Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника и конверсионные тенденции».

Робототехнические системы сегодня приобретают особую актуальность для работы в экстремальных условиях и чрезвычайных ситуациях, безусловно, их применение требует новой организации технологического процесса и новой специальной подготовку инженеров.

Конференция дает возможность не только ознакомиться с инновационным оборудованием в области здравоохранения, в сфере обслуживания, военной и антитеррористической робототехникой, но и обменяться

Dear Colleagues!

On behalf of the Russian Engineering Union and from myself personally I welcome organizers, participants and guests of the 29th International Scientific and Technological Conference «Extreme Robotics and Conversion Tendencies».

Nowadays robotic systems acquire undoubtedly a special relevance for works in emergency situations and under extreme conditions, their application requires new organization of the technological process and new special training of engineers.

The conference gives a chance not only to get acquainted with the innovative equipment in the fields of health care, services sector, military and anti-terrorist robotics, but also to exchange experience with colleagues and experts as well as to develop the international partnership.

опытом с коллегами и экспертами, а также развить международные партнерские отношения.

Убежден, что деловая программа позволит обсудить широкий круг вопросов, связанных с созданием и применением робототехнических систем нового поколения, решением оборонных задач, задач по освоению космоса и глубин Мирового океана, а также совершенствованию применения робототехнических систем в медицине, атомной энергетике, в опасных производствах.

Желаю организаторам, участникам и гостям 29-ой Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника и конверсионные тенденции» успешной работы, реализации намеченных целей и развития сотрудничества!

Первый заместитель Председателя Союза машиностроителей России, Первый заместитель председателя Комитета ГД по экономической политике, промышленности, инновационному развитию и предпринимательству

I am sure that the business program will allow to discuss a wide range of questions concerning a creation and application of the new generation of robotic systems, a solution of defense tasks and exploration tasks of the outer space and the World Ocean as well as an improvement of robotic system applications in medicine, in nuclear power engineering, in dangerous works.

I wish the organizers, participants and guests of the 29th International Scientific and Technological Conference «Extreme Robotics and Conversion Tendencies» successful work, implementation of the goals and development of cooperation!

First Deputy Chairman of the Russian Engineering Union,
First Deputy Chairman of the State Duma Committee on Economic Policy, Industry, Innovative Development and Entrepreneurship



В.В. Гутенев
Vladimir Gutenev



Уважаемые коллеги!

Я рад приветствовать участников 29-й Международной научно-технической конференции «Экстремальная робототехника и конверсионные тенденции» в государственном научном центре Российской Федерации «Центральный научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт робототехники и технической кибернетики».

В последние десятилетия достижения в области робототехники во многом определяют успехи в освоении космического пространства, глубин Мирового океана, при реализации передовых медицинских технологий.

В этом году тематика нашей конференции посвящена практическим вопросам применения робототехнических средств нового поколения для решения задач по освоению космоса, глубин Мирового океана,

Dear Colleagues!

I am glad to welcome participants of the 29th International scientific and technical conference «Extreme Robotics and Conversion Tendencies» at the Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics.

In the last decades achievements in the field of robotics largely determine the successes in the development of outer space, the depths of the World Ocean, in the implementation of advanced medical technologies. This year the scope of our conference is devoted to practical questions of application of robotic means of new generation for solving problems of space exploration, depths of the World Ocean, medicine, nuclear power, production. A number of thematic meetings are held with the support of the Peter the Great St. Petersburg Polytechnic

медицины, атомной энергетики, производства. Ряд тематических заседаний проводится при поддержке Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого и Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова.

Дальнейшее освоение вышеперечисленных областей напрямую связано с разработкой и внедрением новых технологий, расширением взаимовыгодного сотрудничества отечественных и зарубежных исследовательских центров и компаний.

Уверен, что уровень предстоящей конференции позволит ознакомиться с последними достижениями в области экстремальной робототехники, осветить актуальные вопросы в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах и выявить основные тенденции рынка в роботостроении.

Желаю всем участникам новых открытий, решений, расширения круга друзей и партнеров!

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

University and Almazov National
Medical Research Center.

Further development of the above mentioned areas is directly related to the development and implementation of new technologies, the expansion of mutually beneficial cooperation between domestic and foreign research centers and companies.

I am sure that the level of the forthcoming conference will allow you to get acquainted with the latest achievements in the field of extreme robotics, to cover current issues in research and development and to identify the main market trends in robot industry.

I wish all participants new discoveries, solutions, expansion of the circle of friends and partners!

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 Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий*
- *Министерства здравоохранения Российской Федерации*
- *Российской академии наук*
- *Ассоциации государственных научных центров «Наука»*
- *Общероссийского отраслевого объединения работодателей «Союз машиностроителей России»*
- *Правительства Санкт-Петербурга*
- *Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (СПбПУ)*
- *ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России*

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*
- *EMERCOM of Russia*
- *Ministry of Health of the Russian Federation*
- *Russian Academy of Sciences*
- *State Scientific Centers of the Russian Federation Association*
- *All-Russian branch association of employers «Russian Engineering Union»*
- *Government of St. Petersburg*
- *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University*
- *Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation*

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:

- **Мартыанов Олег Викторович**, член Военно-промышленной комиссии Российской Федерации (ВПК РФ), руководитель межведомственной рабочей группы ВПК РФ

Почетный сопредседатель:

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

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:

- **Альбу-Шаффер Алин**, доктор, профессор, директор Института робототехники и мехатроники Германского космического агентства (DLR), Германия
- **Андреев Виктор Павлович**, д.т.н., профессор МГТУ «СТАНКИИ», Москва
- **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 (IARLA)
- **Каляев Игорь Анатольевич**, академик РАН, заместитель председателя Научного совета по робототехнике и мехатронике РАН; научный руководитель направления ЮФУ, г. Таганрог
- **Каприн Андрей Дмитриевич**, академик РАН, генеральный директор ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, г. Обнинск
- **Каталинич Бранко**, доктор, президент Международной ассоциации ДАААМ, Австрия
- **Максимов Андрей Станиславович**, председатель Комитета по науке и высшей школе Санкт-Петербурга

- **Павловский Владимир Евгеньевич**, д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник ИПМ им. М.В. Келдыша РАН; член Научного совета по робототехнике и мехатронике РАН, Москва
- **Пешехонов Владимир Григорьевич**, академик РАН, генеральный директор Государственного научного центра РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор», Санкт-Петербург
- **Плегер Пауль**, доктор, профессор университета прикладных наук Бонн-Рейн-Зига, Германия
- **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
- **Романов Алексей Александрович**, д.т.н., заместитель генерального директора по науке АО «Российские космические системы», Москва
- **Ронжин Андрей Леонидович**, д.т.н., профессор, врио директора СПИИРАН, Санкт-Петербург
- **Филимонов Николай Борисович**, д.т.н., профессор, главный редактор теоретического и прикладного научно-технического журнала «Мехатроника, автоматизация, управление (МАУ)», Москва
- **Цариченко Сергей Георгиевич**, д.т.н., начальник испытательного полигона ФКП «НИИ «Геодезия», г. Красноармейск, Моск. обл.
- **Шляхто Евгений Владимирович**, академик РАН, директор ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург
- **Ющенко Аркадий Семенович**, д.т.н., профессор, заместитель заведующего кафедрой «Робототехнические системы и мехатроника» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

CONFERENCE PROGRAM COMMITTEE

Chairman:

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

Honorary Co-Chairman:

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

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:

- **Albu-Schäffer Alin Olimpiu**, Doctor, Professor, Director of DLR Institute of Robotics and Mechatronics, Germany
- **Andreev Victor**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Moscow State Technical University of Technology «STANKIN», Moscow
- **Filimonov Nikolay**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Editor of monthly scientific-and-technological and production journal «Mechatronics, Automation and Control», Moscow
- **Kalyaev Igor**, Academician of the RAS, vice-chairman of RAS Academic Council on Robotics and Mechatronics; research supervisor of the direction of SFU, Taganrog town
- **Kaprin Andrey**, Academician of the RAS, Director General of National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Obninsk town
- **Katalinic Branko**, Doctor, President of the DAAAM International Association, Austria
- **Maksimov Andrey**, Chairman of Committee for science 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
- **Peshehonov Vladimir**, Academician of the RAS, General Director of Concern CSRI Elektropribor, JSC, Saint-Petersburg

- **Ploeger Paul**, Doctor, Professor Bonn-Rhein-Sieg University of Applied Science, Germany
- **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
- **Romanov Alexey**, Doctor of Technical Sciences, Deputy General Director for Science of «Russian Space Systems», JSC, Moscow
- **Ronzhin Andrey**, Doctor of Technical Sciences, Deputy Director for Research of St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences
- **Shlyakhto Evgeny**, Academician of the RAS, Director General of the Almazov National Medical Research Centre, Saint-Petersburg
- **Tsarichenko Sergey**, Doctor of Technical Sciences, Head of the proof ground of Research Institute «Geodeziya», Krasnoarmeisk, Moscow region
- **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 (IARIA)

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Председатель:

- **Допота 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:

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

Члены организационного комитета:

- **Горская Ирина Васильевна**, генеральный директор АГНЦ «Наука», Москва
- **Гутенев Владимир Владимирович**, первый заместитель Председателя Союза машиностроителей России, первый заместитель председателя Комитета ГД по экономической политике, промышленности, инновационному и предпринимательству Общероссийского отраслевого объединения работодателей «Союз машиностроителей России»
- **Емельянов Сергей Геннадьевич**, д.т.н., профессор, ректор ЮЗГУ, г. Курск
- **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
- **Катенев Владимир Иванович**, председатель Совета Санкт-Петербургской торгово-промышленной палаты
- **Кондратьев Александр Сергеевич**, к.т.н., заместитель директора ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
- **Кудж Станислав Алексеевич**, д.т.н., ректор ФГБОУ ВО «Московский технологический университет»

- *Лобин Михаил Александрович*, генеральный директор исполнительной дирекции, первый вице-президент ООО «Союз промышленников и предпринимателей Санкт-Петербурга»
- *Мейксин Максим Семенович*, председатель Комитета по промышленной политике и инновациями Санкт-Петербурга
- *Михайлов Борис Борисович*, к.т.н., доцент кафедры «Робототехнические системы и мехатроника» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
- *Рудской Андрей Иванович*, академик РАН, ректор Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
- *Уемура Кензуке*, доктор, директор ITAC Ltd, Япония
- *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:

- **Emelyanov Sergey**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Rector of Southwest State University, Kursk town
- **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
- **Gutenev Vladimir**, First Deputy Chairman of the Russian Engineering Union, First Deputy Chairman of the State Duma Committee on Economic Policy, Industry, Innovative Development and Entrepreneurship
- **Ivanov Alexander**, Chief of Scientific-Industrial Complex of RTC, Saint-Petersburg
- **Katenev Vladimir**, Chairman of the Board St. Petersburg Commerce and Industry Chambers
- **Kondratyev Alexander**, Candidate of Technical Sciences, Deputy Director of RTC, Saint-Petersburg
- **Kudzh Stanislav**, Doctor of Technical Sciences, Rector of Moscow Technological University
- **Lobin Mikhail**, General director of executive directorate, first vice-president of Union of Industrialists and Entrepreneurs of Saint Petersburg
- **Meyksin Marsim**, Chairman of Committee for industrial policy and innovations of Saint-Petersburg
- **Mikhailov Boris**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor in Baumann State Technical University, Moscow
- **Rudskoy Andrey**, Academician of the Russian Academy of Science, Rector of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
- **Uemura Kensuke**, Doctor, Director of ITAC Ltd., Japan
- **Yudin Victor**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Deputy Chief Designer of RTC, Saint-Petersburg

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ / PLENARY SESSION	32
<i>S.G. Tsarichenko, S.E. Simanov, I.M. Sidorov</i> PARAMETRICALLY- APPROXIMATE METHOD FOR SOLVING THE INVERSE KINEMATIC PROBLEM FOR MANIPULATORS	32
<i>С.Г. Цариченко, С.Е. Симапов, И.М. Сидоров</i> НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ИСПЫТАНИЙ НАЗЕМНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ ПРИМЕНЕНИЯ В НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ УСЛОВИЯХ	33
<i>A.A. Romanov</i> SIXTH TECHNOLOGICAL WAY IN SPACE DEVICE ENGINEERING	34
<i>А.А. Романов</i> ШЕСТОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УКЛАД В КОСМИЧЕСКОМ ПРИБОРОСТРОЕНИИ	34
<i>V.V. Uyba</i> MAIN DIRECTIONS OF WORKS ON CREATION OF MEDICAL ROBOTIC SYSTEMS OF NEW GENERATION	35
<i>В.В. Уйба</i> ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ МЕДИЦИНСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ	35
<i>S.A. Polovko, A.V. Popov</i> APPLICATION PROSPECTS OF THE HYBRID GROUPS OF THE SPECIAL PURPOSE MOBILE ROBOTS	39
<i>С.А. Половко, А.В. Попов</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ГРУПП МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	40
КОСМИЧЕСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА / SPACE ROBOTICS	41
<i>M.V. Mikhaylyuk, E.V. Strashnov, A.A. Prilipko, B.I. Kryuchkov, V.M. Usov</i> THE ON-BOARD SIMULATION AND TRAINING SYSTEM FOR PERFORMING MANIPULATOR'S ACTIONS IN THE SUPERVISORY CONTROL MODE AND BUILDING THE VISUAL FEEDBACK FOR COSMONAUTS	41
<i>М.В. Михайлюк, Е.В. Страшнов, А.А. Прилипко, Б.И. Крючков, В.М. Усов</i> БОРТОВОЙ ИМИТАЦИОННО-ТРЕНАЖЕРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ МАНИПУЛЯТОРОМ В СУПЕРВИЗОРНОМ РЕЖИМЕ И ПОСТРОЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ КОСМОНАВТА	41
<i>P.P. Belonozhko</i> SYNTHESIS OF PROGRAM MOTIONS OF A ROBOTIC SPACE MODULE TAKING INTO ACCOUNT THE INTRINSIC DYNAMICS OF THE REDUCED SYSTEM	42
<i>П.П. Белоношко</i> СИНТЕЗ ПРОГРАММНЫХ ДВИЖЕНИЙ РОБОТИЗИРОВАННОГО КОСМИЧЕСКОГО МОДУЛЯ С УЧЕТОМ СОБСТВЕННОЙ ДИНАМИКИ ПРИВЕДЕННОЙ СИСТЕМЫ	42

<i>A.V. Vasiliev, I.Yu. Dalayev</i> RTC DEVELOPMENTS IN THE FIELD OF ROBOTICS FOR FUTURE ON-ORBIT AND PLANETARY MISSIONS	43
<i>A.B. Васильев, И.Ю. Даляев</i> РАЗРАБОТКИ ЦНИИ РТК В ОБЛАСТИ РОБОТОТЕХНИКИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БУДУЩИХ ОРБИТАЛЬНЫХ И НАПЛАНЕТНЫХ МИССИЙ	45
<i>E.M. Kuznetsova, I.Y. Dalayev, V.V. Titov, E.A. Smirnov, A.A. Truts</i> HARTIC DEVICE WITH PARALLEL KINEMATICS	49
<i>E.M. Кузнецова, И.Ю. Даляев, Е.А. Смирнов, В.В. Титов, А.А. Трутс</i> МАНИПУЛЯТОР ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ, ОЧУВСТВЛЕННЫЙ ПО УСИЛИЮ	49
<i>A.V. Safonov, A.N. Yusupov, A.V. Lopota</i> AN ALGORITHM FOR AUTO-TUNING OF DIGITAL CONTROLLERS FOR MECHATRONIC MODULES WITH SPACE APPLICATIONS	51
<i>A.B. Сафонов, А.Н. Юсупов, А.В. Лопота</i> АЛГОРИТМ САМОНАСТРОЙКИ ЦИФРОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	51
<i>I.E. Chernyshev, A.V. Yaskevich</i> THE LEGS STIFFNESS CHARACTERISTICS DETERMINATION OF THE NEW PERIPHERAL DOCKING MECHANISM	52
<i>И.Е. Чернышев, А.В. Яскевич</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖЁСТКОСТИ ШТАНГ НОВОГО ПЕРИФЕРИЙНОГО СТЫКОВОЧНОГО МЕХАНИЗМА	52
<i>I.V. Shardyko, A.N. Yusupov</i> IMPLEMENTATION OF STIFF AND COMPLIANT JOINT TRAJECTORY CONTROL FOR SPACE MANIPULATION SYSTEMS	54
<i>И.В. Шардыко, А.Н. Юсупов</i> РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ЖЁСТКОГО И ПОДАТЛИВОГО ТРАЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ШАРНИРАМИ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	56
<i>N.V. Zarutckii, I.U. Dalayev, V.A. Kuznetsov, M. U. Gook</i> LESSONS LEARNED FROM THE DEVELOPMENT AND TEST OF THE TWO-AXIS ROTARY PLATFORM FOR RUSSIAN SEGMENT OF ISS	58
<i>Н.В. Заруцкий, И.Ю. Даляев, В.А. Кузнецов, М.Ю. Гук</i> ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ИСПЫТАНИЙ ДВУХОСНОЙ ПОВОРОТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ РС МКС	58
<i>K.A. Volnyakov</i> INFLUENCE OF LUBRICANTS IN ZONE OF CONTACT OF SURFACES	60
<i>К.А. Волняков</i> ВЛИЯНИЕ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ В ЗОНЕ КОНТАКТА ПОВЕРХНОСТЕЙ	60
<i>V.M. Korylov, I.Yu. Dalayev</i> CONTROL AND SHEDULING METHODS FOR SERVICING SPACECRAFT EQUIPPED WITH MANIPULATORS	61

<i>В.М. Копылов, И.Ю. Даляев</i> МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ СЕРВИСНОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА, ОСНАЩЕННОГО МАНИПУЛЯТОРАМИ	62
<i>Герхард Грюнволд, Максимо А. Роа, Армин Ведлер</i> РОБОТОТЕХНИКА ДЛЯ ОСВОЕНИЯ КОСМОСА	62
<i>Gerhard Grunwald, Máximo A. Roa, Armin Wedler</i> ROBOTICS FOR IN-SPACE ASSEMBLY	62
<i>F.V. Tebueva, V.I. Petrenko, V.O. Antonov, M.M. Gurchinskiy, N.Yu. Svistunov</i> A METHOD OF DETERMINING THE MUTUAL POSITION OF OPERATOR'S ARM JOINTS FOR ANTHROPOMORPHIC SPACE MANIPULATOR CONTROL	65
<i>Ф.В. Тебуева, В.И. Петренко, В.О. Антонов, М.М. Гурчинский, Н.Ю. Свистунов</i> МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЗАИМОПОЛОЖЕНИЯ СУСТАВОВ РУКИ ОПЕРАТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АНТРОПОМОРФНЫМ КОСМИЧЕСКИМ МАНИПУЛЯТОРОМ	65
<i>A.V. Ivanov, V.M. Rulevskiy, N.N. Tsebenko</i> SISTEM OF CONTROL AND MANAGEMENT FOR COSMOVOT BATTERY	66
<i>А.В. Иванов, В.М. Рулевский, Н.Н. Цебенко</i> СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ КОСМОРОБОТА	66
<i>M.N. Belov</i> SCIENTIFIC EQUIPMENT FOR RECORDING THE GAS-PLASMA ENVIRONMENT	68
<i>М.Н. Белов</i> НАУЧНАЯ АППАРАТУРА РЕГИСТРАЦИИ ГАЗОПЛАЗМЕННОГО ОКРУЖЕНИЯ	68
<i>I.V. Voinov, A.M. Kazantsev, B.A. Morozov, M.V. Nosikov</i> RADIATION-PROOF MANIPULATORS AND METHODS FOR EXTENDING THEIR FUNCTIONALITY	69
<i>И.В. Войнов, А.М. Казанцев, Б.А. Морозов, М.В. Носиков</i> РАДИАЦИОННО-СТОЙКИЕ МАНИПУЛЯТОРЫ И МЕТОДЫ РАСШИРЕНИЯ ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ	69
<i>M.I. Malenkov, N.K. Guseva, E.A. Lazarev, D.N. Kuz'menko, I.Yu. Dal'yaev, A.V. Vasiliev</i> BEGINNING AND DEVELOPMENT OF DESIGN TECHNOLOGIES OF LOCOMOTION SYSTEMS OF PLANETARY ROVERS	72
<i>М.И. Маленков, Н.К. Гусева, Е.А. Лазарев, Д.Н. Кузьменко, И.Ю. Даляев, А.В. Васильев</i> НАЧАЛО И РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ПЛАНЕТОХОДОВ	72
<i>P.N. Vlasov, I.G. Sokhin, A.A. Kuritsyn</i> PROBLEMS OF INTERACTION OF CREWS WITH ANTHROPOMORPHOUS ROBOTIC ASSISTANTS IN FUTURE SPACE MISSIONS	78

<i>П.Н. Власов, И.Г. Сохин, А.А. Курицын</i> ПРОБЛЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭКИПАЖЕЙ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ МИССИЙ С АНТРОПОМОРФНЫМИ РОБОТАМИ- ПОМОЩНИКАМИ	78
КОММЕРЦИАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ РОБОТОТЕХНИКИ / COMMERCIALIZATION OF EXTREME ROBOTICS TECHNOLOGIES	80
<i>A.S. Yuschenko</i> COLLABORATIVE ROBOTICS: STATE OF ART AND OUTLOOK	80
<i>А.С. Ющенко</i> СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ КОЛЛАБОРАТИВНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ	81
<i>R.S. Timofeev</i> INDUSTRIAL ROBOTICS TRENDS	83
<i>P.C. Тимофеев</i> СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПРОМЫШЛЕННОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ	83
<i>A.Y. Sedov, I.B. Pryamitsyn, O.A. Shmakov</i> CATERPILLAR TRACK FOR SMALL MOBILE ROBOT	84
<i>А.Ю. Седов, И.Б. Прямыцин, О.А. Шмаков</i> ГУСЕНИЧНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ МАЛОГАБАРИТНОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА	84
<i>V.K. Abrosimov, V.V. Eliseev</i> INTELLIGENT AGROROBOT FOR GOALS OF PRECISION FARMING	85
<i>В.К. Абросимов, В.В. Елисеев</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АГРОРОБОТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ	85
<i>S.M. Shpolyanskiy, A.Y. Sedov</i> CONSTRUCTIVE FEATURES OF THE THROWABLE CRAWLER ROBOTIC PLATFORMS	87
<i>С.М. Шполянский, А.Ю. Седов</i> КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗАБРАСЫВАЕМЫХ ГУСЕНИЧНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ	87
<i>A.N. Vlasenko, A.Y. Ivasheva, O.E. Lapin, V.G. Mikutsky, P.V. Semenikhin</i> SYSTEM FOR AUTONOMOUS RADIATION MONITORING AROUND NUCLEAR POWER PLANT	88
<i>А.Н. Власенко, А.Ю. Ивашева, О.Е. Лапин, В.Г. Микуцкий, П.В. Семенихин</i> СИСТЕМА ДЛЯ АВТОНОМНОГО МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ВОКРУГ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ	88
<i>E.S. Briskin, Y.V. Kalinin, M.V. Miroshkina</i> WAYS OF MINIMIZE ENERGY COSTS FOR THE WALKING ROBOTS MOVEMENT AT ITS DISPLACEMENT ALONG A COMPLEX PROFILE	89
<i>Е.С. Брискин, Я.В. Калинин, М.В. Мирошкина</i> ПУТИ МИНИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ШАГАЮЩЕГО РОБОТА ПРИ ЕГО ДВИЖЕНИИ ПО СЛОЖНОМУ ПРОФИЛЮ	89
<i>A.V. Zuev, V.F. Filaretov, A.N. Zhirabok</i> DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE SYSTEM OF TYPICAL FAULT DIAGNOSIS IN ELECTRIC DRIVES OF MANIPULATORS	91

<i>А.В. Зуев, В.Ф. Филаретов, А.Н. Жирабок</i> РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТИПОВЫХ ДЕФЕКТОВ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ МАНИПУЛЯТОРОВ	91
<i>S.I. Savin, A.V. Vorochaev, D.Yu. Medvedev</i> STUDY OF THE INFLUENCE THE PARAMETERS OF ELASTIC DRIVES HAVE ON THE PERFORMANCE OF THE CONTROL SYSTEM OF A HUMANOID ROBOT	92
<i>С.И. Савин, А.В. Ворочаев, Д.Ю. Медведев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК УПРУГИХ ПЕРЕДАЧ НА КАЧЕСТВО РАБОТЫ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА	92
<i>V.L. Afonin, A.N. Smolentsev, M.G. Yakovlev</i> INTELLIGENT ROBOTIC COMPLEX FOR FINISHING COMPLEX SURFACES	94
<i>В.Л. Афонин, А.Н. Смоленцев, М.Г. Яковлев</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ	94
<i>A.D. Kulichenko, E.Yu. Smirnova</i> POSSIBLE APPLICATION OF HETEROGENEOUS ROBOT GROUP TO SEARCH AND LOCALIZATION OF IONIZING RADIATION SOURCES	95
<i>А.Д. Куличенко, Е.Ю. Смирнова</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННОЙ ГРУППЫ РОБОТОВ ДЛЯ ПОИСКА И ЛОКАЛИЗАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ	95
<i>V.I. Syryamkin, V.I. Gutsul, I.S. Firsov, M.V. Syryamkin</i> DEVELOPMENT OF THE CATERPILLAR ROBOT FOR ENVIRONMENTAL MONITORING	96
<i>В.И. Сырямкин, В.И. Гуцул, И.С. Фирсов, М.В. Сырямкин</i> РАЗРАБОТКА РОБОТА НА ГУСЕНИЧНОМ ХОДУ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	96
<i>D.A. Gromoshinskii, A.M. Zhukov, A.V. Popov, E.Yu. Smirnova</i> PROVIDING SAFE GROUND SAMPLING INSIDE THE WORKING ZONE OF A MANIPULATOR WITH COMPUTER VISION	98
<i>Д.А. Громошинский, А.М. Жуков, А.В. Попов, Е.Ю. Смирнова</i> ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОГО ЗАБОРА ПРОБЫ ГРУНТА В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ МАНИПУЛЯТОРА С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ	98
<i>E.P. Grach, N.I. Filippov</i> APPLICATION OF VL53L0X LASER DISTANCE SENSORS IN OBJECT DETECTION SYSTEMS	99
<i>Е.П. Грач, Н.И. Филиппов</i> ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ДАТЧИКОВ РАССТОЯНИЯ VL53L0X В СИСТЕМАХ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ	101
<i>S.D. Likhonosov, N.A. Protsenko, V.P. Kulyga, A.N. Petrov, I.V. Gorbacheva, S.I. Shchekoldin</i> AUTONOMOUS POWER SOURCES	

OF PJSC "SATURN" AND THEIR APPLICATION IN ROBOTIC SYSTEMS	103
<i>С.Д. Лихоносов, Н.А. Проценко, В.П. Кулыга, А.Н. Петров, И.В. Горбачева, С.И. Щеколдин</i> АВТОНОМНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ПАО «САТУРН» И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ	103
<i>D.A. Kapustin, D.M. Korolev, O.A. Shmakov, A.V. Lopota</i> POWER SUPPLY AND CONTROL SYSTEMS DESIGN FOR MOBILE ROBOTIC PLATFORMS	104
<i>Д.А. Капустин, Д.М. Королев, О.А. Шмаков, А.В. Лопота</i> РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМ ПИТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ	104
<i>A.G. Netkachev, D.N. Vyckovskii, A.L. Korotkov</i> METHODS FOR INCREASING THE PERFORMANCE OF THE MACHINE FOR LAYER-BY-LAYER CREATING OF POLYMERIC-SAND MOLDS	105
<i>А.Г. Неткачев, Д.Н. Бычковский, А.Л. Коротков</i> ПОИСК СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ УСТАНОВКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПЕСЧАНО-ПОЛИМЕРНЫХ ФОРМ МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО СИНТЕЗА	105
<i>T.A. Baidina, S.F. Burdakov, O.B. Shagniev, I.K. Shanshin</i> THE CONTROL OF VIBRATION IN CONTACT INTERACTION BETWEEN ROBOT AND SURFACE	107
<i>T.A. Байдина, С.Ф. Бурдаков, О.Б. Шагниева, И.К. Шаншин</i> УПРАВЛЕНИЕ ВИБРАЦИЯМИ ПРИ КОНТАКТЕ РОБОТА С ПОВЕРХНОСТЬЮ	107
<i>A.A. Ayskin, D.V. Davydov, A.Ya. Ksenzenko, Yu.S. Marzanov, M.S. Petrakov, V.E. Pryanichnikov, A.S. Travushkin, R.V. Khelemendik, S.R. Eprikov</i> CREATION OF THE TRANSPORT SYSTEM CONTROL WITH LOGICAL ANALYSIS OF THE FEASIBILITY OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS	109
<i>А.А. Арыскин, Д.В. Давыдов, А.Я. Ксензенко, Ю.С. Марзанов, М.С. Петраков, В.Е. Пряничников, А.С. Травушкин, Р.В. Хелемендик, С.Р. Эприков</i> ПОСТРОЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЙ С ЛОГИЧЕСКИМ АНАЛИЗОМ РЕАЛИЗУЕМОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ	109
<i>V.E. Pryanichnikov, A.V. Bogdanovich, A.G. Zubov, A.V. Plotnikov, O.V. Punenkov</i> DEVELOPMENT OF THE SERVICE AUTONOMOUS MOBILE GENERAL-PURPOSE ROBOT AMUR-307	110
<i>В.Е. Пряничников, А.В. Богданович, А.Г. Зубов, А.В. Плотников, О.В. Пуненков</i> РАЗРАБОТКА СЕРВИСНОГО АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО РОБОТА АМУР-307	110

<i>A.U. Nenashev</i> KEY DEVELOPMENTS AND SERVICES OF JSC SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF ELECTRONIC AS PART OF IMPORT SUBSTITUTION FOR THE ROBOTICS INDUSTRY	111
<i>A.U. Ненашев</i> КЛЮЧЕВЫЕ РАЗРАБОТКИ И УСЛУГИ АО «НИИЭТ» В РАМКАХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ОТРАСЛИ РОБОТОСТРОЕНИЯ	111
ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА / ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES	114
<i>I.A. Bugakov</i> MINIMALITY AND CATEGORIZATION PRINCIPLE IN NATURAL AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE	114
<i>И.А. Бугаков</i> ПРИНЦИП МИНИМАЛЬНОСТИ И КАТЕГОРИЗАЦИЯ В ЕСТЕСТВЕННОМ И ИСКУССТВЕННОМ ИНТЕЛЛЕКТЕ	116
<i>E.A. Abrosimov</i> APPLICATION OF THE FUZZY LOGIC FOR MOBILE ROBOT NAVIGATION IN POORLY DESCRIBED ENVIROMENT	118
<i>Э.А. Абросимов</i> ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ НАВИГАЦИИ МОБИЛЬНОГО РОБОТА В ПЛОХО ФОРМАЛИЗУЕМОЙ СРЕДЕ	119
<i>V.P. Noskov, I.O. Kiselev</i> A SELECTION OF FLAT OBJECTS IN A LINEAR-STRUCTURED 3D-IMAGES	121
<i>В.П. Носков, И.О. Киселев</i> ВЫДЕЛЕНИЕ ПЛОСКИХ ОБЪЕКТОВ В ЛИНЕЙНО-СТРУКТУРИРОВАННЫХ 3D-ИЗОБРАЖЕНИЯХ	121
<i>A.A. Andrakhanov, A.V. Stuchkov</i> MOBILE ROBOT'S INTELLIGENT SYSTEM FOR TRAVERSABILITY ESTIMATION OF UNDERLYING SURFACES	123
<i>A.A. Андраханов, А.В. Стучков</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ ПРЕОДОЛИМОСТИ УЧАСТКОВ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ	125
<i>A.S. Antonov, D.O. Makarov, B.B. Mikhailov</i> USING OF INTELLIGENT SENSOR IN A TECHNICAL VISION SYSTEM TO CONTROL PARTS ON A CONVEYOR BELT	127
<i>A.C. Антонов, Д.О. Макаров, Б.Б. Михайлов</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ДАТЧИКА В СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ НА КОНВЕЙЕРЕ	127
<i>I.S. Baltashov, A.A. Semakova, O.A. Shmakov</i> 2.5D MAP-BUILDING FOR MOBILE ROBOT TRAVERSABILITY ASSESSMENT	129
<i>И.С. Балташов, А.А. Семакова, О.А. Шмаков</i> ПОСТРОЕНИЕ 2,5D КАРТЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОХОДИМОСТИ МЕСТНОСТИ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ	129
<i>A.V. Bakhshiev, S.R. Orlova, A. Komarov, D.N. Stepanov</i> CLASSIFICATION OF SCENARIOS AND ALGORITHMS IN TECHNICAL VISION SYSTEMS OF UNMANNED GROUND VEHICLES	131

<i>А.В. Бахшиев, С.Р. Орлова, А. Комаров, Д.Н. Степанов</i>	
КЛАССИФИКАЦИЯ СЦЕНАРИЕВ И АЛГОРИТМОВ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	132
<i>V.V. Varlashin, M.A. Ershova, V.A. Bunyakov, O.A. Shmakov</i>	
CIRCULAR REVIEW SYSTEM WITH AUGMENTED REALITY FOR MOBILE ROBOTS CONTROL	134
<i>B.B. Варлашин, М.А. Ершова, В.А. Буняков, О.А. Шмаков</i>	
СИСТЕМА КРУГОВОГО ОБЗОРА С ТЕХНОЛОГИЕЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ	134
<i>V.G. Gradetsky, I.L. Ermolov, M.M. Knyazkov, E.A. Semenov, A.N. Sukhanov</i>	
GROUP INTERACTION OF UGVs EQUIPED WITH HIGHLY PROPULSIVE WHEELS	136
<i>В.Г. Градецкий, И.Л. Ермолов, М.М. Князьков, Е.А. Семёнов, А.Н. Суханов</i>	
ОСОБЕННОСТИ ГРУППОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РОБОТОВ, ОСНАЩЕННЫХ ДВИЖИТЕЛЯМИ ВЫСОКОЙ ПРОХОДИМОСТИ, ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЕДИНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ	136
<i>A.V. Grivachev, V.O. Avdeev, V.V. Varganov, E.A. Titenko</i>	
THE MODIFIED METHOD OF HIERARCHICAL ANALYSIS OF FOR THE SELECTION OF MOBILE ROBOTTECHNICAL COMPLEXES	138
<i>А.В. Гривачев, В.О. Авдеев, В.В. Варганов, Е.А. Титенко</i>	
МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАЗЕМНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ	138
<i>K.I. Kiy</i>	
IMAGE UNDERSTANDING SYSTEMS BASED ON THE GEOMETRIZED HISTOGRAMS METHOD	140
<i>К.И. Кий</i>	
СИСТЕМЫ ПОНИМАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ОСНОВАННЫЕ НА МЕТОДЕ ГЕОМЕТРИЗОВАННЫХ ГИСТОГРАММ	141
<i>E.B. Mustafina</i>	
PROSPECTS FOR APPLICATION OF GENERATIVE ADVERSARIAL NETWORKS IN ROBOTICS	143
<i>Э.Б. Мустафина</i>	
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕРАТИВНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В РОБОТОТЕХНИКЕ	144
<i>I.S. Ozhmegov, R.R. Khazanskii</i>	
COMPRESSION OF STREAMING VIDEO FROM A GROUND ROBOT'S CAMERA FOR COMMUNICATION CHANNELS WITH LOW BANDWIDTH	145
<i>И.С. Ожмегов, Р.Р. Хазанский</i>	
СЖАТИЕ ПОТОКОВОГО ВИДЕО С КАМЕРЫ НАЗЕМНОГО РОБОТА ДЛЯ КАНАЛОВ СВЯЗИ С НИЗКОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ	145
<i>S.R. Orlova, A.V. Bakhshiev</i>	
ROAD SIGN RECOGNITION USING DEEP NEURAL NETWORKS	146

<i>С.Р. Орлова, А.В. Бахшиев</i> РАСПОЗНАВАНИЕ ДОРОЖНЫХ ЗНАКОВ НА БАЗЕ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	146
<i>A.A. Piskarev, B.B. Mikhailov</i> 3D-CAMERA AIDED OPERATING SPACE ANALYSIS	147
<i>А.А. Пискарёв, Б.Б. Михайлов</i> ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ РАБОЧЕЙ СЦЕНЫ РОБОТА С ПОМОЩЬЮ 3D-КАМЕРЫ	147
<i>A.V. Rozhnov, V.K. Goydenko</i> DECENTRALIZED CONTROL OF HETEROGENEOUS AUTONOMOUS ROBOTS IN GROUPS	149
<i>А.В. Рожнов, В.К. Гойденко</i> О МЕТОДАХ КООРДИНАЦИИ ДЛЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫМИ ГРУППАМИ АВТОНОМНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ	149
<i>S.M. Sokolov, A.A. Boguslavsky, N.D. Beklemishev</i> SYSTEM OF INFORMATION SUPPORT OF MOBILE MEANS PURPOSEFUL MOVEMENTS ON THE BASIS OF THE INTERPRETING NAVIGATION	151
<i>С.М. Соколов, А.А. Богуславский, Н.Д. Беклемишев</i> СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ИНТЕРПРЕТИРУЮЩЕЙ НАВИГАЦИИ	151
<i>M.D. Tuv, R.R. Khazanskii</i> THE DEVELOPMENT OF THE COMMUNICATION PROTOCOL LIBRARY FOR MECHATRONIC DEVICES	153
<i>М.Д. Тув, Р.Р. Хазанский</i> РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕКИ КОММУНИКАЦИОННОГО ПРОТОКОЛА ДЛЯ МЕХАТРОННЫХ УСТРОЙСТВ	153
<i>I.S. Fomin, A.V. Bakhshiev, V.V. Tseluiko</i> OBJECT CLASSIFICATION IN VIDEO SURVEILLANCE SYSTEM USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK	154
<i>И.С. Фомин, А.В. Бахшиев, В.В. Целуйко</i> КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМЕ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ	155
<i>A.G. Kurochkin, P.V. Lotorev, V.V. Varganov, E.A. Titenko</i> THE SCHEME OF THE DATA INTEGRATION FOR THE CONTROL SYSTEM OF THE MOBILE ROBOT	157
<i>А.Г. Курочкин, П.В. Лоторев, В.В. Варганов, Е.А. Титенко</i> СХЕМА КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ	157
<i>E.V. Umnikov</i> THE TECHNICAL ORGANISATION OF INTERACTION OF MODELS OF CONTROL SYSTEMS WITH ELEMENTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN A SIMULATION OF THE INTERACTION OF ROBOTS WITH THE USE OF THE VIRTUAL TRAINING SPACE	159

<i>Е.В. Умников</i> ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, С ЭЛЕМЕНТАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА, ПРИ ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РОБОТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО ПОЛИГОНА	161
<i>А. Митревский, С. Тодука, А. Ортега Саинс, М. Шебель, П. Нагель, П.Г. Плегер, Э. Прэслер</i> ПРАКТИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РОБОТА: УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ	163
<i>A. Mitrevski, S. Thoduka, A. Ortega Sáinz, M. Schöbel, P. Nagel, P.G. Plöger, E. Prassler</i> PRACTICAL ROBOT DEPLOYMENT: TOWARDS AN INCREASED DEPENDABILITY OF ROBOTIC SYSTEMS	163
МОДЕЛИРОВАНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ / MODELING OF ROBOTIC COMPLEXES	164
<i>I.L. Ermolov, B.S. Lapin, S.A. Sobolnikov</i> SOFTWARE FOR DEVELOPMENT, MODELING AND OPERATION OF MULTI-ROBOT CONTROL SYSTEMS	164
<i>И.Л. Ермолов, Б.С. Лапин, С.А. Соболевников</i> ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАЗРАБОТКИ, МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ	164
<i>V.V. Arykantsev, A.A. Goncharov, V.V. Chernyshev</i> MODELING OF CONTACT INTERACTION OF SUPPORT ELEMENTS (STOP) WALKING MOVER WITH THE GROUND UNDER CONDITIONS OF COMPLEX LOADING	166
<i>В.В. Арыканцев, А.А. Гончаров, В.В. Чернышев</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОПОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (СТОП) ШАГАЮЩЕГО ДВИЖИТЕЛЯ С ГРУНТОМ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО НАГРУЖЕНИЯ	166
<i>V.M. Bitny-Shlyakhto, I.A. Vasilyev</i> DEVELOPMENT OF THE PRINCIPLES OF INVESTIGATION AND CARTOGRAPHY OF THE WORKING ZONE OF ROBOTS	167
<i>В.М. Битный-Шлякто, И.А. Васильев</i> РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ РОБОТОВ	168
<i>O.P. Goidin, I.L. Ermolov, S.A. Sobolnikov</i> ROBSIM SOFTWARE FOR MOBILE ROBOTS MODELING	169
<i>О.П. Гойдин, И.Л. Ермолов, С.А. Соболевников</i> ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ROBSIM ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ	169
<i>I.L. Ermolov</i> ERGONOMICS ISSUES OF ROBOTS' WORKSPACE	171

<i>И.Л. Ермолов</i> ВОПРОСЫ ЭРГОНОМИКИ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА РТК	171
<i>I.L. Ermolov, S.P. Khripunov</i> GROUP INTERACTION OF UGVs EQUIPPED WITH HIGHLY PROPULSIVE WHEELS	172
<i>И.Л. Ермолов, С.П. Хрипунов</i> ПРОБЛЕМЫ ГРУППОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ	172
<i>О.М. Карустина</i> MANIPULABILITY AND MOTION PLANNING OF KUKA YOUVOT ROBOT	175
<i>О.М. Карустина</i> МАНИПУЛЯТИВНОСТЬ И ПЛАНИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЙ РОБОТА KUKA YOUVOT	175
<i>О.Н. Krakhmalev</i> OBJECT-ORIENTED MODELING OF MANIPULATION ROBOTS	176
<i>О.Н. Крахмалев</i> ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ РОБОТОВ	176
<i>A.N. Mozhaev</i> SEGMENTATION OF POINT CLOUDS BY MEANS OF POINT CLOUD LIBRARY	177
<i>А.Н. Можяев</i> СЕГМЕНТАЦИЯ ОБЛАКОВ ТОЧЕК С ПОМОЩЬЮ СРЕДСТВ БИБЛИОТЕКИ POINT CLOUD LIBRARY	178
<i>V.V. Chernyshev, V.V. Arykantsev</i> INVESTIGATION OF DYNAMICS OF WALKING ROBOTS MOVING ALONG THE BOTTOM	179
<i>В.В. Чернышев, В.В. Арыканцев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ШАГАЮЩИХ РОБОТОВ ПЕРЕДВИГАЮЩИХСЯ ПО ДНУ	179
<i>L.Yu. Vorochaeva, A.V. Malchikov, A.A. Postol'niy</i> APPROACHES TO DESIGNING WHEELED JUMPING ROBOT	180
<i>Л.Ю. Ворочаева, А.В. Мальчиков, А.А. Постольный</i> ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ КОЛЕСНОГО ПРЫГАЮЩЕГО РОБОТА	180
<i>P.K. Shubin, E.A. Voronov, K.G. Matarenka</i> APPROACH TO THE REALIZATION METHODOLOGY OF RELIABILITY CALCULATION OF ROBOTIC SYSTEMS AND THEIR COMPONENTS	181
<i>П.К. Шубин, Е.А. Воронов, К.Г. Моторенко</i> ПОДХОД К МЕТОДИКЕ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И ИХ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ	181
<i>A.S. Gabriel, V.N. Ulanov, S.G. Chuprov</i> OPTIMIZATION OF THE DESIGN CALCULATION OF FRICTION PLANETARY GEARS WITH FORCE CLOSURE BY ELASTIC RINGS	182
<i>А.С. Габриель, В.Н. Уланов, С.Г. Чупров</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТНОГО РАСЧЁТА ФРИКЦИОННЫХ ПЛАНЕТАРНЫХ ПЕРЕДАЧ С СИЛОВОМ ЗАМЫКАНИЕМ УПРУГИМИ КОЛЬЦАМИ	182
<i>A.V. Vazaev, V.P. Noskov, I.V. Rubtsov</i> COMBINED MODEL IN TOOL EQUIPPED MOBILE ROBOT CONTROL SYSTEM	184

<i>А.В. Вазаев, В.П. Носков, И.В. Рубцов</i> КОМПЛЕКСИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА С НАВЕСНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ	184
<i>A.A. Vlasenko, A.L. Korotkov</i> THE MANIPULATOR DESIGN PRINCIPLES BASED ON MULTI-TURN JOINTS FOR A SMALL ROBOTIC PLATFORM WITH QUICK EQUIPMENT REPLACEMENT	186
<i>А.А. Власенко, А.Л. Коротков</i> ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ ПОЛНООБОРОТНЫХ ШАРНИРОВ ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ, С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОПЕРАТИВНОЙ ЗАМЕНЫ НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	186
<i>A.S. Gubankov, D.A. Yukhimets</i> IDENTIFICATION METHOD OF KINEMATIC PARAMETERS OF MULTILINK INDUSTRIAL MANIPULATOR	187
<i>А.С. Губанков, Д.А. Юхимец</i> МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОЗВЕННОГО ПРОМЫШЛЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА	187
<i>V.E. Pavlovsky, D.A. Gribkov, I.A. Orlov, A.V. Podoprosvetov, E.Yu. Kolesnichenko</i> MOBILE MANIPULATOR ON SIX-WHEEL MECANUM PLATFORM	188
<i>В.Е. Павловский, Д.А. Грибков, И.А. Орлов, А.В. Подопросветов, Е.Ю. Колесниченко</i> МОБИЛЬНЫЙ МАНИПУЛЯТОР НА ШЕСТИКОЛЕСНОЙ МЕКАНУМ-ПЛАТФОРМЕ	188
<i>E.S. Briskin, K.Yu. Lepetukhin, A.V. Maloletov, V.A. Serov, A.P. Kirillov</i> ON THE MOTION CONTROL OF A ROBOTIC MULTI-SECTION CENTER-PIVOT IRRIGATION MACHINE FOR PROCESSING NON- CIRCULAR FIELDS	190
<i>Е.С. Брискин, К.Ю. Лепетухин, А.В. Малолетов, В.А. Серов, А.П. Кириллов</i> ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТИЗИРОВАННОЙ МНОГОЗВЕННОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ ПОЛЕЙ НЕКРУГЛОЙ ФОРМЫ	190
<i>A.N. Goloshcharov</i> MANUFACTURING LOCALISATION – AS A WAY OF TECHNOLOGIES TRANSFER	192
<i>А.Н. Голощапов</i> ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА – КАК ИНСТРУМЕНТ ТРАНСФЕРА ТЕХНОЛОГИЙ	192
<i>M.A. Nogin, A.L. Korotkov, A.V. Rogov, O.A. Shmakov, A.V. Lopota</i> RTC PROVING GROUND FOR MOBILE ROBOTIC COMPLEXES	194
<i>М.А. Ногин, А.Л. Коротков, А.В. Рогов, О.А. Шмаков, А.В. Лопота</i> ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН ЦНИИ РТК ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ	194

<i>D.D. Lipovskiy, Yu.A. Denisenya, A.V. Vasilev</i> SPECIAL REQUIREMENTS TO ROBOTIC COMPLEXES OF MILITARY UNITS OF RADIOLOGICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL DEFENSE	194
<i>Д.Д. Липовский, Ю.А. Денисеня, А.В. Васильев</i> СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСАМ ВОЙСК РАДИАЦИОННОЙ, ХИМИЧЕСКОЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ	195
<i>A.V. Lekareva, A.A. Kobzev, A.A. Mahfouz</i> FEATURES OF CONSTRUCTING A MOBILE ROBOTIC COMPLEX OF WATERJET CUTTING OF OIL PIPELINES	195
<i>А.В. Лекарева, А.А. Кобзев, А.А. Махфуз</i> ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ РТК ГИДРОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКИ ТРУБ НЕФТЕПРОВОДОВ	195
<i>A.S. Gorobtsov, A.E. Andreev, O.O. Mugin, D.Y. Petrov</i> THE GATE GENERATOR FOR CONTROL SYSTEM OF THE BIPED AND MULTI-LEGGED ROBOTS	198
<i>А.С. Горобцов, А.Е. Андреев, О.О. Мугин, Д.Ю. Петров</i> ГЕНЕРАТОР ПОХОДОК ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛОКОМОЦИЕЙ ДВУНОГИХ И МНОГОНОГИХ РОБОТОВ	198
ТЕХНОЛОГИИ МОРСКОЙ РОБОТОТЕХНИКИ / MARINE ROBOTICS TECHNOLOGIES	199
<i>V.K. Abrosimov, A.N. Mochalkin, E.I. Tatarenko</i> MARINE ROBOTIZED COMPLEX FOR SOLVING PROBLEMS IN SITUATIONAL AWARENESS	199
<i>В.К. Абросимов, А.Н. Мочалкин, Е.И. Татаренко</i> МОРСКОЙ РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СИТУАЦИОННОЙ ОСВЕДОМЛЕННОСТИ В АКВАТОРИЯХ	199
<i>V.F. Filaretov, D.A. Yukhimets, E.Sh. Mursalimov</i> MISSION PLANNER FOR A GROUP OF AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES	201
<i>В.Ф. Филаретов, Д.А. Юхимец, Э.Ш. Мурсалимов</i> ПЛАНИРОВОЩИК МИССИЙ ДЛЯ ГРУППЫ АВТОНОМНЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ	201
<i>V.V. Arykantsev, A.A. Aryskin, O.O. Belyaev, A.Ya. Ksenzenko, E.A. Prysev, V.E. Pryanichnikov, V.V. Chernyshev, S.R. Eprikov</i> SUPERVISORY CONTROL OF THE UNDERWATER LEGGED VEHICLE	203
<i>В.В. Арыканцев, А.А. Арыскин, О.О. Беляев, А.Я. Ксензенко, Е.А. Прысев, В.Е. Пряничников, В.В. Чернышев, С.Р. Эприков</i> СУПЕРВИЗОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОДВОДНЫМ ШАГАЮЩИМ АППАРАТОМ	203
<i>D.A. Gromoshinskii, A.V. Popov</i> DETECTING METAL-CONTAINING OBJECTS WITH FERROMAGNETIC SENSORS MOUNTED ON UNMANNED UNDERWATER VEHICLE	204

<i>Д.А. Громошинский, А.В. Попов</i> ОБНАРУЖЕНИЕ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ЗОНДОВ, УСТАНОВЛЕННЫХ НА НЕОБИТАЕМОМ ПОДВОДНОМ АППАРАТЕ	204
<i>N.A. Shchur, D.A. Vokhmintcev</i> AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES HYDRODYNAMIC INSTABILITY	205
<i>Н.А. Щур, Д.А. Вохминцев</i> ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ АВТОНОМНОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА	206
<i>V.A. Shurygin, V.A. Serov, I.V. Kovshov, S.A. Ustinov</i> THE DEVELOPMENT AND ENSURING THE EXPLOITATIONS OF THE ARCTIC OFFSHORE HYDROCARBONS FIELDS BY USING THE ROBOTIZED LEGGED PLATFORMS	206
<i>В.А. Шурыгин, В.А. Серов, И.В. Ковшов, С.А. Устинов</i> ОБУСТРОЙСТВО И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДВОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ШАГАЮЩИХ ПЛАТФОРМ	207
<i>S.I. Savin, D.Yu. Medvedev</i> DETERMINATION OF THE AVAILABILITY OF PIPELINE BRANCHES USING DEEP CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS	208
<i>С.И. Савин, Д.Ю. Медведев</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ ОТВЕТВЛЕНИЙ ТРУБОПРОВОДА С ПОМОЩЬЮ ГЛУБОКИХ СВЁРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	208
<i>V.M. Rulevskiy, V.G. Bukreev, E.B. Shandarova, V.A. Chekh</i> OPTIMIZATION OF VOLTAGE REGULATOR PARAMETERS FOR UNDERWATER VEHICLE POWER SUPPLY SYSTEM	210
<i>В.М. Рулевский, В.Г. Букреев, Е.Б. Шандарова, В.А. Чех</i> ОПТИМИЗАЦИЯ РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ АППАРАТОВ	211
МЕДИЦИНСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА / ROBOTICS IN MEDICINE	212
<i>N.A. Gryaznov, S.A. Nikitin, V.V. Kharlamov, A.A. Obukhov</i> EXPERIENCE IN THE DEVELOPMENT OF THE ROBOTIC SYSTEM FOR BRACHYTHERAPY OF PROSTATE CANCER	212
<i>Н.А. Грязнов, С.А. Никитин, В.В. Харламов, А.А. Обухов</i> ОПЫТ РАЗРАБОТКИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ БРАХИТЕРАПИИ РАКА ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ	212
<i>N.A. Gryaznov, V.V. Kharlamov, S.A. Nikitin</i> PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ROBOTIC SYSTEMS OF A NEW GENERATION. “SURGERY 4.0”	214
<i>Н.А. Грязнов, В.В. Харламов, С.А. Никитин</i> ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ. «ХИРУРГИЯ 4.0»	214

<i>D.A. Yakovets, M.V. Sokhranov</i> DEVELOPMENT OF AN EXPERT SYSTEM OF THE MULTIFUNCTIONAL ROBOTIC MEDICAL PLATFORM FOR THE EVACUATION OF WOUNDED AND INJURED PERSONS	216
<i>Д.А. Яковец, М.В. Сохранов</i> РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ЭВАКУАЦИИ РАНЕНЫХ И ПОРАЖЕННЫХ	216
<i>V.F. Golovin, M.V. Arhipov, L.B. Kocherevskaya</i> ROBOTICS FOR INCREASING MILITARY CAPACITY	217
<i>В.Ф. Головин, М.В. Архипов, Л.Б. Кочереvская</i> РОБОТОТЕХНИКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БОЕСПОСОБНОСТИ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ	217
<i>A.V. Lopota, V.V. Kharlamov, S.A. Nikitin, A.Yu. Karseeva</i> OPERATING NEW GENERATION FOR TREATMENT OF ONCOLOGICAL DISEASES BY PROTON THERAPY ON THE BASIS OF ROBOTIZED TECHNOLOGIES OF PRECISIONAL POSITIONING OF THE PATIENT	219
<i>А.В. Лопота, В.В. Харламов, С.А. Никитин, А.Ю. Карсеева</i> ОПЕРАЦИОННАЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ МЕТОДОМ ПРОТОННОЙ ТЕРАПИИ НА ОСНОВЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРЕЦИЗИОННОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПАЦИЕНТА	219
<i>O.O. Mugin, D.I. Tsyganov</i> MODERN STATE OF RESEARCH IN THE FIELD OF ROBOTIZED MEDICAL SYSTEMS	220
<i>О.О. Мугин, Д.И. Цыганов</i> СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ МЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМ	220
<i>Алиреза Мирбагери, Саид Саркэр, Фарзам Фарахманд</i> ПРИМЕНЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕХИРУРГИИ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ	221
<i>Alireza Mirbagheri, Saeed Sarkar, Farzam Farahmand</i> INTRODUCING A PRACTICAL ROBOTIC TELESURGERY SYSTEM WITH FORCE FEEDBACK	221

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ /
PLENARY SESSION

S.G. Tsarichenko, S.E. Simanov, I.M. Sidorov
**PARAMETRICALLY-APPROXIMATE METHOD FOR SOLVING
THE INVERSE KINEMATIC PROBLEM FOR MANIPULATORS**

NII GEODEZIJA, Krasnoarmeisk, Moscow region
tsarichenko_s@mail.ru

Unmanned Ground Vehicle (UGV), meant for use in nondetermined entourage are mobile technological systems, largely matching the designs with similar manned machines. A distinctive feature UGV of crewed vehicles is the presence of remote control systems, supervisor or autonomous state control that determines the degree of responsibility and reliability required for accuracy and adequacy of formation and execution control commands. The existence of such control system, unlike the crewed vehicles, largely determines the peculiarity of the organization and carrying out of tests of various functional purposes UGV.

The important role for organizing trials UGV is testing of basic performance parameters such as speed, ability to overcome obstacles, load capacity, the range of the remote control, health and performance evaluation payload nodes, etc. At the same time, the existing methods of testing virtually does not take into account the peculiarities of functioning of UGV, such as health monitoring systems, accuracy, adequacy, or the performance of their function at environmental, the accuracy of decision-making in nondetermined entourage.

The main features of the UGV staffed counterparts is their control system the following functional subsystems: vision, orientation, communication and decision-making. In this regard, the aim is to formulate and develop a methodical approach to integrated functional testing UGV in nondetermined entourage for assessing the efficiency of the control system as a whole when you apply multiple disturbances that can initiate sinnergizm of failure.

In addition, current methods of measurement and monitoring system used in tests of crewed vehicles do not provide the required level of safety the tests of UGV. The nuli of complete and reliable information of the state of maintenance the UGV in seted test conditions does not allow for validation of numerical simulation of its operation.

С.Г. Цариченко, С.Е. Симанов, И.М. Сидоров
**НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ИСПЫТАНИЙ НАЗЕМНЫХ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С УЧЕТОМ
СПЕЦИФИКИ ПРИМЕНЕНИЯ В НЕДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ
УСЛОВИЯХ**

*ФКП «НИИ «Геодезия», г. Красноармейск, Московская область
tsarichenko_s@mail.ru*

Наземные робототехнические комплексы (НРТК), предназначенные для использования в недетерминированных условиях представляют мобильные технологические системы, во многом совпадающие по своей конструкции с аналогичными экипажными машинами. Отличительной особенностью НРТК является наличие систем дистанционного, супервизорного или автономного управления, что определяет степень ответственности и надежности, предъявляемой к точности и адекватности формирования и выполнения команд управления. Наличие такой управляющей надстройки, в отличие от экипажных машин, во многом определяет особенность организации и проведения испытаний НРТК различного функционального назначения.

При организации проведения испытаний НРТК важное место отводится оценке работоспособности основных тактико-технических параметров, таких как скорость, возможность преодоления препятствий, грузоподъемность, дальность дистанционного управления, оценка работоспособности и производительности узлов полезной нагрузки и т.п. При этом, в существующих методиках испытаний практически не учитываются особенности функционирования НРТК, такие как контроль работоспособности систем, точность, адекватность и быстродействие их функционирования при оценке состояния окружающей среды, правильность принятия решений в условиях недетерминированной среды.

Основными отличительными особенностями НРТК от экипажных аналогов является наличие в их системе управления следующих функциональных подсистем: технического зрения, ориентации, связи и блока принятия решения. В связи с этим ставится задача сформулировать и разработать методический подход к проведению комплексных функциональных испытаний НРТК в условиях недетерминированной среды, с целью оценки работоспособности системы управления в целом при наложении многофакторных помех, что может инициировать синергизм отказов.

Кроме того, существующие в настоящее время методики, системы измерений и контроля, используемые при проведении испытаний

экипажных машин, не обеспечивают необходимого уровня безопасности. Отсутствие полной и достоверной информации о состоянии и режимах работы НРТК в задаваемых тестовых условиях не позволяет осуществлять валидацию численного моделирования его функционирования.

A.A. Romanov
**SIXTH TECHNOLOGICAL WAY IN SPACE DEVICE
ENGINEERING**

Russian Space Systems, Moscow
romanov@spacecorp.ru

A.A. Романов
**ШЕСТОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УКЛАД В КОСМИЧЕСКОМ
ПРИБОРОСТРОЕНИИ**

АО «Российские космические системы», Москва
romanov@spacecorp.ru

В докладе анализируется текущее состояние и прогноз разработки технологий космического приборостроения предстоящего шестого технологического уклада (ШТУ). Показано, что на протяжении последнего десятилетия ярко выявилась тенденция изменения архитектуры космических аппаратов и систем на их основе от модульно-функционального построения к созданию «систем на печатной плате», а в перспективе и «спутника на чипе» с широким использованием «систем на кристалле» и «систем в корпусе». Подобные архитектуры активно применяются в так называемых распределенных и федеративных космических системах.

Представлен обзор достигнутых уровней технологической готовности производимых серийно составных частей малоразмерных космических аппаратов: конструктивных элементов, систем ориентации и стабилизации, терморегулирования, систем электропитания, бортовых компьютеров, памяти, а также основные проблемные вопросы разработки перспективных изделий, имеющих низкие уровни технологической готовности.

Отдельно рассмотрены достижения по микроминиатюризации полезных нагрузок, показано, что для космических систем навигации, связи и дистанционного зондирования Земли использование архитектур распределенных систем позволяет существенно сократить сроки разработки и развертывания систем, а также уменьшить их стоимость при сохранении требуемого уровня качества.

Полученные результаты могут быть положены в основу разрабатываемой стратегии развития перспективных космических систем и комплексов.

V.V. Uyba

**MAIN DIRECTIONS OF WORKS ON CREATION OF MEDICAL
ROBOTIC SYSTEMS OF NEW GENERATION**

*Federal Medical Biological Agency of Russia, Moscow
uiba@fmbaros.ru*

В.В. Уйба

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ
МЕДИЦИНСКИХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НОВОГО
ПОКОЛЕНИЯ**

*ФМБА России
uiba@fmbaros.ru*

Сохранение здоровья, качества жизни и продление профессионального долголетия лиц, работающих в условиях воздействия особо опасных факторов - это не только гуманитарная, социальная, экономическая миссия, а также фактор национальной безопасности, но и одна из важнейших задач Федерального медико-биологического агентства, осуществляющего медико-санитарное обеспечение указанных работников.

В ходе выполнения этой задачи ФМБА России уделяет значительное внимание разработке и внедрению в повседневную практику инновационных медицинских технологий и относит новейшие тренды современной медицины в ряд приоритетных научных и практических задач.

Учитывая тот факт, что обслуживаемый Агентством контингент подвергается воздействию особо опасных факторов физической и химической природы, в ФМБА России в рамках медико-биологического сопровождения НИОКР по разработке роботизированных комплексов, направленных на усиление физиологических возможностей организма человека, накоплен большой опыт создания и оценки эффективности средств индивидуальной защиты, разработана технология профессионального и медицинского отбора спецконтингента для работ в условиях сверхнормативного воздействия опасных и особо опасных факторов труда, в том числе облучения, с учетом их индивидуальной радиорезистентности при воздействии ионизирующего излучения, а также в условиях повышенных физических и психоэмоциональных нагрузок.

I. В настоящее время ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России располагает средствами оценки физической работоспособности, функционального состояния, адаптационных и резервных возможностей лиц экстремальных профессий.

С их помощью могут быть выполнены:

1. Определение физической работоспособности по результатам максимальных нагрузочных тестов («до отказа») с использованием тренажеров, позволяющих имитировать различные виды физической активности.
2. Определение прямым методом (с помощью газоанализа) максимального потребления кислорода (МПК), порогов аэробного и анаэробного обмена (ПАО и ПАНО), максимальная частота сердечных сокращений, максимальная мощность и время нагрузки.
3. Оценка функционального состояния и отягощающего действия специального и защитного снаряжения в крайних климатических условиях (климатическая комната).
4. Контроль потоотделения, определение его порога и эффективности в комфортных и крайних климатических условиях, в том числе при использовании специального снаряжения.
5. Определение психофизиологического и психоэмоционального состояния у лиц экстремальных профессий. Оценка функционального состояния человека, выявления острого и хронического утомления, психоэмоционального перенапряжения и уровня стресса.
6. Определение неспецифических (интегральных) и специфических критериев адаптированности организма человека при воздействии любого фактора внешней среды: работоспособность и переносимость физических и психоэмоциональных нагрузок.

Все используемые методики являются уникальными, персонализированными и апробированы на прикрепленном контингенте.

II. Одним из основных направлений использования робототехники является космическая медицина. Её развитие обусловлено целями, задачами и особенностями перспективных космических миссий.

Неблагоприятными медицинскими факторами в данном случае будут:

- повышенный уровень радиации;
- гипогравитация;
- отсутствие магнитного поля;

- увеличение сроков медицинской эвакуации до 3-5 суток (при необходимости);
- увеличение времени задержки связи до 1-2 минут.

Работы по строительству и эксплуатации орбитальной станции потребуют участия в составе экипажей опытных космонавтов, уже (возможно) имеющих определенные проблемы в состоянии здоровья.

Это обстоятельство, а также воздействие дополнительных неблагоприятных факторов в условиях длительного полёта неизбежно приведут к повышению вероятности возникновения в ходе выполнения космических миссий патологических состояний и заболеваний, что повлечёт за собой необходимость размещения на этих бортах оборудования для проведения диагностических, лечебных и коррекционных (реабилитационных) медицинских мероприятий.

Использование робототехники, автоматизированных лечебно-диагностических комплексов может существенно расширить арсенал медицинским диагностических и лечебных процедур, проводимых непосредственно на борту космического корабля.

III. Важным инновационным вариантом современной роботизированной реабилитации пациентов с различными двигательными нарушениями является использование реабилитационных экзоскелетов с биологической обратной связью.

В лаборатории клинической биомеханики ФГБУ ФНКЦ ФМБА России совместно с корпорацией Алмаз-Антей и Поволжским Университетом разработана принципиально новая концепция экзоскелета, которая позволяет целенаправленно восстанавливать движения в коленном и тазобедренном суставах с использованием собственных ресурсов (остаточная сила мышц). Разрабатываемые алгоритмы работы позволят применять экзоскелет у больных после позвоночно-спинномозговых и черепно-мозговых травм, церебрального инсульта, травм нижних конечностей, повреждений периферических нервов, а также после оперативных вмешательств на опорно-двигательной системе.

IV. С начала 1980-х годов активно развивается роботизированная хирургия. Одним из первых автоматических аппаратов в хирургии был именно «Da Vinci». В настоящее время робот-ассистированная хирургическая система «Da Vinci» — аппарат для проведения хирургических операций - остается пока единственным монополистом на рынке медицинской робототехники.

Начиная с 2000 г. и до настоящего момента создано несколько поколений роботизированных хирургических систем «Da Vinci»:

- daVinciSi – мобильная модель;
- daVinciXi – модель для фиксированной установки;
- daVinciX – может ставиться на тележку и быть мобильным;

- с включением голосом;
- с применением лазерных систем наведения и 3D оптической системы.

Хотя такую систему и называют роботом, она не может проводить операции самостоятельно. Любые манипуляции «Da Vinci» осуществляются под контролем квалифицированного врача, имеющего опыт управления подобными системами.

В Москве 6 апреля 2017 прошла презентация первого отечественного роботизированного комплекса, предназначенного для проведения хирургических вмешательств.

Работа по созданию первого российского робота-хирурга велась 3,5 года. В его создании принимали участие коллективы ученых из 22 научно-исследовательских институтов, в том числе специалисты ФМБА России.

Свою поддержку проекту оказали Федеральное агентство научных организаций, Министерство здравоохранения РФ, Фонд «Сколково» и другие.

Созданный в результате совместных усилий робот-хирург оказался в 5 раз легче американского «Da Vinci», который весит больше тонны. К тому же новый прибор получился более компактный – все агрегаты можно поместить в один чемодан, и с таким багажом отправиться оперировать в любой уголок страны. Кроме того новый робот гораздо дешевле своего предшественника, цена которого доходила до 3,5-4 млн. долларов.

Но самое главное - российский ассистент хирурга в 10 раз точнее «американца», благодаря чему с ним гораздо удобнее работать, оперируя, например детей. Это уже не аналоговая, а цифровая система с точностью до 5 микрон, подстраивающаяся под конкретные руки конкретного доктора.

V. Ещё одно направление применения роботизированных комплексов – экстракорпоральная мембранная оксигенация (ЭКМО) – используется у пациентов с остро развившейся и потенциально обратимой кардио-респираторной недостаточностью, которые не отвечают на стандартную терапию.

ЭКМО не является ЛЕЧЕБНОЙ мерой, а является органозаместительной методикой, позволяющей пережить состояние шока и время на восстановление органа, или позволяет пациенту дожидаться трансплантации.

В связи с бурным развитием и острой востребованностью роботизированных комплексов в клинической практике в ФМБА России разработаны предложения по:

- I. Проведению медико-биологических испытаний с оценкой функциональных резервов и работоспособности биообъекта, использующего экзоскелет и другие робототехнические устройств.
- II. Проведению научно-прикладных исследований и экспериментов, направленных на медико-санитарное обеспечение длительных космических полетов.
- III. Оказанию медицинской помощи пациентам с нарушениями опорно-двигательного аппарата.
- IV. Реабилитации нарушений опорно-двигательного аппарата.

S.A. Polovko, A.V. Popov

APPLICATION PROSPECTS OF THE HYBRID GROUPS OF THE SPECIAL PURPOSE MOBILE ROBOTS

Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,

Saint-Petersburg

polovko@rtc.ru, apopov@rtc.ru

The development of control methods and communication technologies led to the transition from the use of individual robotic systems to the use of robot groups. Known common advantages of group application of robots in combat operations are:

- reducing the time of operation in general;
- saving the resources of a single robot due to optimum resource planning group;
- general reliability due to the duplication of functions in the group;
- the possibility of organizing a relay with unstable connection with the control center.

For a number of tasks solved by engineering and special units in hazardous, remote or inaccessible areas, the group application of robots provides additional advantages, namely:

- minimization of dose loads on the robot at work in the fields of radiation;
- creation of realistic 3D models of the situation in hazardous areas by means of multi-angle vision;
- formation of a mobile network of hydroacoustic or radio beacons to improve the reliability of Autonomous navigation.

At the same time, combining robots into homogeneous groups by types of basing poses a number of problems associated with the limitations inherent to each type of robots. Combining robots of different types of basing allows the most efficient use of the advantages of each type and compensate for shortcomings. A new level of functionality and a sharp expansion of the operating area is achieved through the use of hybrid groups that combine land, air and sea facilities.

Key words: robots, safety and security, multifunctionality, hybrid groups of robots.

С.А. Половко, А.В. Попов
**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНЫХ ГРУПП
МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

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

Развитие методов управления и технологий связи обусловило переход от использования отдельных робототехнических комплексов к применению групп роботов. Известными общими преимуществами группового применения роботов при выполнении боевых операций являются:

- уменьшение времени выполнения операции в целом;
- экономия ресурсов отдельного робота за счет оптимального планирования ресурсов группы;
- повышение общей надежности за счёт дублирования функций в группе;
- возможность организации ретрансляции при - неустойчивой связи с центром управления.

Для ряда задач, решаемых инженерными и специальными подразделениями в опасных, удаленных или труднодоступных зонах, групповое применение роботов дает дополнительные преимущества, а именно:

- минимизация дозной нагрузки на робот при работе в полях излучения;
- создание реалистичных 3D моделей обстановки в опасных зонах средствами многоакурсного зрения;
- формирование мобильной сети гидроакустических или радиомаяков для повышения надежности автономной навигации.

Вместе с тем, объединение роботов в однородные группы по видам базирования ставит ряд проблем, связанных с ограничениями, присущими каждому виду роботов. Объединение роботов различных видов базирования позволяет наиболее эффективно использовать преимущества каждого вида и компенсировать недостатки. Новый уровень функциональности и резкое расширение операционной зоны достигается путем применения гибридных групп, объединяющих наземные, воздушные и морские средства.

Ключевые слова: специальные роботы, охрана и безопасность, многофункциональность, гибридные группы роботов.

КОСМИЧЕСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА /
SPACE ROBOTICS

*M.V. Mikhaylyuk¹, E.V. Strashnov¹, A.A. Prilipko¹,
B.I. Kryuchkov², V.M. Usov²*

**THE ON-BOARD SIMULATION AND TRAINING SYSTEM FOR
PERFORMING MANIPULATOR'S ACTIONS IN THE
SUPERVISORY CONTROL MODE AND BUILDING THE VISUAL
FEEDBACK FOR COSMONAUTS**

*¹ Federal State Scientific Research Institute of System Analysis of the
Russian Academy of Science, Moscow, Russian Federation,
mix@niisi.ras.ru*

*² Federal State Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center, Star
city, Moscow region, Russia, b.kryuchkov@gctc.ru, v.usov@gctc.ru*

*М.В. Михайлюк¹, Е.В. Страшинов¹, А.А. Прилипка¹,
Б.И. Крючков², В.М. Усов²*

**БОРТОВОЙ ИМИТАЦИОННО-ТРЕНАЖЕРНЫЙ КОМПЛЕКС
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ МАНИПУЛЯТОРОМ В
СУПЕРВИЗОРНОМ РЕЖИМЕ И ПОСТРОЕНИЯ ВИЗУАЛЬНОЙ
ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ДЛЯ КОСМОНАВТА**

¹ ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия, mix@niisi.ras.ru

*² ФГБУ НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина, Звездный городок,
Моск. обл., Россия, b.kryuchkov@gctc.ru; v.usov@gctc.ru*

Рассматривается задача полуавтоматического управления манипуляторами виртуальных роботов в имитационно-тренажерных комплексах (ИТК), позволяющих поддерживать навыки управления манипуляторами на бортовых тренажерах орбитальных станций. Для решения данной задачи задействована технология создания виртуальных пультов управления, с помощью которых в полуавтоматическом режиме осуществляется управление положением рабочего органа манипулятора. Задаваемое с помощью пульта смещение рабочего органа передается функциональной схеме, в которой выполняется расчет углов поворотов в шарнирах робота. Для этого применяется метод покоординатного спуска, предназначенный для решения задачи инверсной кинематики, и ПД-регулятор для обеспечения требуемых углов поворота. Кодирование действий осуществляется на основе сформированных скриптов, что позволяет составить формализованное описание найденного манипулятором способа действия и осуществить построение 3D интерактивного визуального образа для контроля на принципах обратной визуальной

связи. Предложенные методы были апробированы применительно к виртуальному антропоморфному роботу.

P.P. Belonozhko

**SYNTHESIS OF PROGRAM MOTIONS OF A ROBOTIC SPACE
MODULE TAKING INTO ACCOUNT THE INTRINSIC DYNAMICS
OF THE REDUCED SYSTEM**

Bauman Moscow State Technical University

П.П. Белоножко

**СИНТЕЗ ПРОГРАММНЫХ ДВИЖЕНИЙ
РОБОТИЗИРОВАННОГО КОСМИЧЕСКОГО МОДУЛЯ С
УЧЕТОМ СОБСТВЕННОЙ ДИНАМИКИ ПРИВЕДЕННОЙ
СИСТЕМЫ**

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Рассматривается класс монтажно-сервисных роботизированных космических модулей (МСРКМ), которые оснащены манипулятором (манипуляторами), способны самостоятельно перемещаться в космическом пространстве и приспособлены для контактного взаимодействия с монтируемыми (обслуживаемыми) объектами. Характерной особенностью таких модулей является наличие динамических режимов, в которых перемещение груза относительно основания при помощи манипулятора сочетается с перемещением основания. При этом возможны собственные инерционные движения по внутренним степеням свободы МСРКМ, возникающие при отсутствии как внешних по отношению к МСРКМ сил и моментов, так и управляющих воздействий в шарнирах манипулятора. Исследование этих движений представляет интерес с точки зрения реализации важного принципа организации движения роботов – обеспечения соответствия свободных и вынужденных движений манипулятора. При этом эффективным оказывается введение в рассмотрение некоторой приведенной системы, уравнения динамики которой при определенных условиях могут быть получены в форме уравнений Рауса. В докладе рассмотрены вопросы синтеза программных движений для поставленной в соответствие МСРКМ конкретного вида нелинейной колебательной приведенной системы.

A.V. Vasiliev, I.Yu. Dalayev
**RTC DEVELOPMENTS IN THE FIELD OF ROBOTICS FOR
FUTURE ON-ORBIT AND PLANETARY MISSIONS**

*Russian State Scientific Center for Robotics and
Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
andrey@rtc.ru*

The current 2018 is significant for two important dates in the history of practical space exploration: 45 years have passed since the successful implementation of the lunar mission involving the «Lunokhod-2» automatic self-propelled vehicle from January to May 1973, and on November 15 it will be 30 years since day of triumphal flight in the fully automatic mode of the Russian space shuttle «Buran». These two events are, of course, significant in the history of Russian and world astronautics.

As a result of our country's mission using the second "Lunokhod", which continued the research begun by «Lunokhod-1», invaluable scientific information about the Moon was obtained, as well as experience in creating and managing autonomous remote-controlled planetary vehicles – planet-rovers, which remain relevant to this day.

The creation of the reusable space shuttle «Buran» and space transport system «Energia» became a real breakthrough for our country, showing the scientific and technical superiority of domestic space developments, which in many respects outstripped their time.

The history of the RTC institute began fifty years ago with the creation of a soft landing system for landing vehicles of manned spacecrafts, known as the «Kaktus» [1-5]. Successful implementation of the soft landing system for spacecraft descending to Earth and the experience gained during its creation allowed in the late 1960s to develop a similar system, but for the implementation of a soft landing on the Moon's surface of automatic interplanetary stations (AIS) of the «Luna» series. The peculiarity of the «Kvant» system was its purpose for working in open space, as well as the possibility of functioning through the torch of a working landing engine (see Fig.1, left). At the same time, despite these features, it was possible to achieve record-breaking performance in terms of mass-size characteristics of the system due to much more stringent requirements for it in comparison with the «Kaktus» [1-4]. This system provided landing on the Moon of all AIS starting from the station «Luna-17» and ending with the station «Luna-24».

With the beginning of «Buran» space shuttle developing, the task of creating a system of on-board manipulators (SBM) for him was set in front of the RTC [3-5].

The system included two 6-DoF manipulators (main and reserve) of 15 m in length (Fig.1, right), placed along the sides of the spacecraft on both sides of the cargo compartment, a control unit with a control panel, and two

transmitting cameras with lamps having two DoF and controlled with control panel of manipulators.

In addition to creating on-board manipulators, an equally important task was to solve the problem of their testing in terrestrial conditions. A unique test base was created on the territory of the Institute, with passive and active weight unloading test beds [5, 6].

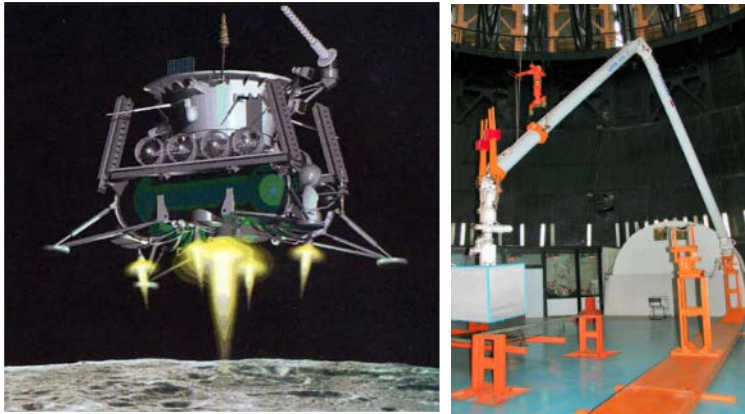


Figure 1 – Illustration of the system «Kvant» working during soft landing of AIS «Luna-17» and «Luna-21» with Lunokhods on-board (on the left) and on-board manipulator of the «Buran» space Shuttle (right)

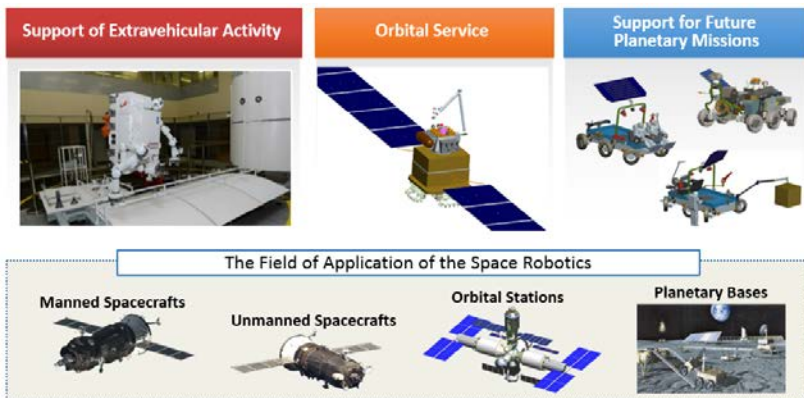


Figure 2 – Current space robotics development trends

Nowadays research in the field of space robotics is concentrated in three main directions (Fig. 2), which can be united by a single term – robotic support for future orbital and planetary missions. These works are connected with research and creation of robotic systems for:

- support of Extravehicular activity (EVA) of cosmonauts in the implementation of inspection, repair, installation work on the surface of the spacecraft [7];
 - orbital service of space vehicles (repair, refueling, etc.);
 - support for future planetary missions.
1. Zheleznyakov A.B. A nachalos' vsjo s «Kaktusa» // Innovacii. – №1(171). – 2013 g. – S. 13-17.
 2. Jurevich E.I. Fotonnaja tehnika. – SPb.: Izdatel'stvo SPbGPU, 2003.
 3. Istorija [Electronic resource] / RTC.RU: official site of Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC). – URL: <http://www.rtc.ru/ru/o-tsnii-rtk/istoriya> (accessed: 10.05.2018).
 4. RTC: vchera, segodnja, zavtra. K 50-letiju sozdanija organizacii / A.V. Lopota [etc.]. – Sankt-Peterburg: OOO «Gruppa MID», 2017. – 182 s.
 5. Jurevich E.I. Vospominanija politehnika. Na rubezhe XXI veka. – SPb.: Izd-vo Politehn. un-ta, 2015. – 199 s.
 6. Ignatova E.I. Kriterii ocenki kachestva prostranstvennyh dinamicheskikh razgruzhatelej stendov kosmicheskoi robototekhniki // Jekstremal'naja robototekhnika: Materialy VII nauchno-tehnicheskoi konferencii. – SPb.: Izdatel'stvo SPbGTU, 1996. – S.73-78.
 7. Daljaev I.Yu. Kosmicheskie roboty dlja obitaemyh i poseshhaemyh stancij // XXI Nauchno-tehnicheskaja konferencija molodyh uchjonyh i specialistov (30 oktjabrja — 3 nojabrja 2017 goda, g. Koroljov): Tezisy dokladov. – Koroljov: Izd-vo RKK «Jenergija» im. S.P. Koroljova, 2017. – T.2. – S. 238-239. – URL: <https://conf.energiya.ru/images/tezis-2.pdf>.

А.В. Васильев, И.Ю. Далеяев

РАЗРАБОТКИ ЦНИИ РТК В ОБЛАСТИ РОБОТОТЕХНИКИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БУДУЩИХ ОРБИТАЛЬНЫХ И НАПЛАНЕТНЫХ МИССИЙ

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

Текущий 2018 г. знаменателен двумя важными датами в истории практического освоения космоса: 45 лет прошло со времени успешного осуществления в период с января по май 1973 г. лунной экспедиции с участием автоматического самоходного аппарата «Луноход-2», а 15 ноября исполнится 30 лет со дня триумфального полёта в полностью автоматическом режиме многоразового космического корабля «Буран». Эти два события являются, безусловно, знаковыми в истории отечественной и мировой космонавтики.

В результате осуществления нашей страной экспедиции с применением второго «Лунохода», продолжившим исследования начатые «Луноходом-1», были получены бесценные научные сведения о Луне, а также опыт создания и управления автономными телеуправляемыми напланетными транспортными средствами – планетоходами, которые остаются актуальными и по сей день.

Создание многоразового транспортного космического корабля (МТКК) «Буран» и космической системы «Энергия» для его выведения стали для нашей страны настоящим прорывом, показавшим научно-техническое превосходство отечественных космических разработок во многом опередивших своё время.

История ЦНИИ РТК началась пятьдесят лет назад с создания системы мягкой посадки для спускаемых аппаратов пилотируемых космических кораблей, получившей название «Кактус» [1-5]. Успешная реализация системы мягкой посадки для спускаемых на Землю космических аппаратов (КА) и опыт полученный при её создании позволили в конце 1960-х гг. разработать аналогичную по принципу действия систему, но уже для осуществления мягкой посадки на поверхность Луны автоматических межпланетных станций (АМС) серии «Луна». Особенностью системы «Квант» являлось её назначение для работы в открытом космосе, а также возможность функционирования через факел работающего посадочного двигателя (рис. 1). При этом, несмотря на эти особенности, удалось достичь рекордных показателей по массогабаритным характеристикам системы ввиду значительно более жёстких требований к ней по сравнению с изделием «Кактус» [1-4]. Эта система обеспечила посадку на Луну всех АМС, начиная со станции «Луна-17» и заканчивая станцией «Луна-24».

С началом работ по «Бурану» перед ЦНИИ РТК была поставлена задача создания для него системы бортовых манипуляторов (СБМ) [3-5].

Система включала два шестистепенных манипулятора (основной и резервный) длиной 15 м (рис.1), размещённых по бортам корабля с двух сторон грузового отсека, управляющее устройство с пультом управления, а также две передающие телекамеры со светильниками, имеющие две степени подвижности и управляемые с пульта управления манипуляторами.

Помимо создания бортовых манипуляторов не менее важной задачей было решение проблемы их испытаний в земных условиях. На территории института была создана уникальная испытательная база, включавшая стенды пассивной и активной разгрузки [5, 6].

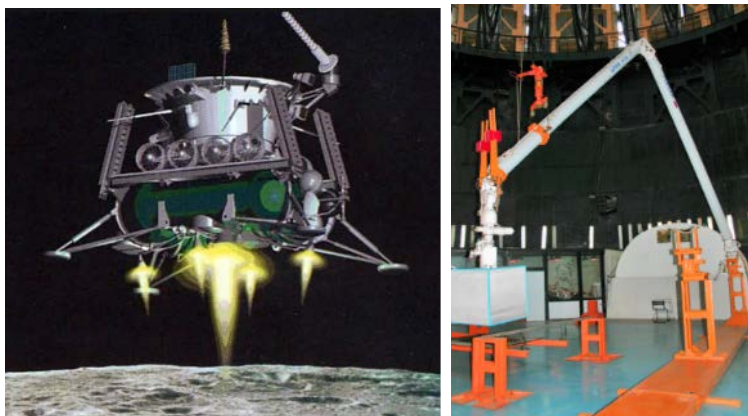


Рисунок 1 – Иллюстрация работы системы мягкой посадки «Квант» АМС «Луна-17» и «Луна-21» с луноходами на борту (слева) и бортовой манипулятор МТКК «Буран» (справа)



Рисунок 2 – Современные направления развития космической робототехники

Сегодня работы в области космической робототехники сконцентрированы на трёх основных направлениях (рис.2), которые можно объединить единым термином – создание робототехнического обеспечения будущих орбитальных и напланетных миссий.

Эти работы связаны с исследованиями и созданием РТС для:

- поддержки внекорабельной деятельности (ВКД) космонавтов при осуществлении инспекционных, ремонтных, монтажных работ на поверхности космического аппарата [7];
- орбитального сервисного обслуживания космических аппаратов (ремонта, дозаправки и т.п.);

– поддержки будущих напланетных исследований.

1. Железняков А.Б. А началось всё с «Кактуса» // Инновации. – №1(171). – 2013 г. – С. 13-17.
2. Юревич Е.И. Фотонная техника. – СПб.: Издательство СПбГПУ, 2003.
3. История [Электронный ресурс] / RTC.RU: официальный сайт ГНЦ РФ ЦНИИ РТК. – URL: <http://www.rtc.ru/ru/o-tsnii-rtk/istoriya> (дата обращения 10.05.2018).
4. ЦНИИ РТК: вчера, сегодня, завтра. К 50-летию создания организации / А.В. Лопота [и др.]. – Санкт-Петербург: ООО «Группа МИД», 2017. – 182 с.
5. Юревич Е.И. Воспоминания политехника. На рубеже XXI века. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 199 с.
6. Игнатова Е.И. Критерии оценки качества пространственных динамических разгрузателей стендов космической робототехники // Экстремальная робототехника: Материалы VII научно-технической конференции. – СПб.: Издательство СПбГТУ, 1996. – С.73-78.
7. Даляев И.Ю. Космические роботы для обитаемых и посещаемых станций // XXI Научно-техническая конференция молодых учёных и специалистов (30 октября — 3 ноября 2017 года, г. Королёв): Тезисы докладов. – Королёв: Изд-во РКК «Энергия» им. С.П. Королёва, 2017. – Т.2. – С. 238-239. – URL: <https://conf.energia.ru/images/tezis-2.pdf>.

E.M. Kuznetcova¹, I.Y. Dalyaev, V.V. Titov, E.A. Smirnov, A.A. Truts
HAPTIC DEVICE WITH PARALLEL KINEMATICS

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
¹ e.kuznecova@rtc.ru*

***Е.М. Кузнецова¹, И.Ю. Даляев, Е.А. Смирнов,
В.В. Титов, А.А. Трутс***
**МАНИПУЛЯТОР ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ,
ОЧУВСТВЛЕННЫЙ ПО УСИЛИЮ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
¹ e.kuznecova@rtc.ru*

Копирующее управление манипуляционной системой робота позволяет эффективно и безопасно совершать различные технологические операции в недетерминированной среде. Задающими устройствами могут служить кинематически подобные манипуляторы такие, как в МЭМ-10СДГ [1], Kraft mini master [2] и др.; манипуляторы параллельной кинематики, например sigma.7 [3]. Последний обладает высокой точностью отражения сил и моментов, при этом за счет выноса приводов на основание манипулятора имеет минимальную собственную инерцию.

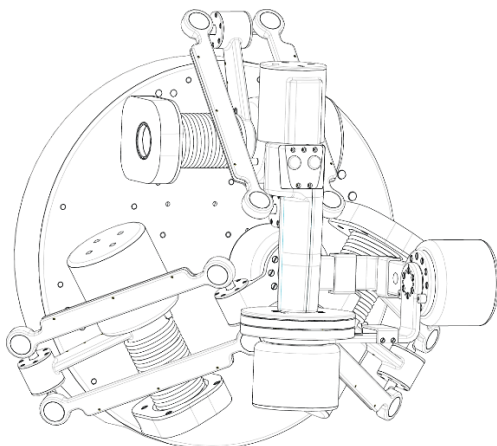


Рисунок 1 – Манипулятор параллельной структуры, очувствленный по усилию

Для реализации копирующего управления электромеханическими манипуляционными системами в ЦНИИ РТК был разработан задающий манипулятор параллельной структуры (рисунок 1), очувствленный по

усилию. Привода манипулятора не содержат редукторов, что позволяет повысить динамические характеристики и снизить паразитные вибрации от редукторов механизма. Каждый привод содержит бесколлекторный двигатель постоянного тока с контролем положения от оптических датчиков угла поворота. Для компенсации силы тяжести в манипуляторе предусмотрена система разгрузки. Усилия, создаваемые оператором на задающем манипуляторе, воспринимает шестикомпонентный тензорезистивный датчик сил и моментов, установленный под рукояткой. Задание положения губок захватного устройства исполнительного манипулятора и отражение силы сжатия объекта в схвате обеспечивается приводом курка. В системе реализовано билатеральное управление осязательным по усилию исполнительным манипулятором по положению и скорости[4].

1. Петров Б.А., Андреев С.М., Ворошилов М.С. Проектирование приводов манипуляторов. Л.: Машиностроение, 1975, 312 с.
2. Kraft Robotic Science and Technology [Электронный ресурс] / Свободный доступ : www.krafttelerobotics.com, свободный. – Загл. с экрана.
3. A.Tobergte, P. Helmer, U. Hagn etc. The sigma.7 haptic interface for MiroSurge: A new bi-manual surgical console In International Conference on Intelligent Robots and Systems, San Francisco, CA, USA, 2011.
4. A.Tobergte A. Albu-Schaffer. Direct Force Reflecting Teleoperation with a Flexible Joint Robot In International Conference on Robotic and Automation (ICRA), St. Paul –Minnesota, USA, 2012.

A.V. Safonov, A.N. Yusupov, A.V. Lopota
**AN ALGORITHM FOR AUTO-TUNING OF DIGITAL
CONTROLLERS FOR MECHATRONIC MODULES WITH SPACE
APPLICATIONS**

*Russian State Scientific Center for Robotics and
Technical Cybernetics, SPbPU, Saint Petersburg
a.safonov@rtc.ru, a.n.yusupov@gmail.com, alopota@rtc.ru*

A.B. Сафонов, А.Н. Юсупов, А.В. Лопота
**АЛГОРИТМ САМОНАСТРОЙКИ ЦИФРОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ
ДЛЯ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ КОСМИЧЕСКОГО
НАЗНАЧЕНИЯ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, СПбПУ, Санкт-Петербург
a.safonov@rtc.ru, a.n.yusupov@gmail.com, alopota@rtc.ru*

Анализ режимов работы приводов мехатронных модулей в экстремальных условиях открытого космоса существенно затруднен, так как зачастую отследить изменения параметров окружающей среды и параметров привода в режиме реального времени невозможно из-за недоступности модулей для непосредственных измерений.

Регуляторы приводов, настроенные в земных условиях, могут не обеспечить удовлетворительной работы в космосе, поскольку условия функционирования отличаются от земных и могут меняться неизвестным образом. Возможность настроить эти регуляторы с помощью бортового программного обеспечения без участия человека непосредственно в процессе эксплуатации модулей в космосе позволит решить эту проблему.

Для такой автоматической настройки существенным моментом является проблема оценки качества управления программными методами на основании данных сенсорной подсистемы привода. В статье предлагается метод автоматической оценки качества переходного процесса в системе управления приводом. Метод предполагает вычисление элементарных бинарных критериев качества, описывающих допустимость величины параметров переходного процесса при обработке ступенчатого воздействия таких как время регулирования, ошибка управления или колебательность в установившемся режиме. Эти параметры определяются на основе количественного анализа данных о переходном процессе.

В статье описывается реализованный на основе предложенного метода поисковый алгоритм самонастройки цифрового регулятора, позволяющий приводу перестроиться под изменившиеся условия работы. В ходе алгоритма итерационно выполняется подстройка коэффициента регуляторов с целью получения максимального

быстродействия. При этом пределы изменения настраиваемых коэффициентов определяется с помощью описанного метода оценки качества переходного процесса – он позволяет отбраковать диапазоны коэффициентов, в которых работа привода неудовлетворительна.

Эффективность работы разработанного алгоритма подтверждают экспериментальные данные, которые получены в ходе симуляции работы привода на имитационной модели и в ходе натурального эксперимента.

I.E. Chernyshev, A.V. Yaskevich

THE LEGS STIFFNESS CHARACTERISTICS DETERMINATION OF THE NEW PERIPHERAL DOCKING MECHANISM

*RSC «Energia», Korolev, Russia, Chernyshev.Ivan@yandex.ru,
RSC «Energia», Korolev, Russia, Andrey.Yaskevich@yandex.ru*

И.Е. Чернышев, А.В. Яскевич

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖЁСТКОСТИ ШТАНГ НОВОГО ПЕРИФЕРИЙНОГО СТЫКОВОЧНОГО МЕХАНИЗМА

*ПАО РКК «Энергия», г. Королёв, Россия, Chernyshev.Ivan@yandex.ru,
ПАО РКК «Энергия», г. Королёв, Россия, Andrey.Yaskevich@yandex.ru*

Соединение космических аппаратов (КА) на орбите производится с помощью стыковочных агрегатов (СтА) [1]. В РКК «Энергия» ведется разработка СтА [2], удовлетворяющего требованиям международного стандарта систем стыковки [3]. Основой кинематической схемы его стыковочного механизма (СтМ), выполняющего компенсацию промахов сближения, поглощение энергии относительного движения и стягивание КА, является параллельный манипулятор - платформа Гью-Стюарта [4].

В разрабатываемом СтМ энергия относительного движения КА накапливается во вращательных спиральных пружинных механизмах (ПМ), связанных со штоками штанг платформы шарико-винтовыми преобразователями. Каждый ПМ противодействует уменьшению хода штока своей штанги от максимального, соответствующего переднему положению (ПП) СтМ, до промежуточного, соответствующего исходному положению (ИП) перед стыковкой, и до полностью втянутого конечного положения (КП). Соответственно характеристика жёсткости имеет два участка: от ПП до ИП, и от ИП до КП. Первый главным образом определяет податливость СтМ при достижении сцепки. Второй в основном предназначен для аккумуляции энергии и выравнивания КА. Каждый участок характеризуется начальной, конечной силой сопротивления и ходом штока штанги.

Одной из задач при проектировании СтМ является выбор силы сопротивления штанг, которая исключает недемпфируемые контакты звеньев механизма при накоплении энергии после сцепки. Если работа сил сопротивления при движении от сцепки до возникновения некоторого контакта звеньев будет больше, чем кинетическая энергия относительного движения КА, то при аккумулировании этой энергии данный контакт не будет достигнут. При расчете работы сил сопротивления каждой штанги используется допущение об аккумулировании энергии только на втором участке характеристики. Это создает запас для ограничения хода СтМ до возникновения точек контакта, так как сцепка может быть достигнута на первом участке. Также используется максимально возможное значение энергии, что увеличивает запас.

При решении поставленной задачи формируется список возможных точек контакта звеньев с помощью алгоритма сканирования рабочего пространства [5] и с использованием кинематической, трехмерной контактной моделей СтМ.

Второй участок характеристики жёсткости штанги должен реализовывать примерно постоянную осевую силу сопротивления СтМ. Рассчитывается сила сопротивления штанги в ИП в зависимости от величины хода штока из ИП в КП. Каждой точке контакта из сформированного набора ставится в соответствие неравенство, отражающее требование того, чтобы работа сил сопротивления всех штанг СтМ при его движении из ИП в конфигурацию, соответствующую этой точке, была больше энергии относительного движения КА. Каждое неравенство решается отдельно и для заданного ИП определяется наихудший вариант контакта, которому соответствует наибольшее значение силы сопротивления. Решением поставленной задачи является график зависимости силы сопротивления штанги в ИП и КП от хода из КП до ИП.

После выбора ИП предлагается определять параметры участка характеристики жёсткости штанги от ИП до ПП с помощью моделирования динамики процесса стыковки.

Заключение. В докладе предложены математические модели, алгоритм сканирования и методика расчёта нелинейной характеристики жёсткости штанг, которая позволяет исключить недемпфируемые контакты звеньев СтМ между собой и с корпусом СтА при стыковке КА.

1. В.С. Сыромятников Стыковочные устройства космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1984.
2. Заявка на патент №2017119305 от 01.06.2017.
3. International Docking System Standard (IDSS) Interface Definition Document (IDD). URL: <http://internationaldockingstandard.com>. Дата обращения 01.03.2018.

4. V. E. Gough, Contribution to discussion of papers on research in Automobile stability, control, and tyre performance, Proc. Auto Div., Inst. Mech. Eng., pp 392-394, 1956-1957.
5. И.Е. Чернышев Алгоритмы сканирования рабочего пространства перспективного периферийного стыковочного механизма космических аппаратов, «Механика и процессы управления» (М.: РАН, 2012), МСНТ.

I.V. Shardyko, A.N. Yusupov

IMPLEMENTATION OF STIFF AND COMPLIANT JOINT TRAJECTORY CONTROL FOR SPACE MANIPULATION SYSTEMS

*Russian State Scientific Center for Robotics and
Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
a.n.yusupov@gmail.com, i.shardyko@rtc.ru*

Manipulation systems (MS) of the CNII RTC development ([1],[2]), including space manipulators, are usually made of mechatronic units that comprise such elements as a motor, gears, position and torque sensors, and also control circuits. A three-layer control system software was developed to control MS which consists of application software, on-board software and joint-embedded code. Applications are to be installed on control units to provide user-machine interface. They can also execute a number of off-line routines. On-board software exists within robot CPU and makes all the joint act in accord.

Application software is linked with robot CPU through wire or wireless channel, that is also employed in transmitting videodata and telemetry. Considering the latter, there remains a wide enough channel, however, with delays of about 25-100 ms arising.

To control the joints, the algorithms of original design are used, which provide both stiff and compliant trajectory control. Simultaneous control of joint speed and position is maintained in stiff mode, while joint torque control based on speed and position is performed in compliant mode. Control signal periodicity is about 250 – 350 mks, while sensor data for current, speed and torque has resolution of 10 -16 bits, and position data – 18-32 bits. As a result, each joint could potentially use 300 – 640 kbit and requires bandwidth of 1-2 Mbit/s, considering overhead for necessary redundancy and noise reduction. Overall bandwidth for a robot then reaches up to 50 Mbit/s for a system with 25 joints.

Joints are linked with robot CPU through serial channel (CAN, Manchester, Spacewire) with total bandwidth up to 1-2 Mbit/s, which is insufficient for full exploitation of joints capabilities and, consequently, substantially degrades the overall control system performance. Thus, a

necessity for algorithms has arisen which could exploit the maximum of joints when the bandwidth is factually limited.

The main idea of this article is to delegate a part of computational load to joint-embedded layer, achieving significant decrease of computations in application/on-board layer and also of transmitted data, the latter effect leading to off-loading the link channel. A two-step approximation algorithm was devised to implement the idea. At the first step the trajectory is calculated at the application level and is divided into pieces with reference points. The trajectory is formed piecewise by a third-degree polynomials [3]. Further, an array of reference points is being permanently sent to robot CPU, which caches the data, transmits them to joints in due course and synchronizes joints activity to secure their simultaneous transition onto next trajectory piece. After receiving the next point data the joint-embedded software plans its own phase trajectory, calculates the cubic approximation parameters and performs the calculation and regulation of phase coordinates at each cycle.

After implementation, it has been found that it is sufficient to divide trajectory on the application layer into pieces of length 70 ms to 2 s, which allows for the decrease of transmitted data volumes up to 100 – 8000 times.

1. On Mathematical Description of Manipulation System for the Inspection of Metal Surface of the Upper Block Pipes / Shardyko I.V. // Proceedings of the International Scientific and Technological Conference Extreme Robotics, –Saint-Petersburg, 2015, p. 339 – 343.
2. Experimental Model of a Manipulator for On-Orbit Servicing Spacecraft / Dalyaev I., Shardyko I. // Proceedings of the International Scientific and Technological Conference EXTREME ROBOTICS, – Saint-Petersburg, 2015, p. 411 - 415.
3. 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 / Shardyko I.V., Titov V.V. // Proceedings of the International Scientific and Technological Conference Extreme Robotics, –Saint-Petersburg, 2017, p. 17–22.

И.В. Шардыко, А.Н. Юсупов
**РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ЖЁСТКОГО И ПОДАТЛИВОГО
ТРАЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ШАРНИРАМИ
МАНИПУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО
НАЗНАЧЕНИЯ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
a.n.yusupov@gmail.com, i.shardyko@rtc.ru*

В манипуляционных системах, разрабатываемых в ЦНИИ РТК ([1,2]), в том числе, космического назначения, широко применяются мехатронные модули, включающие в себя двигатель, редукторы, датчики положения двигателя и выходного вала, датчик момента, а также встроенную систему управления. Для управления МС разработана трёхкомпонентная система управления, включающая в себя прикладное ПО, бортовую систему управления и встраиваемую систему управления мехатронных модулей. Прикладное ПО устанавливается на пульт управления и обеспечивает взаимодействие пользователя с МС, также к его задачам может относиться реализация различных вычислительных функций, выполняемая не в реальном времени. Бортовая СУ представляет собой центральный контроллер МС, осуществляющая согласование работы отдельных мехатронных модулей (шарниров МС).

Прикладное ПО с бортовой СУ связано выделенным каналом, реализованным проводным или беспроводным способом, который также интенсивно используется и для передачи телеметрической и видео информации. Для системы управления, как правило, остаётся достаточно широкий канал, но с существенными задержками, составляющими 25 – 100 мс.

Для управления мехатронными модулями применяются алгоритмы собственной разработки, позволяющие осуществлять как жёсткое, так и податливое траекторное управление. В первом случае обеспечивается одновременный контроль скорости и положения модуля. Во втором случае осуществляется управление моментом на выходном валу модуля на основе информации о желаемом положении и скорости модуля. Периодичность выдачи управляющих сигналов составляет 250 – 350 мкс; значения токов, скоростей и моментов обрабатываются с разрешением 10 – 16 бит, положение – 18 – 32 бита. Таким образом, каждый мехатронный модуль при полной загрузке потенциально может использовать 300 – 640 кбит, что с учётом необходимых накладных расходов, в том числе обеспечивающих должную избыточность и помехозащищённость требует пропускной способности в 1 – 2 Мбит/с. Общая требуемая пропускная способность

канала передачи данных для МС может составлять от 1,8 Мбит/с для шестистепенной МС до 50 Мбит/с для МС включающей 25 степеней.

Бортовая система управления и СУ мехатронного модуля связаны через последовательный канал передачи данных (CAN, Манчестер, Spacewire). Суммарная пропускная способность аппаратной сети передачи данных может составлять 1–2 Мбит/с, что недостаточно для того, чтобы полноценно задействовать возможности мехатронных модулей, и, в конечном итоге, значимо снижает показатели качества системы управления в целом. Таким образом, возникла необходимость в разработке алгоритмов траекторного управления, максимально задействующих возможности мехатронных модулей в условиях объективно ограниченной пропускной способности канала.

Основная идея заключается в том, чтобы часть вычислительной нагрузки делегировать мехатронным модулям, тем самым разгружая и вычислительные мощности прикладного/бортового уровня и канала передачи данных. Для этого был разработан алгоритм двухэтапной аппроксимации. Первый этап аппроксимации происходит на прикладном уровне, на котором рассчитывается траектория и разбивается на реперные точки. Траектория формируется в кусочно-полиномиальной форме на основе полиномов третьей степени [3]. Далее массив реперных точек перманентно отправляется на бортовую СУ, которая кэширует данные, своевременно передаёт их на мехатронные модули и синхронизирует их работу, обеспечивая одновременный переход на следующий элементарный отрезок траектории. Получив информацию о следующей точке траектории, СУ мехатронного модуля самостоятельно планирует фазовую траекторию данного модуля, рассчитывает параметры кубической аппроксимации и на каждом такте рассчитывает и обеспечивает достижение требуемых значений фазовых координат.

Практическая реализация показала, что на прикладном уровне, в зависимости от сложности траектории, достаточно разбивать её на участки протяжённостью от 70 мс до 2 с, что на 2-4 порядка (до 8000 раз) обеспечивает сокращение объёма передаваемых данных.

1. Особенности математического описания манипуляционной системы контроля металла патрубков верхнего блока / Шардыко И.В. // Экстремальная робототехника: Труды международной научно-технической конференции. – Санкт-Петербург: “Политехника-Сервис”, 2015. – С. 339 - 343.
2. Макетный образец манипуляционной системы сервисного космического аппарата / Даляев И.Ю., Шардыко И.В. // Экстремальная робототехника: Труды международной научно-технической конференции. – Санкт-Петербург: ООО “АП4Принт”, 2016. – С. 411 – 415.

3. Частный случай решения обратной задачи кинематики шестистепенного манипулятора и методика быстрого решения траекторной задачи в пространстве обобщённых координат / Шардыко И.В., Титов В.В. // Экстремальная робототехника: Труды Международной научной-технической конференции. – Санкт-Петербург: ИПЦ ООО “Политехника-принт”, 2017. – С. 23 - 29.

N.V. Zarutskii, I.U. Dalyaev, V.A. Kuznetsov, M. U. Gook
**LESSONS LEARNED FROM THE DEVELOPMENT AND TEST OF
THE TWO-AXIS ROTARY PLATFORM FOR
RUSSIAN SEGMENT OF ISS**

*State Scientific Center for Robotics and
Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
zarutskiy@rtc.ru*

Н.В. Заруцкий, И.Ю. Даляев, В.А. Кузнецов, М.Ю. Гук
**ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ИСПЫТАНИЙ ДВУХОСНОЙ
ПОВОРОТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ РС МКС**

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

Во второй, исправленной и дополненной, редакции Справочника пользователя РС МКС [1] в перечне ресурсов для интеграции научной аппаратуры многофункционального лабораторного модуля (МЛМ) появилась Двухосная Поворотная Платформа (ДПП). В настоящее время опытный образец ДПП, разработанный и изготовленный в ЦНИИ РТК, прошел с положительными результатами конструкторско-доводочные испытания.

ДПП, предназначена для ориентации оси визирования установленной на ней полезной нагрузки по двум взаимно перпендикулярным осям α и β с заданной скоростью и на заданный угол по целеуказаниям от РС МКС. ДПП доставляется на борт МКС транспортным грузовым кораблем «Прогресс».

Основным проектным ограничением при разработке ДПП стала необходимость вписать габариты изделия в цилиндр диаметром 600 мм и высотой 800 мм. Только такие размеры позволили бы загрузить и закрепить ДПП грузовом отсеке корабля «Прогресс».

Отличительной особенностью ДПП стало использование в ее шарнирах прямого привода. В шарнире каждой оси (α и β) реализовано неполное дублирование – резервный и основной двигатели работают на один вал. Из размещения двух двигателей на одном валу извлечен

положительный эффект – за счет смещения одного двигателя относительно другого на угол, равный половине зубцового деления, снижены пульсации «зубцового» момента.

ДПП относится к подгруппе 5.3.2 по ОСТ 92-5100-2002 и в ходе автономной отработки испытывалась на соответствие требованиям назначения при воздействии внешних воздействующих факторов, установленных для данной подгруппы аппаратуры. Успешно были пройдены механические испытания и испытания на акустическое воздействие (суммарный среднеквадратичный уровень 138 дБ). Положительные результаты были получены при испытаниях ДПП на электромагнитную совместимость. Было установлено, что компоненты ДПП соответствуют требованиям стойкости к поглощенной дозе ионизирующего излучения (стойкость компонентов составила не менее $6,283 \cdot 10^3$ рад при требуемом согласно техническому заданию уровне стойкости 528 рад).

Основные проблемы, потребовавшие множества доработок, были выявлены при климатических, и особенно при термовакуумных испытаниях.

Резюмируя полученный опыт, хочется еще раз отметить важность теплового расчета для изделий, работающих в вакууме. История отработки ДПП в очередной раз доказывает, что в данном случае не бывает мелочей. В случае с ДПП ситуация с тепловыделением обостряется использованием прямого привода. Работа на ползучих скоростях обуславливает тот факт, что большая часть мощности, подводимой к ДПП, трансформируется в тепло.

Следующим важным фактором является выбор компонентной базы. С особой осторожностью следует применять отечественные «аналоги» иностранных компонентов. Существует большая разница между «аналогом» и «прототипом», и следует рассчитывать только на те параметры, которые прописаны в ТУ в явном виде.

Проблема заключается в том, что даже в явном виде прописанные в ТУ параметры могут не выдерживаться изготовленным по ТУ изделием. Ярким примером в случае с ДПП послужила смазка НИКА, несоответствие которой требованиям ТУ повлекло за собой существенные потери времени на переборку изделия и повторение испытаний. Эта история еще раз подтверждает мысль, высказанную ранее – при разработке космической техники не бывает мелочей.

1. Российский сегмент МКС. Справочник пользователя. Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королева, стр. 85, 2016.

К.А. Volnyakov
INFLUENCE OF LUBRICANTS IN ZONE OF CONTACT OF SURFACES

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
rjcnz_07@mail.ru*

К.А. Волняков
ВЛИЯНИЕ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ В ЗОНЕ КОНТАКТА ПОВЕРХНОСТЕЙ

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
rjcnz_07@mail.ru*

Вопрос о теплопроводности элементов с неполной площадью контакта часто оказывается решающим в тепловом анализе систем. Например, при анализе привода, применяемого в двухосной поворотной платформе для ориентирования полезной нагрузки, было выявлено, что модель без учёта контактных сопротивлений показывает результаты с неудовлетворительной даже для предварительных расчётов точностью (рисунок 1).

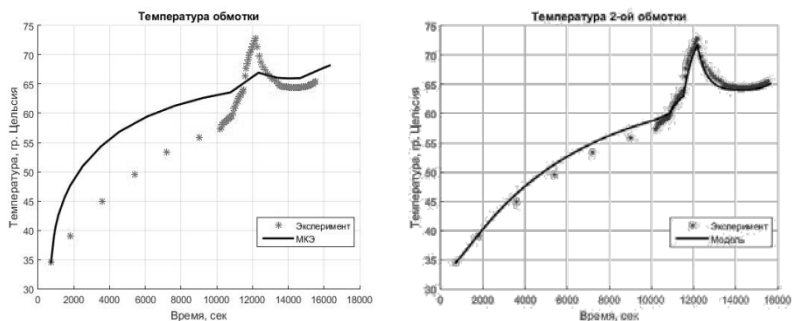


Рисунок 1 – Сравнение результатов эксперимента и моделирования (слева – без учёта контактных сопротивлений; справа – с учётом)

Дополнительное сопротивление обусловлено в основном наличием области стягивания в зоне контакта поверхностей. Областью стягивания называется область контакта, где тепловой поток искривляется, стягиваясь к пятну контакта (рисунок 2).

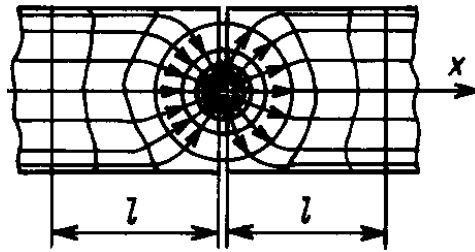


Рисунок 2 – Область стягивания

В робототехнике используются движущиеся элементы, неотъемлемой частью которых являются смазочные материалы. Таким образом, необходимо выявить и количественно определить влияние смазочных материалов на сопротивление контакта, так как в ряде случаев определение сопротивления контакта смазанных поверхностей необходимо для расчёта системы обеспечения теплового режима. Дополнительный интерес представляет разность температур внешнего и внутреннего колец подшипника, так как неравномерное тепловое расширения может привести к нарушению посадки.

В рамках данной работы была составлена теоретическая модель и проведён ряд испытаний для подтверждения теоретических результатов. Данная модель основана на модели Гринвуда-Вильямсона для шероховатых поверхностей [1]. Сравнение результатов моделирования и эксперимента показало, что используемая модель применима для проектных расчётов и имеет удовлетворительную точность.

1. В.Л. Попов. Механика контактного взаимодействия и физика трения. От нанотрибологии до динамики землетрясений. Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2013. Стр. 91.

V.M. Kopylov, I.Yu. Dalyaev

CONTROL AND SCHEDULING METHODS FOR SERVICING SPACECRAFT EQUIPPED WITH MANIPULATORS

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
v.kopylov@rtc.ru*

Abstract

This article presents features of on-orbit satellite servicing that depending on orbit they are considered, investigation the spacecrafts joining, stabilization and dynamic control, including manipulation system of service spacecraft.

Key words: satellite service spacecrafts, on-orbit servicing, spacecrafts dynamic control.

В.М. Копылов, И.Ю. Даляев
**МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ
СЕРВИСНОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА,
ОСНАЩЕННОГО МАНИПУЛЯТОРАМИ**

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

Аннотация

В статье рассматриваются особенности обслуживания спутников сервисными космическими аппаратами (КА) в зависимости от орбиты, исследуются вопросы потенциальной стыковки, задачи стабилизации и управления движением, в том числе с учетом манипуляционной системы сервисного КА.

Ключевые слова: сервисные космические аппараты, орбитальное обслуживание, управление движением космического аппарата.

Герхард Грюнволд, Максимо А. Роа, Армин Ведлер
РОБОТОТЕХНИКА ДЛЯ ОСВОЕНИЯ КОСМОСА

*Германское аэрокосмическое агентство, (DLR), Германия
firstname.lastname@dlr.de*

Gerhard Grunwald, Máximo A. Roa, Armin Wedler
ROBOTICS FOR IN-SPACE ASSEMBLY

*German Aerospace Center (DLR), 82234 Wessling, Germany
firstname.lastname@dlr.de*

Large scale space mission scenarios for the Post-ISS era [1] e.g. Moon Village (ESA), Mars exploration (NASA) and a new LEO station (DLR) suppose the availability of dexterous robot systems performing complex assembly tasks. In contrast to the construction of ISS, which was performed by astronauts and took over a decade, new orbital structures are expected to be assembled by robotic systems. While robotic tasks on ISS have been focused primarily on moving equipment and supplies around the ISS and servicing instruments and other payloads attached to the space station (such as batteries and electronic components using classic manipulation, other areas such as assembly and maintenance of modular satellites or construction of large space structures are receiving increased attention.

This presentation provides a brief overview of existing in-space assembly technologies. Main technologies used so far include the

deployment of truss and beam assemblies, revolute joints or special latches for easy snap-on, and in-space manufacturing [2]. Independently of the technology used for the mechanical connections, one of the main challenges for assembling a large functional structure is the combination of power and data connectors together with the mechanical latch. Possible alternatives for solving this issue include magnetic latching and reversible joints that allow disassembly for repairing and module replacements. The design of standard interfaces that allow full functionality for modular assemblies is a current research topic, as discussed in this work.

Autonomous robotics has become a feasible alternative for servicing and maintenance missions. While operations such as autonomous rendezvous, docking and undocking are relatively common nowadays, autonomous operation of on-orbit robotic servicing is currently under development [3]. Some concepts for robotic on-orbit assembly are considered at early stages as well, mostly at conceptual level [4].

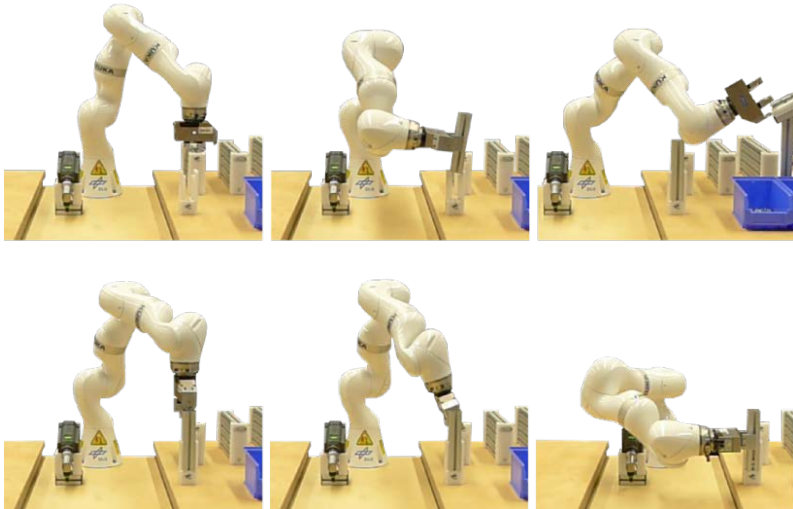


Figure 1 – Autonomous robotic assembly on ground [5].

Robot-based assembly in the absence of gravity addresses fundamental technical questions that do not exist for terrestrial applications. The robot is mounted on an actively regulated platform (either a simple satellite or a large assembly platform), and the motion of the robot has dynamic effects on the platform itself. The dynamic effects depend on the mass of the objects and the velocity of the motion. When the robot works on a platform different to its floating base, the required physical contact affects both platforms. The contact can also affect the perception system, as minor changes in position

might lead to significant visual occlusions. These effects must be considered on the motion planning for the manipulator.

While teleoperated or partially assisted assembly operations are possible on ground, autonomous assembly of structures has also been proven feasible through the combination of adaptable perception, integrated assembly and grasp planning, and compliant based control of the manipulators [5]. These terrestrial applications typically rely on the use of fixtures that provide mechanical support during the assembly operation. However, the use of fixtures in space can be limited, considering the dynamic effects of zero gravity conditions. Feeding of parts for the assembly, size of the parts to be handled, feasibility and limits of usage of one or two arms for the operations or use of assembly kits are also open questions that are discussed on this work.

1. Axel García, Andrew Lamb, Arseniy Sleptsov, Carolina Moreno, Maria Victorova, Natalia Glazkova, Veronika Shteyngardt, (2016). Post-ISS plans: What should be done? REACH - Reviews in Human Space Exploration, Volume 1, March 2016, Pages 63–73, Elsevier
2. Belvin, K., Doggett, B., Watson, J., Dorsey, J., Warren, J., Jones, T., Komendera, E., Mann, T., Bowmann, L. (2016). In-Space Structural Assembly: Applications and Technology. Am. Institute of Aeronautics and Astronautics.
3. Artigas, J., De Stefano, M., et al. (2015). The OOS-SIM: An on-ground simulation facility for on-orbit servicing operations. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp. 2854-2860.
4. Hoyt, R., Cushing, J., Slostad, J. (2013). SpiderFabTM: Process for On-Orbit Construction of Kilometer-Scale Apertures, NASA Innovative Advanced Concepts (NIAC), Report No.NNX12AR13G.
5. Nottensteiner, K., Bodenmueller, T., Kassecker, M., Roa, M., Stemmer, A., Stouraitis, T., Seidel, D., Thomas, U. (2016). A Complete Automated Chain for Flexible Assembly using Recognition, Planning and Sensor-Based Execution. Int. Symp. Robotics - ISR.

*F.B. Tebueva, V.I. Petrenko, V.O. Antonov,
M.M. Gurchinskiy, N.Yu. Svistunov*
**A METHOD OF DETERMINING THE MUTUAL POSITION OF
OPERATOR'S ARM JOINTS FOR ANTHROPOMORPHIC SPACE
MANIPULATOR CONTROL**

*North-Caucasus Federal University, Stavropol
ant.vl.02@gmail.com*

*Ф.Б. Тебуева, В.И. Петренко, В.О. Антонов,
М.М. Гурчинский, Н.Ю. Свистунов*
**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЗАИМОПОЛОЖЕНИЯ
СУСТАВОВ РУКИ ОПЕРАТОРА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ
АНТРОПОМОРФНЫМ КОСМИЧЕСКИМ МАНИПУЛЯТОРОМ**

*ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
Ставрополь, ant.vl.02@gmail.com*

Для обеспечения высокой точности выполнения операций с помощью манипулятора в условиях космоса, а также во избежание повреждения оборудования вследствие столкновения манипулятора с препятствиями, необходимо осуществлять точное позиционирование рабочего окончания и надежный контроль положения узловых точек манипулятора.

Одним из способов управления, удовлетворяющих данным требованиям, является копирующее управление, осуществляемое посредством захвата движения руки оператора специализированным экзоскелетом. Неотъемлемой частью копирующего управления является расчет координат суставов руки оператора. В работе представлена методика точного расчета декартовых координат суставов руки оператора для управления антропоморфным космическим манипулятором с помощью экзоскелета.

Координаты плечевого и лучезапястного суставов, а также кисти оператора рассчитываются посредством решения прямой задачи кинематики. Для расчета пространственных координат локтевого сустава руки оператора предложен аналитический способ решения обратной задачи кинематики.

Предлагаемая методика обеспечивает низкозатратный с точки зрения вычислительной сложности и достаточно точный расчет координат суставов руки оператора для организации копирующего управления антропоморфным космическим манипулятором с помощью экзоскелета. В результате применения разработанной методики может быть повышена синхронность движений оператора и манипулятора, что приводит к уменьшению времени, затрачиваемого оператором на

выполнение целевых задач, а также снижает вероятность столкновения манипулятора с препятствиями.

A.V. Ivanov, V.M. Rulevskiy, N.N. Tsebenko
**SISTEM OF CONTROL AND MANAGEMENT FOR COSMOBOT
BATTERY**

*Research Institute of automatics and electromechanics «NII AEM TUSUR»,
Russia, Tomsk, ivanovnii@sibmail.com, rulevsky@niiuem.tomsk.ru,
tnn@niiuem.tomsk.ru*

A.B. Иванов, В.М. Рулевский, Н.Н. Цебенко
**СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ АККУМУЛЯТОРНОЙ
БАТАРЕИ КОСМОРОБОТА**

*Научно-исследовательский институт автоматики и
электромеханики «НИИ АЭМ ТУСУР», г. Томск,
ivanovnii@sibmail.com, rulevsky@niiuem.tomsk.ru, tnn@niiuem.tomsk.ru*

Разработка робототехнических систем для целей исследования, освоения космоса и обслуживание космических отраслей является одним из знаковых направлений развития науки и техники. Наиболее актуальными тенденциями развития космической техники являются такие, как расширение функциональности, увеличение срока активной эксплуатации, повышение степени автономности. [1]

Практически все перспективные космические аппараты оснащаются литий ионными аккумуляторными батареями (ЛИАБ), В настоящее время в состав аккумуляторных батарей с целью повышения их надежности и продления срока службы, вводится блок со схемой контроля параметров аккумуляторов. [2] Для работы в составе батареи косморобота в НИИ АЭМ ТУСУР была разработана система контроля и управления (СКУ). Структурная схема СКУ представлена на рис. 1.

В качестве базовой структуры принята структура с выравниванием разрядом. СКУ включает в себя: модуль питания (МП), датчик общего тока (ДОТ), пороговые устройства (ПУ), коммутатор (К) и модуль контроля и управления (МКУ). Модуль питания формирует питающие напряжения для всех остальных модулей. Датчик общего тока предназначен для измерения суммарного тока, потребляемого от ЛИАБ. Коммутатор представляет собой ряд ключей для коммутации трех отдельных фидеров: силовоточного, слаботочного и системы обеспечения теплового режима (СОТР). Ток по каждому отдельному фидеру измеряется пороговым устройством, каждое из которых осуществляет мгновенную защиту от короткого замыкания и перегрузки по току.

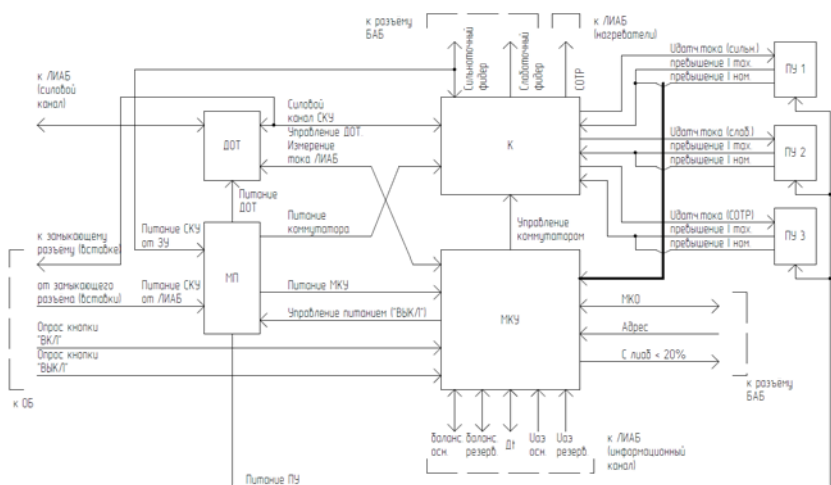


Рисунок 1 – Структурная схема СКУ

Модуль контроля и управления осуществляет измерение температуры и напряжения на аккумуляторной батарее, выравнивание напряжений на единичных аккумуляторах батареи, а также связь с бортовой сетью.

Модульный принцип построения сложился еще на ранних этапах развития космической техники. Исходя из этого принципа, ЛИАБ и СКУ представляют собой законченный модуль, называемый блок аккумуляторной батареи (БАБ). Все функции по обслуживанию и измерению параметров ЛИАБ осуществляются в этом модуле. Такой подход снижает вычислительную нагрузку на ЭВМ робота, упрощает конструкцию, упрощает бортовую кабельную сеть, позволяет наращивать энерговооружённость путём увеличения количества ЛИАБ с минимальными затратами.

1. Белоножко П. П. Космическая роботехника. Современное состояние, перспективные задачи, тенденции развития. Аналитический обзор. // Наука и образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, 2016. с. 110-153.
2. Иванов А. В., Правикова А. А. Система выравнивания и контроля для литий-ионных аккумуляторных батарей // Разработка, производство, испытания и эксплуатация космических аппаратов и систем: сборник тезисов конференции; АО «ИСС», Железногорск, 2017. с. 92-93.

M.N. Belov
**SCIENTIFIC EQUIPMENT FOR RECORDING THE GAS-PLASMA
ENVIRONMENT**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
m.belov@rtc.ru*

М.Н. Белов
**НАУЧНАЯ АППАРАТУРА РЕГИСТРАЦИИ
ГАЗОПЛАЗМЕННОГО ОКРУЖЕНИЯ**

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

Научная аппаратура (НА) «АРГО», разработанная ЦНИИ РТК, предназначена для определения амплитудно-временных диапазонов электрофизических параметров стационарных и импульсных процессов в околообъектовой среде, обеспечивающей выполнение задач космического эксперимента «Плазма-ЭРП» на российском сегменте МКС.

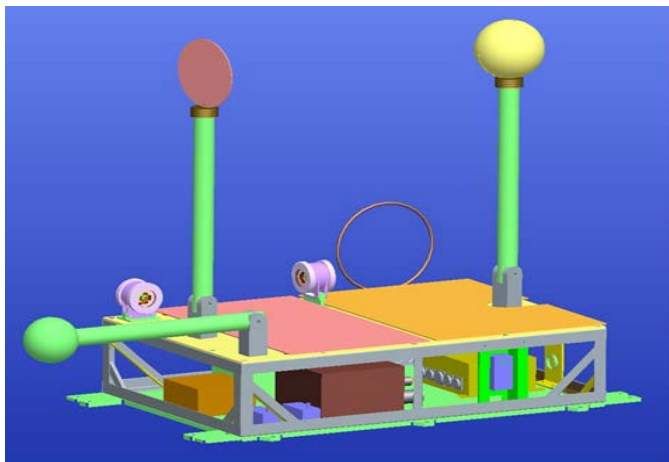


Рисунок 1 – Блок измерений НА «АРГО», устанавливаемый на внешней поверхности МКС

Научная новизна создаваемой НА «АРГО» состоит в применении комплексных методов и средств контроля электроразрядной обстановки на внешней поверхности и в плазменном окружении МКС при различных условиях полета. Регулярный мониторинг электрофизических процессов, происходящих на МКС, включая контроль потенциала поверхности и приповерхностных

электроразрядных явлений, производится с привлечением уже имеющейся на МКС российской научной и служебной аппаратуры.

В настоящее время ведется изготовление опытного образца НА «АРГО».

I.V. Voinov, A.M. Kazantsev, B.A. Morozov, M.V. Nosikov
**RADIATION-PROOF MANIPULATORS AND METHODS FOR
EXTENDING THEIR FUNCTIONALITY**

*Miass branch of South Ural State University (National Research
University), Miass, Russian Federation
voinoviv@susu.ru, kazantcevam@susu.ru, nosikovmv@susu.ru*

И.В. Войнов, А.М. Казанцев, Б.А. Морозов, М.В. Носиков
**РАДИАЦИОННО-СТОЙКИЕ МАНИПУЛЯТОРЫ И МЕТОДЫ
РАСШИРЕНИЯ ИХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ**

*Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Миассе, г. Миасс
Челябинской обл., Российская Федерация
voinoviv@susu.ru, kazantcevam@susu.ru, nosikovmv@susu.ru*

В настоящее время на целом ряде предприятий атомной промышленности РФ при проведении лабораторных исследований и в производственном цикле широко используются электромеханические манипуляторы типа МЭМ-10. Манипуляторы МЭМ-10 эксплуатируются на предприятиях отрасли с 70-х годов прошлого века, неоднократно исчерпали свой ресурс, морально и физически устарели, а завод-изготовитель прекратил выпуск как самих манипуляторов, так и запасных частей к ним. Комплекс перечисленных проблем обуславливает необходимость скорейшего создания современных роботов-манипуляторов для проведения работ внутри герметичных камер с радиоактивными и другими агрессивными средами. Необходимость использования манипуляторов в условиях сильных радиационных полей, кроме обычных для промышленных роботов требований по грузоподъемности, точности позиционирования и рабочей зоне обслуживания, содержит и ряд специфических требований, главным из которых является обеспечение работоспособности исполнительного органа манипулятора при высоких уровнях ионизирующих излучений и наличия химически активной среды внутри герметичной камеры. Лабораторией робототехники филиала Южно-Уральского государственного университета в г. Миассе по заказу одного из ведущих предприятий атомной промышленности проведена опытно-конструкторская работа, в результате которой был спроектирован и изготовлен опытный образец внутрикамерного робота-манипулятора МР-48. В соответствии с требованиями технического

задания (ТЗ) на проектирование, в состав изделия входит 6-степенной исполнительный орган, оснащенный схватом с плавным регулированием усилия его губок, и пульт управления (ПУ) оператора со встроенной системой управления (СУ).

Система управления обеспечивает реализацию нескольких режимов управления (ручное управление, режим «Схват», режим «Траектория», сервисный режим).

Программное обеспечение и математический аппарат, реализуют периодическое вычисление (с периодом 10 мс) требуемых уставок параметров движения и управляющих воздействий на исполнительные органы исходя из текущей конфигурации манипулятора, воздействий оператора на задающие органы и текущего режима управления.

Внешний вид исполнительного органа и пульта управления приведены на рис. 1 (а,б).



а) б)
Рисунок 1 – Общий вид манипулятора МР-48 и его пульта управления

В рамках комплекса работ по расширению функциональных возможностей радиационно-стойкого манипулятора МР-48 реализуются следующие задачи: повышение удобства и информативности управления манипулятором от задающих органов; введение интерактивного режима конфигурации рабочей зоны манипулятора; режимы управления с адаптивными коэффициентами управления на границах рабочей зоны, несколько автоматических режимов работы с технологической тарой (в том числе идентификация по уникальному номеру); введение режимов сопровождения выполнения операций двумя манипуляторами; интеграция робототехнического комплекса в комплекс АСУТП (АСУП) и ряд других задач.

Таблица 1. Допустимые уровни ионизирующих излучений при эксплуатации МР-48

№	Воздействующие факторы	Характеристики воздействующих факторов	Значения
1	Гамма-излучение	Максимальная мощность экспозиционной дозы с энергией от 0,1 до 3 Мэв, Гр/ч, экспозиционная доза, Гр	10 1000
2	Нейтронное излучение	Флюенс нейтронов при плотности потока 10^2 н/см ² со средней энергией 0,1 Мэв, н/см ²	10^8
3	Бета-излучение	Плотность потока бета-частиц, 1/мин см ² Флюенс бета-частиц, 1/см ²	1-10000 10-10000

Вышеприведенный функционал реализуется в виде иерархического принципа построения программных модулей с реализацией эффективных методов межпроцессного обмена. Ключевым фактором построения подобных систем (с учетом специфики отрасли) является использование высоконадежных программных систем жесткого реального времени (операционных систем реального времени, ОСРВ).

Разработанный робототехнический комплекс МР-48 обеспечивает выполнение целого ряда функциональных возможностей и является перспективным для замены устаревшего комплекса оборудования.

*M.I. Malenkov¹, N.K. Guseva¹, E.A. Lazarev¹, D.N. Kuz'menko¹,
I.Yu. Dal'yaev², A.V. Vasiliev²*

**BEGINNING AND DEVELOPMENT OF DESIGN TECHNOLOGIES
OF LOCOMOTION SYSTEMS OF PLANETARY ROVERS**

¹ STC "ROCAD"

*² Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
Saint-Petersburg
info@rocad.ru*

*М.И. Маленков¹, Н.К. Гусева¹, Е.А. Лазарев¹, Д.Н. Кузьменко¹,
И.Ю. Далаев², А.В. Васильев²*

**НАЧАЛО И РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
СИСТЕМ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ПЛАНЕТОХОДОВ**

¹ АО НТЦ «РОКАД»

*² ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
info@rocad.ru*

17 ноября 2020 года исполнится 50 лет первой в истории человечества лунной колее, которую проложил советский подвижный космический аппарат Луноход-1, доставленный на Луну космической станцией Луна-17. Создание и успешная эксплуатация этого аппарата на поверхности Луны, положило начало новому техническому направлению, которое А.Л. Кемурджиан – основатель отечественной школы разработчиков систем передвижения планетоходов, определил, как космическое транспортное машиностроение [1].

Почти 30 лет, до следующего успеха американского мобильного космического автомата Sojourner в 1997 году на Марсе, это определение казалось преувеличенным. Но в новом веке технологии изучения небесных тел контактными методами, с помощью подвижных роботов получили новые сильные импульсы в США, Китае, Индии, странах Европейского союза. Благодаря отдельным национальным и международным проектам не прекращалось развитие методов проектирования планетоходов и в отечественных коллективах на базе научно-технического задела, полученного при создании советских луноходов и роботов для передвижения по поверхности Марса и его спутника Фобоса.

Глубина освоения новых технологий определяется видом конечной продукции. Уникальность ситуации 60-годов заключалась в том, что инженеры, начав работу буквально с нуля, в течение нескольких лет прошли все стадии НИОКР, завершили исследования и проверили качество принятых технических решений на трассах Лунохода-1 в кратерах Моря Дождей. Удалось даже модернизировать отдельные блоки Лунохода-2 с учётом результатов эксплуатации

Лунохода-1! При этом сформировались не только отдельные специалисты, а, подчас, крупные молодые творческие коллективы. Некоторые технические решения тех лет стали классикой планетоходов, а иные идеи и подходы не потеряли актуальности до настоящего времени.

К сожалению, не все новации Лунохода-2, который работал на Луне с 16 января по 10 мая 1973 года оказались оправданными. Улучшился обзор местности по трассе движения благодаря дополнительной ТВ камере, поднятой на высоту роста человека. Новая схема блока автоматики шасси (БАШ), исключила отказы управляющих электромагнитов фрикционных тормозов мотор-колёс, что дало возможность двигаться со скоростью до 2-х км/час и повысило маневренность аппарата. Увеличилось количество приборов, объём и качество научной информации которых является показателем эффективности космической экспедиции.

Однако замена электромеханического гироскопа, успешно выполнившего функции датчика крена и дифферента в составе БАШ Лунохода-1 на датчик местной вертикали с жидкими компонентами привела к исключению возможности инструментального контроля положения подвижного аппарата на местности. Это привело к преждевременному прекращению работы Лунохода-2, который всего за три месяца прошёл по Луне в три с лишним раза больший путь (около 40 км), чем Луноход-1 (10,5 км за 10,5 месяцев. Несомненно, что рекорд Лунохода-2 по этому показателю, который только в 2016 году был превзойден американским аппаратом Opportunity на Марсе, мог бы превысить 100 км.

В новом веке перед отечественными инженерными коллективами ещё не ставились задачи создания реальных луноходов и марсоходов на основе современных технологий. Сейчас наиболее удачным завершением проектов является изготовление полно размерных ходовых макетов США. Однако зачастую эти макеты изготавливались по зарубежным контрактам, что существенно ограничивает возможность экспериментальной отработки конструкции и полноценного участия в ходовых испытаниях.

Так получилось, например, у АО НТЦ РОКАД, который в 2012 году в кооперации с ООО АКТРОН, разработал и поставил в Тулузский научно – технический центр CNES макет самоходного шасси марсохода с контейнером и мачтой для отработки в этом центре системы навигации и методов автономного вождения (рис. 1) [2]. США с удачной компоновкой блока трёх приводов, обеспечивающих вращение, шагание и разворот колёс относительно вертикальной оси, с лёгкой Т-образной рамой, и контейнером, в котором размещается БАШ и бортовая аппаратура, позволяет проводить наземные ходовые

испытания без разгрузки с имитацией статических режимов эксплуатации на Марсе марсохода массой до 350 кг. Важным преимуществом макета является автономность проектирования и отработки СШ и контейнера, которые соединяются при сборке с помощью стандартного крепежа. После сборки днище контейнера обеспечивает жёсткость и прочность конструкции, достаточные для сохранения работоспособности при воздействии динамических нагрузок. При этом собственная масса самоходного шасси (без БАШ) составила 60 кг [3].

Традиционным завершением исследований в наши дни является достаточно подробная разработка проектного облика планетохода и его отдельных систем, в первую очередь, системы передвижения, в виде 3D моделей. Так, в 2014-2016 годах в АО НТЦ «РОКАД» выполнены расчётные и компоновочные исследования, а также разработана полная электронная модель подвижной робототехнической системы «Помощник космонавта» (ПМ) в рамках проекта Минобрнауки № №14.576.21.0050. Отличительными особенностями проекта, главный итог которого - обоснование и разработка инновационного четырёх опорного СШ с комбинированным двигателем, унифицированного для условий Луны и Марса, являются полное дублирование носовых и кормовых компонентов системы навигации (СН), обеспечивающее равноценные условия обзора местности на прямом ходу и реверсе, двурукая манипуляционная система (ДМС) (рис. 2).



Рисунок 1 – Фрагмент ходовых испытаний макета Artemis на базе самоходного шасси с Т-образной рамой. Полигон Serom. M. Delpuch, ASTRA-2015

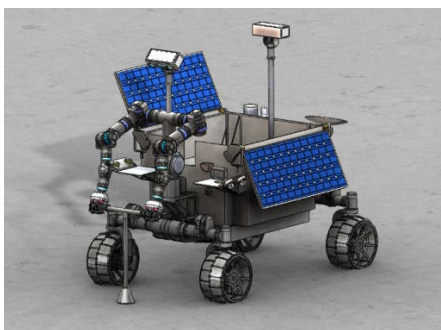


Рисунок 2 – Проектный облик «Помощника космонавта», моделирование оценки физико-механических свойств на трассе движения

Индустриальный партнёр – ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, обеспечил финансирование части исследований проекта и использует его результаты в новом проекте № 14.575.21.0143, уникальный идентификатор RFMEFI57517X0143, выполняемом в кооперации с АО НТЦ РОКАД. Цель проекта – создание экспериментального образца мобильно – транспортно – манипуляционной системы (МТМС), обладающей аппаратной и программной частью для локальной навигации и снабженной легкими габаритными макетами контейнера и навесного оборудования, имитирующими обстановку на борту при различных положениях Солнца во время реальной эксплуатации. В комплектации СШ МТМС будет одометр для непрерывного измерения пройденного пути и простой прибор оценки проходимости, что позволит проводить отработку алгоритмов автономно – автоматического вождения и комплексные испытания СШ без разгрузки на слежавшихся крупно зернистых песках со спокойным рельефом и характерными препятствиями.

Автономному вождению будут предшествовать ходовые испытания СШ с имитатором положения центра масс планетохода в гравитационном поле небесных тел и дистанционным управлением для оценки тягово - сцепных характеристик движителя в колёсном режиме движения с активной и пассивной подвесками, а также в колёсно – шагающем режиме с различными походками на грунтах при имитации всех параметров рельефа, свойственных районам исследований на Луне и Марсе. Будет отработана автоматическая система безопасности движения при опасности опрокидывания на косогорах и опасности зарывания колёс на мелко зернистых грунтах. Пройдут проверку новые компоненты ходовой части – колёса, рулевые механизмы и механизмы шагания. Статус проекта- разработка рабочей документации для изготовления образца (рис. 3).

Переход к четырём колёсным роботам [4], компенсирует увеличение массы ходовой части при включении в её состав приводных механизмов шагания. В то же время наличие режима колёсного шагания обеспечивает недостижимые для традиционного колёсного движителя показатели опорной проходимости и позволяет реализовать новые функции – разворачивание самоходного шасси из транспортировочного положения в рабочее и регулирование относительного положения колёс и корпуса по вертикали. Двухрукий манипулятор позволяет заменить космонавта при выполнении научных исследований и техническом обслуживании бортовой аппаратуры, например, для монтажа-демонтажа РИТов при суточных изменениях температуры окружающей среды.

Отсутствие реально выполняемых отечественных программ изучения и освоения Луны, Марса, других небесных тел с помощью

планетоходов приводит к утрате преемственности поколений, что особенно нежелательно для нашей страны, где сохранение технических архивов путём оцифровки не стали нормой. Впрочем, невозможно не заметить отсутствие преемственности и между американскими специалистами роверских технологий прошлого и нового века. Создание США Lunar Roving Vehicle (LRV) иллюстрировало практическую реализацию идей проектирования в рамках системы «местность – машина». Исключительно важное значение предавалось поиску наиболее точных моделей лунного грунта, дотошному исследованию вопросов взаимодействия с ним компонентов обода колеса – упругой проволочной сетки и закреплённых на ней шевронов. Буксование колёс допускалось не более 20%, дальнейшее увеличение считалось аварийным.

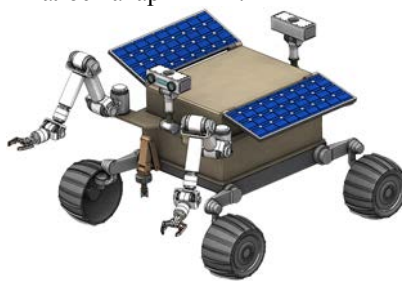


Рисунок 3 – Общий вид экспериментального образца мобильно-транспортно-манипуляционной системы (МТМС)



Рисунок 4 – Проектный облик американского марсохода, на базе США Curiosity, запуск которого намечен на июнь 2020 года

Достаточно сказать, что окончательные решения по конструкции обода своего великолепного колеса, разработчики ходовой части приняли после испытаний на лунном грунте, доставленном экспедицией Apollo-11. Только благодаря этой задержке в создании LRV, Луноходу-1 удалось стать первым, в истории человечества, веземным транспортным средством. Если бы американские разработчики колёс LRV были бы менее осторожными, мог быть потерян приоритет советской лунной колеи и Луноход-1 мог остаться в истории только как первая подвижная робототехническая лунная лаборатория.

При проектировании современных американских марсоходов, поднявших планку ресурса работы, качества оптико – электронной, цифровой и иной бортовой аппаратуры на немыслимую в прошлом веке высоту, тонкостям взаимодействия движителя с грунтом, контролю

буксования не придаётся бывалого значения. Об этом свидетельствуют, например, довольно небрежное исполнение конструкции беговых дорожек жёстких колёс марсоходов миссии MER (полная масса ≈ 180 кг) и колёс Curiosity (полная масса ≈ 900 кг), расчётная схема нагружения которых была сделана явно без участия марсианских геологов. Совершенно не видна работа системы безопасности движения марсоходов, остановка и реверс которых неоднократно производились тогда, когда колёса зарывались под ось в песчаных ловушках Марса. В докладе рассматриваются результаты диспропорции системы в сторону «машинны» и в ущерб «местности».

Зато отчётливо видна общая тенденция развития новой американской техники – унификация технических решений, максимальное использованием готовых компонентов, переход от дорогих единичных образцов к большим партиям с прицелом на массовое производство в дальнейшем. Так было с автомобилями, самолётами, ракетами, телефонами, так, видимо, будет и с США марсоходов, в постепенно расширяющейся линейке которых вполне могут найти свой типоразмер и производители различных видов наземных роботов.

Во всяком случае в конструкции США всех американских марсоходов используется подвеска типа Rocker – Bogie с двумя типами межбортовых механизмов синхронизации – дифференциалом или шарнирно-рычажным механизмом. Моторные блоки рулевых и тяговых приводов созданы на базе электродвигателей, планетарных редукторов датчиков скорости вращения, тормозов и блоков управления, имеющих в каталогах фирмы Maxon Motors. То же относится к волновым передачам, и целому ряду других компонентов, которые отличаются от серийной продукции только качеством, надёжностью, ресурсом и уровнем контроля.

Характерно, что американский марсоход массой 1050 кг, запуск которого планируется в 2020 году на 85% будет повторять конструкцию Curiosity с корректировкой неудачных элементов, но на нём будут установлены 7 новых приборов (рис.4). Схема подвески Rocker – Bogie использована в конструкции китайского лунохода Юйту, она заложена и в конструкцию проектируемого индийского лунохода. Такой подход является прагматичным, но, на наш взгляд, оптимальные решения ещё не реализованы, они в поиске.

1. А.Л. Кемурджиан – учёный, гражданин, человек. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2013. – С.69
2. M. Delpech. CNES robotics activities. Perception and navigation for planetary missions. ASTRA – 2015.

3. М.И. Маленков, В.А. Волов, Е.А. Лазарев. Методы и результаты анализа качества ходовой части планетоходов. Вестник Машиностроения. №7. – 2016. – С. 6-13.
4. Новые проектно-компоновочные решения для повышения подвижности планетоходов. М.И. Маленков, А.Н. Богачёв, В.А. Волов и др. Известия ЮФУ. Технические науки. Ростов на Дону. – 2017, № 1 - 2. – С. 42 – 54.

P.N. Vlasov, I.G. Sokhin, A.A. Kuritsyn
**PROBLEMS OF INTERACTION OF CREWS WITH
ANTHROPOMORPHOUS ROBOTIC ASSISTANTS IN FUTURE
SPACE MISSIONS**

*Yu.A. Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center, Star City,
Russia, i.sokhin@gctc.ru, a.kuricyn@gctc.ru*

Summary

Anthropomorphic robotic systems will be needed to support crews for performing flight operations during future deep space exploration. Such anthropomorphic robotic assistants (RAs) possess some advantages over other robotic systems. In particular, they can be remotely controlled in a master-slave mode when it is required to perform especially precise manipulations, peculiar to humans. When creating and using anthropomorphic robotic assistants during space missions, issues of ensuring an efficient interaction of expedition crew members and robots become topical. The paper considers the key ergonomic problems of the creation and the use of RAs and, also, presents the results of already performed experimental studies of the processes of controlling RAs in a master-slave mode in a virtual environment.

Keywords: anthropomorphic robotic assistant, exoskeleton, experimental ergonomic studies, virtual reality, flight operations, remote control, master-slave control mode.

П.Н. Власов, И.Г. Сохин, А.А. Курицын
**ПРОБЛЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭКИПАЖЕЙ
ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОСМИЧЕСКИХ МИССИЙ С
АНТРОПОМОРФНЫМИ РОБОТАМИ-ПОМОЩНИКАМИ**

*Научно-исследовательский испытательный центр подготовки
космонавтов имени Ю.А. Гагарина, Звездный городок, Россия
i.sokhin@gctc.ru, a.kuricyn@gctc.ru*

Аннотация

В ходе освоения дальнего космоса для поддержки деятельности экипажей при выполнении полетных операций потребуется

использование антропоморфных робототехнических систем. Такие антропоморфные роботы-помощники экипажей (РПЭ) имеют некоторые преимущества по сравнению с другими робототехническими конструкциями. В частности, ими можно дистанционно управлять РПЭ в копирующем режиме для выполнения особо точных манипуляций, свойственных человеку. При создании и применении антропоморфных роботов-помощников экипажей космических экспедиций актуальными становятся проблемы эффективной организации взаимодействия с ними космонавтов. В докладе рассматриваются основные эргономические проблемы, возникающие при создании и применении РПЭ, а также представлены результаты уже проведенных экспериментальных исследований процессов дистанционного управления антропоморфным РПЭ в виртуальной среде.

Ключевые слова: антропоморфный робот-помощник, экзоскелет, экспериментальные эргономические исследования, виртуальная реальность, полетная операция, дистанционное управление, копирующий режим управления

A.S. Yuschenko

COLLABORATIVE ROBOTICS: STATE OF ART AND OUTLOOK

Bauman Moscow State Technical University (BMSTU)
robot@bmstu.ru

The term “Collaborative Robotics” has been introduced some years ago for a class of manipulation robots working in industry together with human workers and safe for them. At a conveyor for example. But soon it turned out that area of collaborative human-robot work is sufficiently widen. The real problem is robotization of different aspects of practical activity of human. Taking into consideration a lot of scientific works and real projects connected with the problem it seems it necessary to come to some generalization to determine what is the collaborative robotic system (CRS) today and try to have an outlook of this branch of robotics.

Nowadays it is possible to determine the next classes of CRS:

a) Manipulation robots – assistants working together with human in the same working space to help him in some operations – technological, medical and other.

b) Mobile robots-partners controlled by human in the space containing both the master as other people and technical objects including the moving ones. Also robot-assistants of disabled, robots – security etc.

c) Some generalization of a previous class forms the multiagent robotic system controlled by human. For example a multiagent CRS for environment monitoring, rescue operations.

d) Modern information systems make it possible for human operator to be immersed into virtual reality to be present at the working scene of a distant robot (robot-avatar).

It is possible to determine the general peculiarities of the collaborative robotic system. First of all it is physical safety for human – both for the human operator as for other people turned out in the working area by accident. The second is the information security to prevent the control for somebody alien. The third property is the relative autonomy of CRS allowing the human – master to restrict the control activity with general commands and advices. In the case of mobile robot – partners it demands application of special autonomous navigation systems and algorithms of collision avoidance with the obstacles both the stable and moving. In the case of manipulation robots protection against the the collision with the human’s arms and body is also necessary as physically as by special algorithms. The fourth condition is the easiness of the CRS control which makes it possible for human-partner without complicated previous training. It proposes application of direct

speech control in form of bilateral human-robot speech dialogue. In its turn the speech dialogue is connected with the problems of speech recognizing and speech understanding. At last the problem of emotional accompaniment of speech arouses necessary for reliability of the speech dialogue. It is also useful for control of human operator condition and adequacy of the commands and resolutions. At a close outlook the problem of ethics of CRS activity in human socium arises.

Some of the results achieved in Center “Robototekhnika” BMSTU are included in the presentation. Among them the dialogue system “human-robot” developed on the base of linguistic variables and fuzzy logic. Information presentation with a semantic map of the working space. Robot movement planning in the space including stable and moving obstacles using the forecast of possible situation modification. The task of autonomous return of a missed robot to the master via visual odometry algorithms. The multiagent CRS control by human-operator using a direct dialogue modification. At last some aspects of emotional support of the dialogue together with the operator’s emotional state evaluation.

А.С. Ющенко

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ КОЛЛАБОРАТИВНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, robot@bmstu.ru

Термин «коллоративные роботы» был введен несколько лет тому назад для обозначения класса манипуляционных роботов, предназначенных для совместной и безопасной производственной работы совместно с человеком в общей рабочей зоне, в том числе, на конвейере. Однако сразу выяснилось, что область задач, в которых роботы должны функционировать совместно с человеком значительно шире. По существу, речь идет о социально-технической проблеме роботизации обширной сферы практической деятельности человека. Учитывая большое количество научных работ и реальных проектов, так или иначе связанных с этой проблемой, возникла необходимость сделать некоторые обобщения, определить, что же сегодня мы понимаем под коллаборативной робототехнической системой (КРТС) и сформулировать ближайшие перспективы этого направления.

На данный момент можно выделить следующие классы КРТС:

а) Манипуляционные роботы-ассистенты, функционирующие совместно с человеком в той же рабочей зоне и оказывающие ему помощь при выполнении операций (технологических, медицинских и др.).

б) Мобильные роботы-партнеры, функционирующие под контролем человека в рабочей зоне, в которой находятся, помимо

пользователя, другие люди и технические объекты, в том числе, мобильные. К этому классу относятся также роботы, сопровождающие человека с ограниченными физическими возможностями, роботы-охранники.

в) Обобщением предыдущего класса может служить робототехническая система, включающая группу мобильных роботопартнеров, совместно выполняющих определенное задание под контролем человека. Это может быть мониторинг внешней среды, спасательные работы, задачи военного характера.

г) Современные информационно-сенсорные системы позволяют человеку «погружаться» в виртуальную реальность, как бы присутствуя на рабочей сцене удаленного робота, что позволяет использовать термин роботы-аватары.

Можно определить общие признаки, при которых робот, или робототехнический комплекс может быть отнесен к коллаборативной робототехнике. Прежде всего, это физическая безопасность для человека, - как партнера, так и любого другого, случайно оказавшегося в зоне работы технической системы. Во-вторых – информационная безопасность, не позволяющая «перехватить» управление несанкционированному пользователю. В третьих – относительная автономность КРТС, позволяющая человеку ограничиться общими командами и указаниями, вместо того, чтобы непосредственно управлять движениями робота, как это обычно происходит сегодня при дистанционном управлении. В случае применения мобильных роботопартнеров предполагается наличие систем автономной навигации, способов избежать столкновения с препятствиями, как неподвижными, так и движущимися. В случае манипуляционных роботов – наличие как физической, так и программной защиты от соударений с руками и корпусом человека. Четвертое условие – это легкость, доступность управления, позволяющая работать с КРТС человеку, не владеющему специальной подготовкой. Это условие предполагает возможность голосового, речевого управления, которое в условия неполной определенности приобретает форму речевого диалога. В свою очередь, организация речевого диалога влечет за собой проблему распознавания и, что более важно, правильного понимания указаний оператора. Наконец, если говорить о ближайших перспективах, возникает задача эмоционального сопровождения речи (робота и оператора), значительно повышающая надежность понимания, а также позволяющая оперативнее оценить состояние оператора, его работоспособность, правильность принимаемых решений. Имея в виду более удаленную перспективу роботизации общества, нельзя недооценивать необходимость оценки этических норм поведения роботов в человеческом социуме.

Некоторые из разработанных в НЦР «Робототехника» МГТУ им. Н.Э. Баумана решений тех задач, которые перечислены выше, рассмотрены в докладе. В том числе, способы организации диалога «человек-робот» с использованием лингвистических переменных и нечеткой логики. Информационное обеспечение работы КРТС с применением семантической карты рабочей сцены. Организация планирования движения при наличии подвижных препятствий, предусматривающая предсказание возможных перемещений объектов в рабочей зоне. Задача автоматического возвращения к оператору «потерявшегося» робота, запоминающего свой маршрут робота с помощью визуальной одометрии. Организация работы многоагентной КРТС, решающей общую задачу в процессе диалога с оператором. Наконец, задачи эмоционального сопровождения диалога, оценки (роботом) состояния человека-партнера с последующей коррекцией рабочей программы.

R.S. Timofeev

INDUSTRIAL ROBOTICS TRENDS

*Kawasaki Robotics/Robowizard, St-Petersburg
rt@kawasakirobot.ru*

Р.С. Тимофеев

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПРОМЫШЛЕННОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ

*Kawasaki Robotics/Робовизард, Санкт-Петербург
rt@kawasakirobot.ru*

Четвертая промышленная революция предъявляет новые требования к современной промышленной робототехнике: простота внедрения и эксплуатации, гибкость и мобильность, коллаборативность, интеграция с информационными системами предприятия, работа с большими данными. Анализируются основные тенденции в современной промышленной робототехнике, связанные с удовлетворением этим требованиям.

Рассматриваются передовые разработки Kawasaki Robotics: коллаборативные роботы duAgo, система Successor.

Дается анализ ситуации на мировом и российском рынке промышленных роботов. Приводятся примеры внедрения промышленных роботов на российских предприятиях.

A.Y. Sedov, I.B. Pryamitsyn, O.A. Shmakov
CATERPILLAR TRACK FOR SMALL MOBILE ROBOT

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
a.sedov@rtc.ru, pib@rtc.ru, shmakov@rtc.ru*

А.Ю. Седов, И.Б. Прямицин, О.А. Шмаков
**ГУСЕНИЧНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ МАЛОГАБАРИТНОГО
МОБИЛЬНОГО РОБОТА**

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

В настоящее время в мире наблюдается активное развитие мобильной малогабаритной роботизированной техники для проведения мероприятий по досмотру, наблюдению и манипулированию различного рода объектами и инструментами. В качестве платформ для наземных роботизированных комплексов наиболее широко распространены шасси с колесными и гусеничными движителями.

В ходе реализации гусеничных движителей шасси имеет место выбор типа зацепления и способа реализации гусеничных лент, определяющий ключевые характеристики надежности, проходимости и стоимости изделия. В статье раскрыта проблематика невозможности полноценного переноса характеристик тяжелых шасси на гусеничном ходу, применяемых в танковой и вездеходной технике. Описана проблематика применения классических конструкторских решений построения гусеничных лент, приводных звездочек, ленивцев и систем подрессоривания и амортизации. Предлагаемые решения аналитически и теоретически обоснованы, а также учитывают опытную эксплуатацию некоторых образцов техники с определенными характеристиками.

V.K. Abrosimov, V.V. Eliseev
**INTELLIGENT AGROROBOT FOR GOALS OF PRECISION
FARMING**

*LLC NTC "RoboPROB", Moscow
avk787@yandex.ru*

В.К. Абросимов, В.В. Елисеев
**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АГРОРОБОТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

*ООО Научно-технический центр «РобоПРОБ», Москва
avk787@yandex.ru*

В вопросах моделирования задач точного земледелия приоритет отдается агрохимическому анализу почв, как источнику объективной информации, и созданию электронных карт пригодности полей, что рассматривается как одна из важнейших комплексных задач точного земледелия. При решении таких задач необходима очень высокая сантиметровая планово-высотная точность полей с ежегодной повторяемостью результатов (в плане - до 1 см, по высоте до 5 см).

Применительно к задачам точного земледелия к агротехническим средствам предъявляются следующие основные требования: точность позиционирования - не хуже 20 см, скорость движения - не менее 15-20 км/час, функционирование в формате 24*7*365, возможность беспроводной связи, минимальное воздействие на почву.

Авторами развивается идея разработки линейки небольших по размерам, но эффективных роботов с интеллектуальной системой управления в интересах решения разнообразных сельскохозяйственных задач (агророботов). Предполагается, что на таких роботах могут устанавливаться почвоотборники различного типа, оборудование для внесения удобрений, уничтожения сорняков и вредителей и др. Инновационным элементом является установка на агробота беспилотного летательного аппарата, оснащенного видео и фото камерами высокого разрешения для дистанционных исследований, производства работ по разведке местности, контролю решения задач агроботом. Агророботы оборудуются системами навигации, технического зрения, связи, анализа данных в режиме on-line.

Для придания роботу интеллектуальных свойств реализуются следующие подходы.

а) В Интернете формируется специальный облачный ресурс "ситуационной осведомленности", содержащий сведения об истории обрабатываемого участка пашни, текущем агрохимическом составе почвы, данных о применяемых агротехнологиях, особенностях планируемой к посеву культуры и др. Математическая модель облака

ситуационной осведомленности разрабатывается как типовая база знаний с продукционными правилами вывода. Система представления и извлечения знаний робота заключается в том, что он с помощью собственных систем технического зрения может добывать и "выкладывать" в облако ситуационной осведомленности необходимую для решения задач информацию, а также запрашивать из облака необходимые данные путем специально организованных запросов-протоколов.

б) Задачи разработки наземного маршрута мониторинга роботом сельхозугодий и полетного задания беспилотнику ставятся как задачи маршрутизации. Для формирования маршрута в системы управления объектов закладывается муравьиный алгоритм [1], позволяющий эффективно и субоптимально определить маршрут, причем с учетом необходимости замены точек обхода и изменения порядка обхода в процессе on-line.

в) Предполагается, что в качестве одной из инновационных функций агроробота будет собственное проектирование Плана решения задачи мониторинга сельхозугодий или производства определенных работ, описанной Заказчиком в общем виде (в долгосрочной перспективе даже словесно). Для обучения и создания Планов решения задач разрабатывается специальный модуль прогноза и поиска решения на основе нейронной модели с ансамблевой организацией.

г) Предполагается, что агроробот функционирует не отдельно, а в информационно-коммуникационной среде других агротехнических устройств и задач сельскохозяйственного предприятия. Поэтому все функции агроробота представляются в виде информационных и активных сервисов, что позволяет реализовать сервисные модели их востребованности и использования.

Большая часть перечисленных функций разрабатываемого агроробота так или иначе связаны с постановками и методами решения задач интеллектуального управления, в перспективе решаемых полностью в автоматическом режиме (на Оператора мы возлагаем только задачи контроля функционирования устройства). формирует и предлагает План проведения работ. Указанное образует интеллектуальную составляющую робота, что позволяет рассматривать его как интеллектуального агента в смысле [2].

1. Абросимов В.К. Коллективы интеллектуальных летательных аппаратов: монография. – М.: Издательский Дом «Наука», 2017.- 304с.
2. Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В. Многоагентные системы (обзор) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://spkurdyumov.ru/networks/mnogoagentnye-sistemy-obzor/>

S.M. Shpolyanskiy, A.Y. Sedov
**CONSTRUCTIVE FEATURES OF THE THROWABLE CRAWLER
ROBOTIC PLATFORMS**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
s.shpolyanskiy@rtc.ru, a.sedov@rtc.ru*

С.М. Шполянский, А.Ю. Седов
**КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗАБРАСЫВАЕМЫХ
ГУСЕНИЧНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
s.shpolyanskiy@rtc.ru, a.sedov@rtc.ru*

В настоящее время мобильные робототехнические платформы активно используются для сбора информации в труднодоступных или опасных для человека местах. В связи с этим становится особо актуальной задача разработки и создания легкого забрасываемого робота повышенной проходимости на гусеничном шасси. Платформы данного типа позволяют осуществлять инспектирование, например, завалов в результате техногенных и геологических катастроф. Существенным преимуществом таких изделий является легкий и безопасный способ доставки путем забрасывания (например, в здание – через оконный проем) или сброса (с БПЛА) на участок, который необходимо инспектировать.

В статье представлен краткий обзор существующих забрасываемых малогабаритных робототехнических платформ и проанализированы наиболее критичные условия падения робота. В ходе анализа определены детали и узлы конструкции, способные демпфировать значительную часть ударных нагрузок в процессе эксплуатации. Для подтверждения данных, полученных аналитически, произведены оценочные расчеты нагрузок на узлы платформы, возникающих в результате падения робота с высоты 5 м. По результатам расчетов подобраны материалы валов, корпуса, гусеничных катков, наиболее эффективно воспринимающие высокие ударные нагрузки, составлена кинематическая схема малогабаритной робототехнической платформы, определены критерии подбора конструкционных материалов и предложена кинематическая схема узлов и агрегатов платформы, учитывающая ударные нагрузки.

*A.N. Vlasenko, A.Y. Ivashева, O.E. Lapin, V.G. Mikutsky,
P.V. Semenikhin*
**SYSTEM FOR AUTONOMOUS RADIATION MONITORING
AROUND NUCLEAR POWER PLANT**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
p.semenihin@rtc.ru*

*А.Н. Власенко, А.Ю. Ивашева, О.Е. Лапин, В.Г. Микуцкий,
П.В. Семенихин*
**СИСТЕМА ДЛЯ АВТОНОМНОГО МОНИТОРИНГА
РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ВОКРУГ АТОМНОЙ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

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

Атомные электростанции являются источниками повышенной опасности. Большой интерес представляет оценка влияния работы атомной станции на окружающую среду. Помимо контроля непосредственно работоспособности атомной электростанции, также необходимо проводить мониторинг радиационной обстановки на территории вокруг станции.

Для проведения радиационного мониторинга в автономном режиме предлагается система на основе беспилотного летательного аппарата коптерного типа, оборудованного гамма-спектрометром.

В качестве детектора предлагается использовать сцинтилляционный детектор с кристаллом $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ отечественного производства. Такой детектор обладает лучшим энергетическим разрешением и более высокой чувствительностью при тех же массовых характеристиках по сравнению со стандартно используемыми сцинтилляторами на основе $\text{NaI}(\text{Tl})$. Второй возможный вариант: применение полупроводникового детектора CdZnTe . Конструктивной особенностью такого детектора по сравнению со сцинтилляторами является отсутствие фотоэлектронного умножителя. При этом детектор на основе CdZnTe будет компактнее и легче сцинтилляционного при аналогичных технических характеристиках.

Уменьшение массы используемого детектора приводит к увеличению длительности полета беспилотного летательного аппарата.

E.S. Briskin, Y.V. Kalinin, M.V. Miroshkina
**WAYS OF MINIMIZE ENERGY COSTS FOR THE WALKING
ROBOTS MOVEMENT AT ITS DISPLACEMENT ALONG A
COMPLEX PROFILE**

*Volgograd State Technical University, Volgograd
mariatiminen@yandex.ru*

Е.С. Брискин, Я.В. Калинин, М.В. Мирошкина
**ПУТИ МИНИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ПЕРЕМЕЩЕНИЕ
ШАГАЮЩЕГО РОБОТА ПРИ ЕГО ДВИЖЕНИИ ПО
СЛОЖНОМУ ПРОФИЛЮ**

*Волгоградский государственный технический университет,
г. Волгоград, mariatiminen@yandex.ru, platonov.vitaliy@yandex.ru*

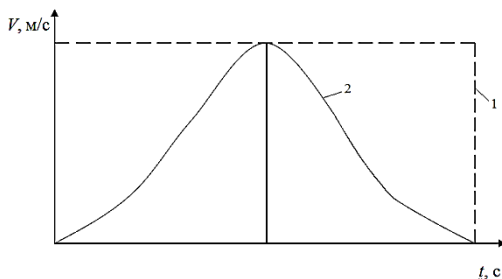
В настоящее время шагающие машины широко распространены в сферах гражданского и военного применения. Это обусловлено тем, что использование шагающих роботов является наиболее эффективным по сравнению с гусеничными и колесными машинами.

Одной из проблем развития и широкого применения шагающих машин являются высокие энергозатраты на перемещение мобильного робота. Причиной высоких энергозатрат является характер движения шагающей машины. Представителем шагающих роботов является экспериментальный аппарат «Ортоног», разработанный сотрудниками кафедры «Теоретическая механика» ВолгГТУ и АО «ФНПЦ «Титан-Баррикады».

Характер движения шагающей машины можно подробно рассмотреть на примере данного мобильного робота. Ходовая часть робота представлена четырьмя блоками ортогональных шагающих движителей. Во время подъёма и переноса в новое положение одной группы из четырёх движителей другая группа работает в тяговом режиме и перемещает корпус робота с переносимой группой движителей вперёд. Таким образом, во время движения «Ортоног» попеременно использует приводы вертикальных перемещений, а механизмы горизонтальных работают постоянно в тяговом или переносном режиме.

В результате анализа работы механизмов горизонтальных перемещений в тяговом или переносном режиме [1] и работы приводов вертикальных перемещений, определения зависимости, обеспечивающей наибольшую энергоэффективность при данной работе [2] можно сделать вывод, что и вертикальные, и горизонтальные движения ноги «Ортонога» имеют строго прямолинейное направление. Отсюда следует, что решением проблемы минимизации энергозатрат на перемещение робота является изменение режима работы приводов

мобильного робота. Режим движения шагающей машины необходимо организовать таким образом, чтобы в процессе переноса стопа движителя совершала не прямолинейное движение, а движение по криволинейной траектории, т.е. нога робота должна подниматься в определённом месте перед препятствием с необходимой скоростью и опускаться после его преодоления (рисунок 1).



- 1 – преодоление препятствия при прямолинейном движении;
 2 – преодоления препятствия по криволинейной траектории.

Рисунок 1 – Схема организации движения опорной точки движителя шагающего робота

Данное движение можно осуществить путем сочетания работы механизмов горизонтальных и вертикальных перемещений. Таким образом, при одновременной работе приводов энергозатраты должны принимать минимальное значение. Для достижения решения сформулированной задачи необходимо определить значение скорости, с которой будет осуществляться подъем ноги в зависимости от расстояния до препятствия и его высоты, разработать систему управления для организации данного вида движения и доказать экспериментальным путем, что при таком перемещении шагающего робота энергозатраты будут минимальны.

1. Калинин, Я.В. Оценка энергетической эффективности шагающих машин с цикловыми движителями / Я.В. Калинин, Е.С. Брискин // XIV региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области (Волгоград, 10-13 нояб. 2009 г.) : тез. докл. / ВолгГТУ [и др.]. - Волгоград, 2010. - С. 54-56.
2. Об управлении адаптацией ортогональных шагающих движителей к опорной поверхности / Е.С. Брискин, Я.В. Калинин, А.В. Малолетов, В.А. Серов, С.А. Устинов // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. - 2017. - № 3 (май-июнь). - С. 184-190.

A.V. Zuev, V.F. Filaretov, A.N. Zhirabok
DEVELOPMENT AND RESEARCH OF THE SYSTEM OF
TYPICAL FAULT DIAGNOSIS IN ELECTRIC DRIVES OF
MANIPULATORS

*Institute of Automation and Control Processes FEB RAS / Far Eastern
Federal University, Vladivostok, Russia
zuev@dvo.ru, filaret@dvo.ru, zhirabok@mail.ru*

А.В. Зуев, В.Ф. Филаретов, А.Н. Жирабок
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТИПОВЫХ ДЕФЕКТОВ В
ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ МАНИПУЛЯТОРОВ

*Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН /
Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток
zuev@dvo.ru, filaret@dvo.ru, zhirabok@mail.ru*

Сейчас функциональное диагностирование [1] является одним из перспективных средств повышения эффективности эксплуатации робототехнических объектов различного вида и назначения. Оно позволяет производить проверку правильности функционирования этих объектов в процессе выполнения ими своих основных функций и оперативно поставлять информацию о возникающих сбоях и дефектах.

В настоящем докладе рассмотрен вопрос синтеза эффективной системы диагностирования типовых дефектов, появляющихся в электроприводах манипуляторов, описываемых нелинейными дифференциальными уравнениями. Предложенная система диагностирования основана на использовании диагностических наблюдателей, построенных с помощью логико-динамического подхода, позволяющего применять линейные методы при диагностировании нелинейных объектов. Для точного определения в реальном масштабе времени величин появляющихся дефектов в наблюдатели, которые в общем случае могут быть произвольной размерности, предложено вводить специальную обратную связь по сигналу невязки, которая обеспечивает работу наблюдателя в скользящем режиме.

1. Blanke M., Kinnaert M, Lunze J., Staroswiecki M. Diagnosis and Fault-Tolerant Control. Berlin: Springer-Verlag. 2006.

S.I. Savin, A.V. Vorochaev, D.Yu. Medvedev
**STUDY OF THE INFLUENCE THE PARAMETERS OF ELASTIC
DRIVES HAVE ON THE PERFORMANCE OF THE CONTROL
SYSTEM OF A HUMANOID ROBOT**

South West State University, Kursk, Russia
savinswsu@mail.ru

С.И. Савин, А.В. Ворочаев, Д.Ю. Медведев
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК УПРУГИХ
ПЕРЕДАЧ НА КАЧЕСТВО РАБОТЫ АНТРОПОМОРФНОГО
РОБОТА**

Юго-Западный государственный университет, Курск
savinswsu@mail.ru

В настоящее время продолжается активное развитие технологий, связанных с проектированием и управлением антропоморфными шагающими роботами. Внимание к таким механизмам обусловлено, в том числе, возможностью использовать существующую инфраструктуру, построенную для использования людьми, что позволит упростить и снизить стоимость повсеместного внедрения таких устройств для автоматизации различных процессов.

В этой работе исследуем влияние упругости передачи на качество работы системы управления, подразумевая, что модель робота, используемая системой управления, не учитывает влияния этой упругости, рассмотрим способ моделирования такого механизма.

В рамках данной работы остановимся на одной из наиболее простых схем, моделирующих робота, перемещающегося в сагитальной плоскости, как трезвенный механизм.

Предлагаемая математическая модель робота имеет вид:

$$\begin{cases} \mathbf{H}\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{c} = \mathbf{B}\mathbf{u}_s \\ \mathbf{H}_s\ddot{\mathbf{q}}_s = \mathbf{u} - \mathbf{u}_s \\ \mathbf{u}_s = \mathbf{C}_p(\mathbf{q} - \mathbf{q}_s) + \mathbf{C}_d(\dot{\mathbf{q}} - \dot{\mathbf{q}}_s) \end{cases} \quad (1)$$

где \mathbf{q} – вектор обобщенных координат, \mathbf{H} – обобщенная матрица инерции робота, \mathbf{c} – вектор моментов Кориолисовых и нормальных сил инерции, диссипативных сил и сил тяжести, \mathbf{B} – матрица, преобразующая моменты, действующие в шарнирах робота, в вектор обобщенных моментов, \mathbf{u}_s – вектор моментов, действующих в шарнирах робота (моментов, передаваемых упругой передачей), \mathbf{u} – вектор моментов, генерируемых электроприводами робота, \mathbf{q}_s – вектор координат, определяющий ориентации валов приводов, \mathbf{H}_s –

диагональная обобщенная матрица инерции для валов приводов, \mathbf{C}_p и \mathbf{C}_d – матрицы упругости и диссипации, определяющие свойства упругой передачи.

Рассмотрим управляемое движение исследуемого робота, при перемещении по заданной траектории. Будем использовать траектории движения, реализующие вертикализацию робота, предложенные в работе [1], полученные путем аналитического решения обратной задачи кинематики для заданной траектории движения центра масс. Для управления роботом будем использовать итеративный линейный квадратичный регулятор (ИЛКР).

Для исследования влияния значений параметров \mathbf{C}_p , \mathbf{C}_d и \mathbf{H}_s на качество работы САУ робота примем допущение, что все валы приводов идентичны: $\mathbf{C}_p = c_p \mathbf{I}$, $\mathbf{C}_d = c_d \mathbf{I}$ и $\mathbf{H}_s = h_s \mathbf{I}$. Для оценки качества работы системы управления будем использовать квадратичную аддитивную целевую функцию:

$$\mathbf{J} = \int (\mathbf{x} - \mathbf{x}^*)^T \mathbf{Q} (\mathbf{x} - \mathbf{x}^*) + (\mathbf{u} - \mathbf{u}^*)^T \mathbf{R} (\mathbf{u} - \mathbf{u}^*) dt, \quad (3)$$

где \mathbf{Q} и \mathbf{R} – весовые матрицы, \mathbf{u}^* – значение управляющих воздействий, получаемых решением обратной задачи динамики, $\mathbf{x} = [\mathbf{q}^T \quad \dot{\mathbf{q}}^T]^T$, \mathbf{x}^* – желаемое значение \mathbf{x} .

На рисунке 1 показан контурный график поверхности $\bar{\mathbf{J}}_h(c_p, c_d)$, полученной при $h_s = 0.5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

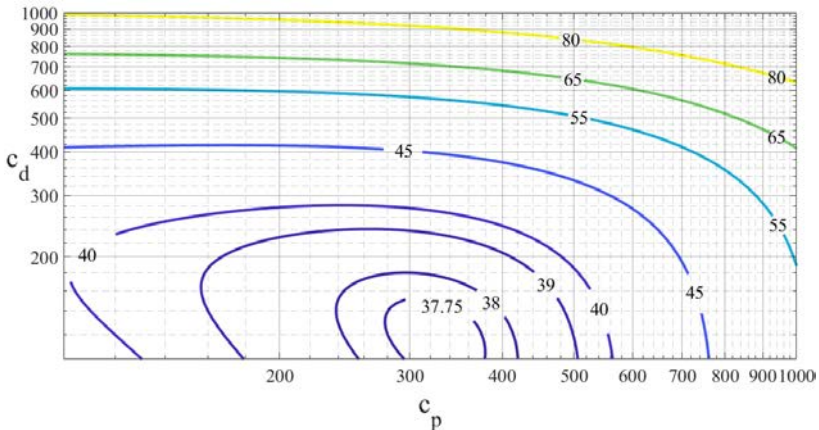


Рисунок 1 – Контурные графики поверхности $\bar{\mathbf{J}}_h(c_p, c_d)$

Полученный результат, а также другие, не приведенные здесь результаты моделирования, указывают на наличие у поверхности

глобального минимума, что позволяет рассматривать задачу подбора параметров упругой передачи как задачу оптимизации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-38-00140\18.

1. Jatsun, S., Savin, S., Yatsun, A. and Malchikov, A., 2016. Study of Controlled Motion of Exoskeleton Moving from Sitting to Standing Position. In *Advances in Robot Design and Intelligent Control* (pp. 165-172). Springer International Publishing.

V.L. Afonin, A.N. Smolentsev, M.G. Yakovlev
**INTELLIGENT ROBOTIC COMPLEX FOR FINISHING
COMPLEX SURFACES**

Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute of RAS, Moscow
afoninwl@rambler.ru.

В.Л. Афонин, А.Н. Смоленцев, М.Г. Яковлев
**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ
КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ СЛОЖНЫХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ**

ИМАШ РАН, Москва
afoninwl@rambler.ru.

В предлагаемом докладе дается описание технологической операции финишной обработки проточной части пера лопаток ГТД. На основе анализа данных операций дается обоснование необходимости интеллектуального управления для робототехнического комплекса, выполняющего данную операцию. Данное утверждение подтверждается тем, что каждую деталь, поступающую на операцию финишной обработки, необходимо выполнять по индивидуальной программе.

Рассматривается структура интеллектуальной экспертной системы, основанной на правилах, для выполнения технологической операции обработки пера лопаток ГТД. Робототехнический комплекс для выполнения данной операции включает промышленный робот, либо робот-станок, оптическую дистанционную систему контроля качества и геометрических параметров обрабатываемой поверхности. Интеллектуальная система управления комплексом, используя базу знаний и базу данных, информацию с оптической системы контроля, а также разработанное программное обеспечение, позволяет для каждой детали, поступающей на финишную операцию, сформировать индивидуальную программу обработки.

*A.D. Kulichenko*¹, *E.Yu. Smirnova*²
**POSSIBLE APPLICATION OF HETEROGENEOUS ROBOT
GROUP TO SEARCH AND LOCALIZATION OF IONIZING
RADIATION SOURCES**

¹ *Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
Saint-Petersburg, a.kulichenko@rtc.ru*

¹ *Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU),
Saint-Petersburg, Russia, art.kulichenko@gmail.com*

² *Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
Saint-Petersburg, eus@rtc.ru*

*А.Д. Куличенко*¹, *Е.Ю. Смирнова*²
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ
ГЕТЕРОГЕННОЙ ГРУППЫ РОБОТОВ ДЛЯ ПОИСКА И
ЛОКАЛИЗАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО
ИЗЛУЧЕНИЯ**

¹ *ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, a.kulichenko@rtc.ru*

¹ *Санкт-Петербургский политехнический университет Петра
Великого, Санкт-Петербург, Россия, art.kulichenko@gmail.com*

² *ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия, eus@rtc.ru*

Труд посвящен вопросам исследования возможностей применения комбинированной группы роботов выполняющих свои задачи, для достижения поставленной цели (задачи), в разных средах. Объектом исследования являются гетерогенная группа роботов, а исследования проводятся на примере задачи поиска источников ионизирующего излучения (ИИИ).

Выявлены недостатки существующих решений по поиску и локализации ИИИ. В процессе работы проводились исследования продолжительности и результативности выполнения операции одним роботом и группой с помощью программы математического моделирования. В результате исследования определена методика поиска ИИИ с заданной точностью, приведено обоснование повышения эффективности. Произведен выбор и обоснован состав группы роботов достаточный 100% вероятностью выполнения задачи.

V.I. Syryamkin ¹, V.I. Gutsul ², I.S. Firsov ³, M.V. Syryamkin ⁴
DEVELOPMENT OF THE CATERPILLAR ROBOT FOR ENVIRONMENTAL MONITORING

^{1,4} *National research Tomsk State University, Tomsk*

² *Seversk branch FSUE «Emergency Technical Center of Minatom of Russia», St. Petersburg, seversk@nwatom.ru*

³ *National research Tomsk State University, Tomsk, ivan09031@gmail.com*

В.И. Сырямкин ¹, В.И. Гуцул ², И.С. Фирсов ³, М.В. Сырямкин ⁴
РАЗРАБОТКА РОБОТА НА ГУСЕНИЧНОМ ХОДУ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

^{1,4} *Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск*

² *Северский филиал ФГУП «Аварийно-технический центр Минатома России», Санкт-Петербург, seversk@nwatom.ru*

³ *Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, ivan09031@gmail.com*

Робототехника – одно из перспективных направлений вычислительной техники. Роботы нашли применение во многих областях промышленности, научно-исследовательской деятельности, и других сферах деятельности человека.

В настоящее время в мире разработано и широко используется большое семейство различных роботов, заменивших людей на опасных для здоровья и тяжелых физических работах [1].

Одной из основных задач применения робототехнических комплексов (РТК) является исследование окружающей среды при чрезвычайных ситуациях (ЧС), в частности при радиационных и химических загрязнениях [2].

Выполнение этих задач связано с опасностью получения химического отравления или радиационного облучения персоналом, который привлекается при ликвидации ЧС [3]. Одним из видов робототехнических комплексов для решения данной проблемы являются комплексы на базе гусеничных платформ [4–6].

Робототехнические комплексы наземного типа предназначены для проведения различного вида работ в условиях, опасных для пребывания человека. Основными преимуществами данного типа являются высокая грузоподъемность и длительный режим работы от аккумулятора без подзарядки. Допускают работу по длинному кабелю от внешнего источника питания.

ПС-04р состоит из подвижного аппарата на 2-х гусеничном шасси (см. рис. 1) повышенной проходимости и мобильного поста управления.



Рисунок 1 – Гусеничная платформа

На корпусе установлено подъемное устройство с платформой в верхней части, предназначенное для размещения обзорной видеокамеры и других устройств, 2 видеокамеры управления, цифровая поворотная видеокамера малой дальности с оптическим зумом, аналоговая поворотная камера повышенной четкости, цифровая HD записывающая камера, стационарное оборудование радиационной разведки с датчиком GPS, навесное оборудование для радиационной разведки, аппаратура радиоуправления и передачи цифровой информации.

Управление ПС-04р осуществляется с поста управления специально оборудованного автомобиля или с переносного поста. Оба поста имеют в своем составе телевизионный монитор и видео-очки для дистанционного управления, компьютер для вывода карты радиационной обстановки.

1. В.И. Сырякин. Интеллектуальные робототехнические и мехатронные системы: учеб. пособие – Томск, 2017. – 256 с.
2. Л.А.Торгашов, В.И. Гуцул, С.В. Романенко. Разработка и создание робототехнической платформы повышенной проходимости, как элемент обеспечения ликвидации чрезвычайных ситуаций // Вестник науки Сибири. 2013. № 4 (10). – с. 104-108
3. Радиационная безопасность. Рекомендации МКРЗ 1990 г. Публ. 60, ч. 2 МКРЗ: пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 207 с.
4. Шахинпур М. Курс робототехники: пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 526 с.
5. Фу К., Гансалес Ф., Лик К. Робототехника: пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 624 с.
6. Кочтюк В.И., Гавриш А.П., Карлов А.Г. Промышленные роботы: конструирование, управление, эксплуатация. – Киев: Вища школа, 1985. – 359 с.

D.A. Gromoshinskii, A.M. Zhukov, A.V. Popov, E.Yu. Smirnova
**PROVIDING SAFE GROUND SAMPLING INSIDE THE WORKING
ZONE OF A MANIPULATOR WITH COMPUTER VISION**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
d.gromoshinskiy@rtc.ru, a.zhukov@rtc.ru, apopov@rtc.ru*

Д.А. Громошинский, А.М. Жуков, А.В. Попов, Е.Ю. Смирнова
**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОГО ЗАБОРА ПРОБЫ ГРУНТА В
РАБОЧЕЙ ЗОНЕ МАНИПУЛЯТОРА С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ
ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
d.gromoshinskiy@rtc.ru, a.zhukov@rtc.ru, apopov@rtc.ru*

Одной из задач экстремальной робототехники является взаимодействие робота с подстилающей поверхностью. Для обеспечения безопасности такого взаимодействия при заборе пробы грунта с помощью манипулятора робототехнического комплекса, возможно использование ряда сенсоров для определения наличия объектов в рабочей зоне манипулятора и оценки расстояния до них. В качестве таких сенсоров могут выступать: телевизионная камера, лазерный дальномер, а также ультразвуковой датчик. В данной работе в качестве сенсора выбрана телевизионная камера, установленная на конечном звене манипулятора.

Для определения трехмерных координат точки забора пробы и нормали к подстилающей поверхности в данной точке, с помощью камеры производится два или несколько снимков подстилающей поверхности в различных положениях манипулятора. По полученным снимкам с помощью разработанного программно-алгоритмического обеспечения производится стерео реконструкция подстилающей поверхности. Полученные таким образом трехмерные координаты точки забора и вектор нормали используются для решения обратной задачи кинематики, результатом которой являются обобщенные координаты шарниров манипулятора в точке забора грунта. Построение трехмерной модели подстилающей поверхности с наложением на нее видеокладов дополнительно позволяет упростить процедуру забора пробы при управлении от человека-оператора.

Для алгоритмов стерео реконструкции подстилающей поверхности крайне важным аспектом является точное определение взаимного положения камер (точек съемки). В классической задаче стерео реконструкции используются две камеры, разнесенные на некоторое расстояние друг относительно друга, именуемое стерео базой. Для определения их взаимного положения используются

специальные шаблоны и алгоритмы калибровки. Стерео калибровка производится один раз, при условии неизменяемости взаимного положения камер.

При использовании одной телевизионной камеры, установленной на манипуляторе, расчет взаимного положения камеры в различных положениях манипулятора производится исходя из решения прямой задачи кинематики манипулятора. Вследствие наличия люфтов в сочленениях манипулятора, а также неточного определения матрицы перехода из системы координат (СК) конечного звена манипулятора в СК оптического центра камеры возникают ошибки при определении взаимного положения камеры. Для уточнения матрицы перехода между положениями камеры предложен алгоритм вычисления уточняющей матрицы перехода с использованием специального калибровочного шаблона. Натурные эксперименты показали, что использование полученной уточняющей матрицы перехода обеспечивает более высокую плотность восстановления трехмерной подстилающей поверхности, а также ведет к повышению точности определения точки забора пробы грунта.

E.P. Grach, N.I. Filippov

APPLICATION OF VL53L0X LASER DISTANCE SENSORS IN OBJECT DETECTION SYSTEMS

*College of instrumentation and information technology
of Moscow technological University, Moscow
vader701@mai.ru*

Application of systems of search of objects and obstacles in low-budget systems can be complicated by rigid requirements on overall and weight parameters, limited computing capacities of autonomous robotic system.

These sensors are unique in their field of application, they are unpretentious in the application and processing of the readings. These sensors return the distance to the obstacle in conventional units, the absolute values of which are declared by the manufacturer as close to millimeters[1], while the accuracy of the measured distance is directly proportional to the time spent on one measurement.

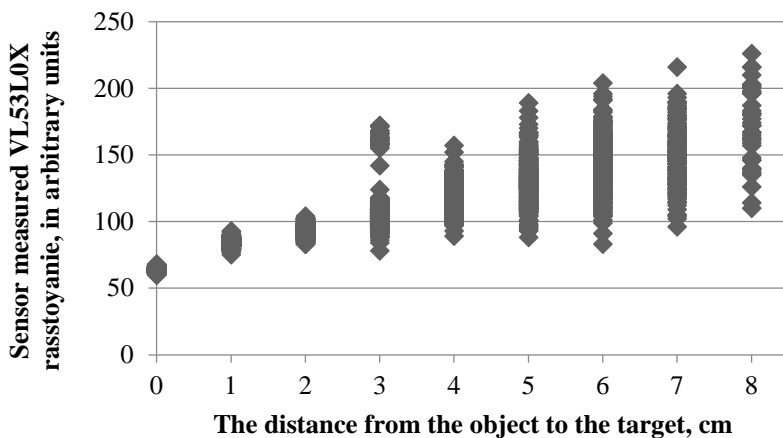


Figure 1 – measured by the distance sensor. In each series of measurements conducted 350 measurements. The graph does not show incorrect measurements at distances of 6-8 cm

The distance from which a single VL53L0X sensor is able to detect a mirror surface inclined at an angle of 45 degrees to the central axis of the sensor is measured. At a distance of more than 8 cm, the laser sensor is not able to detect the mirror surface. At closer distances with a step of 1 cm 350 measurements were carried out in the fastest possible mode of operation of the sensor. Thus, the distance of 6 cm can be considered as a distance of confident detection by laser sensor VL53L0X of mirror obstacle inclined at an angle of 45 degrees to the central axis of the sensor.

The spread of the readings measured by the sensor is shown in Fig.1. Incorrect measurements for 6-8 cm distances were dropped.

Thus, it can be concluded that the use of VL53L0X laser distance sensors in object detection systems is beneficial for reasons of low budget, low volume, low resource consumption, high sensitivity sensors. Particularly worth noting is the new modification of sensor data - VL53L1X, not yet appeared on the market. The manufacturer declared the detection distance from 0 to 400 cm and adjustable directional diagram in the range from 15 to 32 degrees.

1. STMicroelectronc - VL53L0X: World smallest Time-of-Flight ranging and gesture detection sensor // Product Specifications (Datasheet) <http://www.st.com>.

Е.П. Грач, Н.И. Филиппов
**ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРНЫХ ДАТЧИКОВ РАССТОЯНИЯ
VL53L0X В СИСТЕМАХ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ**

*Колледж приборостроения и информационных технологий
Московского технологического Университета, Москва
vader701@mail.ru*

Применение систем поиска объектов и препятствий в малобюджетных системах может быть осложнено жесткими требованиями по габаритным и весовым параметрам, ограниченными вычислительными мощностями автономной робототехнической системы.

Рассматриваемые датчики являются уникальными в своей сфере применения, являются неприхотливыми в применении и обработке показаний. Данные датчики возвращают расстояние до препятствия в условных единицах, абсолютные значения которых заявлены производителем как близкие к миллиметрам[1], при этом точность измеренного расстояния прямо пропорциональна затраченному на один замер времени.

Проведено измерение расстояния, с которого одиночный датчик VL53L0X способен обнаружить зеркальную поверхность, наклоненную под углом 45 градусов к центральной оси датчика. На расстоянии свыше 8 см лазерный датчик не способен обнаружить зеркальную поверхность. На более близких расстояниях с шагом 1 см проведено по 350 замеров в максимально быстром режиме работы датчика. Таким образом, дистанцию 6 см можно считать дистанцией уверенного обнаружения лазерным датчиком VL53L0X зеркального препятствия, наклоненного под углом 45 градусов к центральной оси датчика.

Разброс измеренных датчиком показаний приведен на рис.1. Отброшены некорректные измерения для дистанций 6-8 см.

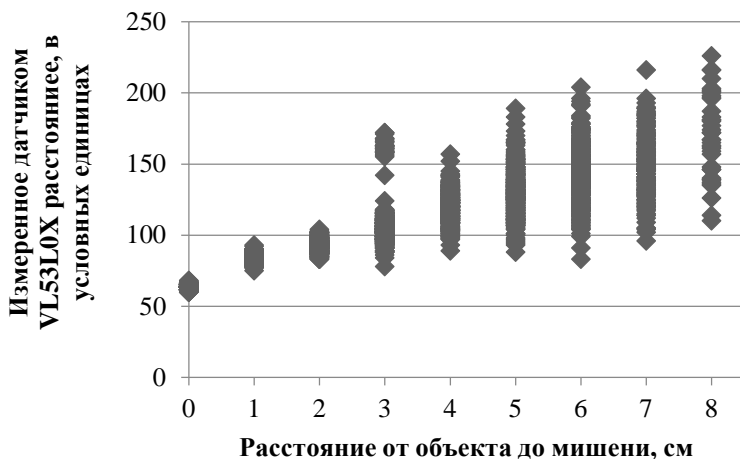


Рисунок 1 – Измеренные датчиком расстояния. В каждой серии измерений проводилось 350 замеров. На графике не отображены некорректные измерения на дистанциях 6-8 см

Таким образом, можно сделать вывод, что применение лазерных датчиков расстояния VL53L0X в системах обнаружения объектов выгодно является выгодным по причинам малобюджетности, малого занимаемого объема, малого ресурсопотребления, большой чувствительности датчиков. Особо стоит отметить новую модификацию данных датчиков - VL53L1X, не появившиеся еще на рынке. Производителем заявлена дистанция обнаружения от 0 до 400 см и регулируемая диаграмма направленности в диапазоне от 15 до 32 градусов.

1. STMicroelectronics - VL53L0X: World smallest Time-of-Flight ranging and gesture detection sensor // Product Specifications (Datasheet) <http://www.st.com>.

*S.D. Likhonosov, N.A. Protsenko, V.P. Kulyga, A.N. Petrov,
I.V. Gorbacheva, S.I. Shchekoldin*
**AUTONOMOUS POWER SOURCES OF PJSC "SATURN" AND
THEIR APPLICATION IN ROBOTIC SYSTEMS**

Saturn PJSC, info@saturn-kuban.ru

*С.Д. Лихоносов, Н.А. Проценко, В.П. Кулыга, А.Н. Петров,
И.В. Горбачева, С.И. Щеколдин*
**АВТОНОМНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ПАО «САТУРН» И
ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ**

ПАО «Сатурн», info@saturn-kuban.ru

Высокая динамика роста потребности в литий-ионных аккумуляторных батареях (ЛИАБ) связана с безусловными преимуществами данного типа химических источников тока (ХИТ): высокой удельной энергией, низким саморазрядом, отсутствием необходимости частого обслуживания и удобством эксплуатации, практическим отсутствием эффекта памяти.

Такие критерии выбора типа автономного источника питания определяют применение литий-ионных аккумуляторов при проектировании робототехнических комплексов.

Работы по созданию параметрического ряда литий-ионных аккумуляторов емкостью от 10 А·ч до 120 А·ч призматической формы и батарей на их основе на ПАО «Сатурн» ведутся с 2005 года.

ПАО «Сатурн» осуществляет развитие производства в сторону улучшения эксплуатационных характеристик ЛИАБ космического применения и расширения области применения выпускаемой продукции. На предприятии имеется научно-технический задел позволяющий обеспечить проведение работ по разработке, изготовлению и квалификации литий-ионных аккумуляторов с удельной энергией более 200 Втч/кг. Работы, направленные на расширение температурного диапазона эксплуатации ЛИА и АБ на их основе позволяют увеличить потенциальную область их применения в робототехнических комплексах, приборах специального назначения, средствах связи и т.п. Решения, принятые при создании мощностного аккумулятора должны найти применение в беспилотных летательных аппаратах (дронах), разработка которых ведется в большинстве случаев с ориентацией на зарубежных производителей источников питания.

D.A. Kapustin, D.M. Korolev, O.A. Shmakov, A.V. Lopota
POWER SUPPLY AND CONTROL SYSTEMS DESIGN
FOR MOBILE ROBOTIC PLATFORMS

*Russian State Scientific Center for Robotics and
Technical Cybernetics, SPbPU, Saint Petersburg*
d.kapustin@rtc.ru, d.korolev@rtc.ru, shmakov@rtc.ru, alopota@rtc.ru

Д.А. Капустин, Д.М. Королев, О.А. Шмаков, А.В. Лопота
РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ СИСТЕМ ПИТАНИЯ
И УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, СПбПУ, Санкт-Петербург
d.kapustin@rtc.ru, d.korolev@rtc.ru, shmakov@rtc.ru, alopota@rtc.ru

Важную роль в обеспечении живучести и безотказности работы мобильного робота играет выбранная архитектура системы питания. В первую очередь существенное влияние оказывает набор внутренних датчиков, позволяющих получить информацию о состоянии жизненно важных служб и систем робота. В случае с мобильными робототехническими платформами (МРП) наличие большого объема сервисной информации позволяет реализовать экстренные протоколы поведения робота, а также предотвратить ряд аварийных ситуаций, влекущих за собой повреждение или выход из строя МРП.

Для обеспечения доступа к необходимой информации требуется предусмотреть ряд схемных и архитектурных решений, которые позволят микроконтроллерам, установленным в ответственных узлах робота, обрабатывать определенные (заданные разработчиком) события и сообщать о них оператору или активировать протоколы обработки аварийных событий.

В статье представлена архитектура МРП «Капитан-2», в которой предусмотрены необходимые для реализации подобных функций решения.

A.G. Netkachev, D.N. Bychkovskii, A.L. Korotkov
**METHODS FOR INCREASING THE PERFORMANCE OF THE
MACHINE FOR LAYER-BY-LAYER CREATING
OF POLYMERIC-SAND MOLDS**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
alexandrnetkachev@gmail.com, a.korotkov@rtc.ru*

А.Г. Неткачев, Д.Н. Бычковский, А.Л. Коротков
**ПОИСК СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
УСТАНОВКИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПЕСЧАНО-ПОЛИМЕРНЫХ
ФОРМ МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО СИНТЕЗА**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
alexandrnetkachev@gmail.com, a.korotkov@rtc.ru*

В промышленности все большую применимость находят установки, работающие по принципу послойного синтеза (аддитивные технологии). Данный вид установок позволяет создавать геометрически сложные детали, которые невозможно или крайне сложно изготовить традиционными методами. Зачастую более глубокое внедрение установок послойного синтеза в технологическую цепочку предприятий ограничивается высокой себестоимостью получаемых изделий и низкой производительностью установок по сравнению с другими способами производства изделий.

Повышение конкуренции на рынке установок и расходных материалов в последнее время приводит к значительному снижению себестоимости изделий, что в совокупности с накопленным опытом использования аддитивных технологий ведет к их применению в серийном производстве изделий. Для этого необходимо решить задачу повышения производительности аддитивных установок.

Установка для создания песчано-полимерных литейных форм методом послойного синтеза состоит из двухкоординатного манипулятора портального типа (работающего в декартовой системе координат и перемещающего рабочий орган – пьезоэлектрическую печатающую головку), опускающейся платформы и устройства нанесения песчаного слоя.

Алгоритм работы установки состоит из следующих основных технологических операций (см. рисунок 1), повторяемых циклически до окончания построения:

- 1) нанесение песчаного слоя;
- 2) опускание платформы;
- 3) внесение отверждающего состава в песчаный слой.

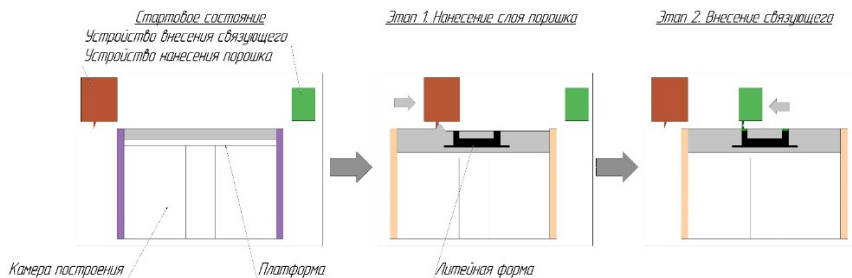


Рисунок 1 – Алгоритм работы установки

Для повышения производительности установки необходимо сократить время создания единичного слоя. Простое увеличение скорости перемещения механизмов установки ведет к необоснованному удорожанию комплектующих, что ухудшает конкурентоспособность и нивелирует снижение себестоимости продукции, достигнутое удешевлением расходных материалов. При этом повышение скорости перемещения механизмов ограничено технологическими параметрами работы установки. Наиболее перспективным является путь интеллектуализации системы управления. Необходимо повысить качество системы управления путем совершенствования управляющих компонентов.

Основными способами повышения производительности, требующими исследования, являются:

- оптимизация траектории движения пьезоэлектрической печатающей головки;
- повышение частоты работы пьезоэлектрической печатающей головки;
- изменение размеры капли, вносимой в песчаный слой;
- совмещение механизма нанесения песчаного слоя и печатающей головки;
- повышение количества печатающих головок.

T.A. Baidina, S.F. Burdakov, O.B. Shagniev, I.K. Shanshin
**THE CONTROL OF VIBRATION IN CONTACT INTERACTION
BETWEEN ROBOT AND SURFACE**

*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg,
shagniev_ob@spbstu.ru, burdakov.s@yandex.ru*

T.A. Байдина, С.Ф. Бурдаков, О.Б. Шагниев, И.К. Шаньшин
**УПРАВЛЕНИЕ ВИБРАЦИЯМИ ПРИ КОНТАКТЕ РОБОТА С
ПОВЕРХНОСТЬЮ**

*Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра
Великого, Санкт-Петербург, shagniev_ob@spbstu.ru,
burdakov.s@yandex.ru*

Разработка робототехнических систем, осуществляющих контактные операции на базе алгоритмов позиционно-силового управления, является актуальным направлением развития робототехники. Задачи контактного взаимодействия робота, оснащённого средствами силомоментного оцувствления, с окружающими объектами возникают на сборочных производствах, в обрабатывающей промышленности, медицине и аэрокосмической отрасли[1]. Подобные задачи относятся к наиболее сложным в робототехнике. Во многих случаях для решения этих задач силомоментного оцувствления оказывается недостаточно. Требуется дополнительные контуры адаптации, обладающие возможностью обучения, как по экспертным данным, так и online в процессе выполнения пробных операций.

В докладе приведены результаты исследования вибрационной нагруженности элементов системы “робот-инструмент-поверхность” в норме и в экстремальных ситуациях, в которых возможны высокие уровни вибраций, заклинивания и даже поломка элементов системы. Предполагается, что инструмент установлен в упругом подвесе, который обеспечивает силовое оцувствление робота. Робот, имеющий три степени свободы, в соответствии с технологической задачей, движется с некоторой скоростью вдоль поверхности с заданным прижатием к ней[2]. В этом случае между инструментом и обрабатываемой поверхностью присутствуют силы взаимодействия, которые могут стать причиной возникновения экстремальных ситуаций. Знание о нагрузках, в том числе и динамических, на элементы системы при выполнении различных технологических операций является основой для построения адекватных математических моделей системы. В свою очередь модели совершенно необходимы на предварительных этапах проектирования для оптимизации системы и режимов ее работы. Главная трудность здесь состоит в отсутствии

приемлемых математических моделей зоны контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью. В докладе представлены модели, описывающие наблюдаемые на практике в подобных системах явления, связанные с резонансными колебаниями, автоколебаниями, заклиниванием инструмента. Такие модели позволяют согласовать диапазоны рабочих частот системы “робот-инструмент-поверхность”, скорости движения вдоль обрабатываемой поверхности и силы прижатия инструмента к ней. Для автоматического выполнения этих движений с помощью робота разработаны штатные законы управления, рассчитанные на нормальное протекание технологических процессов. По силе прижатия используется позиционно-силовой закон управления, а для движения вдоль обрабатываемой поверхности два скоростных закона управления.

Отсутствие в настоящее время инженерных методик учёта характера динамических нагрузок на детали и узлы системы заставляет закладывать избыточные коэффициенты запаса в процессе проектирования либо снижать требования к показателям долговечности. Приведены варианты коррекции штатной системы управления движением робота с помощью дополнительных контуров адаптации, снижающих вибрационную нагрузку на элементы системы. Эффективность вариантов проверяется методами математического и компьютерного моделирования. Оцениваются возможности интеллектуализации контуров адаптации с помощью обучаемых нейронных сетей. Рассмотрение наряду с нормой экстремальных ситуаций позволило на стадии расчёта деталей и узлов системы на прочность заложить более высокую долговечность и снизить вероятность их поломок.

1. Егоров И. Н. Позиционно-силовое управление робототехническими и мехатронными устройствами. Владимир: Изд-во Владимир. Гос. Ун-та, 2010. 192с.
2. Бурдаков С. Ф., Шагннев О. Б. Модели механики в задаче управления силовым взаимодействием робота с поверхностью неопределенного профиля// НТВ СПбПУ. 2015. №4. С. 68-79.

*A.A. Aryskin, D.V. Davydov, A.Ya. Ksenzenko, Yu.S. Marzanov,
M.S. Petrakov, V.E. Pryanichnikov, A.S. Travushkin,
R.V. Khelemendik, S.R. Eprikov*

**CREATION OF THE TRANSPORT SYSTEM CONTROL WITH
LOGICAL ANALYSIS OF THE FEASIBILITY OF
TECHNOLOGICAL OPERATIONS**

*International laboratory "Sensorika", MSTU "STANKIN", RSUH Institute
for new educational technologies and informatization,
Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow,
v.e.pr@yandex.ru*

*A.A. Арыскин, Д.В. Давыдов, А.Я. Ксензенко, Ю.С. Марзанов,
М.С. Петраков, В.Е. Пряничников, А.С. Травушкин,
Р.В. Хелемендик, С.Р. Эприков*

**ПОСТРОЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМОЙ
С ЛОГИЧЕСКИМ АНАЛИЗОМ РЕАЛИЗУЕМОСТИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ**

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

Аннотация

Разработанная комплексная система промышленной автоматике представляет собой совокупность децентрализованных элементов, объединенных в общую вычислительную сеть с удаленным доступом и с возможностью перехода от программного к ручному управлению с записью технологических операций. Микропроцессоры управляют исполнительными элементами, переключающими клапана, задвижки, смесители, управляют двигателями для подачи, вывода, перемещения составляющих производственного процесса при изготовлении готовой продукции. Планирование и анализ хода производства выполняется диспетчерскими компьютерами, в том числе удаленно. В технологическом процессе задействована специализированная транспортная система, состоящая из индивидуальных роботизированных тележек, которые приводятся в движение посредством двигателей, неподвижно размещенных на линейных и поворотных участках транспортных путей цеха. Одна такая тележка способна перемещать по сложной траектории внутрипроизводственного пространства многотонную готовую продукцию под контролем соответствующих сенсорных устройств. В состав системы управления производственным циклом входят компьютеры дистанционного контроля, тестирования и модернизации технологического процесса. При разработке фактически реализована

технология Индустрии 4.0, исследованы сенсорные и периферийные устройства, необходимые для обеспечения «интеллектуального ввода данных», построения обратных связей. Обеспечивается логический анализ и выявление возможных нарушений технологического цикла. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ 16-07-01264, 16-07-00811, 16-07-00935.

Ключевые слова: индустрия 4.0, сенсорные системы, системы промышленной автоматизации с логическим анализом противоречий, дистанционный контроль производства.

*V.E. Pryanichnikov, A.V. Bogdanovich, A.G. Zubov,
A.V. Plotnikov, O.V. Punenkov*

DEVELOPMENT OF THE SERVICE AUTONOMOUS MOBILE GENERAL-PURPOSE ROBOT AMUR-307

*Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, International laboratory
“Sensorika”, RSUH Institute for new educational technologies and
informatization, MSTU “STANKIN”, Moscow
Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University,
v.e.pr@yandex.ru / plotnikow.lexa@yandex.ru / o.punenkov@stankin.ru*

*В.Е. Пряничников, А.В. Богданович, А.Г. Зубов,
А.В. Плотников, О.В. Пуненков*

РАЗРАБОТКА СЕРВИСНОГО АВТОНОМНОГО МОБИЛЬНОГО УНИВЕРСАЛЬНОГО РОБОТА АМУР-307

*ИПМ им. М.В. Келдыша РАН,
Международная лаборатория «Сенсорика», МИНОТ РГТУ,
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Москва
СПбПУ им Петра Великого
v.e.pr@yandex.ru / plotnikow.lexa@yandex.ru / o.punenkov@stankin.ru*

Аннотация

В статье приведены результаты разработки автономного гусеничного сервисного робота с двуруким захватным устройством. Проведено исследование математической модели мобильного робота с точки зрения оценки грузоподъемности и компоновки, исходя из особенностей динамической устойчивости, а также учитывая технологичность его изготовления и критерии промышленного дизайна (рисунки 1,2).

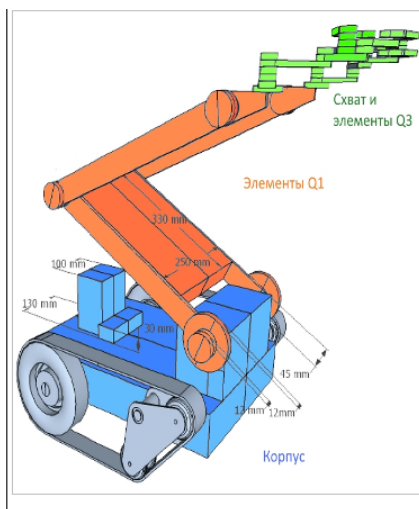


Рисунок 1 – Модель гусеничного робота для анализа динамики захвата объектов



Рисунок 2 – Исследование технологичности изготовления мобильного робота

Ключевые слова: робототехника, проектирование и моделирование автономного мобильного сервисного робота.

A.U. Nenashev

KEY DEVELOPMENTS AND SERVICES OF JSC SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF ELECTRONIC AS PART OF IMPORT SUBSTITUTION FOR THE ROBOTICS INDUSTRY

*Joint-stock company Scientific Research Institute of Electronic, Voronezh
neau@niiet.ru*

А.У. Ненашев

КЛЮЧЕВЫЕ РАЗРАБОТКИ И УСЛУГИ АО «НИИЭТ» В РАМКАХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ОТРАСЛИ РОБОТОСТРОЕНИЯ

АО «НИИЭТ», г. Воронеж, neau@niiet.ru

АО «НИИЭТ» является одним из ведущих Российских производителей микроконтроллеров и процессоров цифровой обработки сигнала, а также — производителем процессоров (универсальных), аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей, интерфейсных схем, преобразователей напряжения и СВЧ-продукции.

Научно-исследовательская направленность предприятия обусловила исследование и дальнейшее развитие различных архитектур микроконтроллеров: Intel MCS-51 и MCS-96, Atmel AVR RISC, Infineon C166/XC166 и ARM Cortex M4F.

Освоен широкий перечень архитектур: C1X, C2X, C3X, C4X, C5X. В настоящее время прорабатывается архитектура C66X (VLIW).

НИИЭТ обладает широким портфолио микроконтроллеров и сигнальных процессоров, предназначенных для управления двигателями (Motor Control). Возможность управления электродвигателями реализована для следующих архитектур:

8-разрядные:

1) микроконтроллеры на AVR (1887BE4У, 1887BE7Т и 1887BE8Т (в разработке));

16-разрядные:

1) микроконтроллер на C166, (1887BE9Т);

2) микроконтроллеры на MCS-96, (1874BE86Т, 1874BE10Т) [1];

3) сигнальные процессоры на F240, (1867BЦ5Т, 1867BЦ9Т и 1867BЦ10Т) [2]

32-разрядные:

1) микроконтроллеры на ARM (K1921BK01Т(архитектура и система команд ARM Cortex-M4F), 1921BK024, 1921BK035).

На базе 32-разрядного микроконтроллера 1921BK035 в корпусе QLCC (40 выводов) 6*6 мм, помимо функции управления эл. двигателями и исполнительными механизмами, возможно построение интеллектуальных датчиков для встраивания в системы «открытой архитектуры»

Развитие получила так же архитектура CISC+RISC на основе MCS-96 (32 бит) разработанная АО «НИИЭТ», включающая в себя все достоинства CISC и RISC архитектур. На основе этой уникальной отечественной архитектуры разработано изделие 1874BE10Т с функцией обнаружения и исправления ошибок внешней/внутренней памяти и повышенной специфичностью [1].

На базе ядра SPARC V8 (с поддержкой расширения V8e) разработан микропроцессор с повышенной специфичностью 1906BM016. Микропроцессоры архитектуры SPARC V8 нашли широкое применение при построении высокопроизводительной и отказоустойчивой аппаратуры для работы в космическом пространстве. [3]

Среди 8 битных микроконтроллеров гарвардской архитектуры MCS-51 достоин внимания мультиинтерфейсный (UART-2, SPI-2, I2C, LIN ГОСТ Р 52070-2003, MIL-STD-1553B) микроконтроллер 1882BM1Т со встроенной системой защиты данных описанных в ГОСТ 28147-89. Этот микроконтроллер может применяться как для

сопряжения между интерфейсами различных типов в сетях обмена информацией, так и для управления внешними периферийными устройствами (АЦП, ЦАП, карты памяти и т. д.) по защищенным каналам связи. [4]

1. И. Потапов, В. Смерек, В. Тарасов. Обзор периферии радиационно-стойкого 32-разрядного микроконтроллера 1874BE10T. Компоненты и технологии. 2016. № 12. С.77-80.
2. Крюков В., Смерек В., Шеховцов Д., Горохов В. Радиационностойкие 16-разрядные микроконтроллеры 1874BE7T и 1887BE6T. Электронные компоненты. 2014. №5. С. 80-84.
3. Потапов И.П., Смерек В.А. Новая микроконтроллерная архитектура для особых применений. Компоненты и технологии. 2016. № 2. С.53-58.
4. Смерек В., Медведев Н., Потапов И., Горохов В., Васильев А. Мультиинтерфейсный микроконтроллер 1882BM1T со встроенной системой защиты данных. Электронные компоненты. 2014. №6.

I.A. Bugakov

**MINIMALITY AND CATEGORIZATION PRINCIPLE IN
NATURAL AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

*Interregional Social Foundation “Institute of Engineering Physics”,
Serpukhov, Moscow Region, bia11@mail.ru*

One of the main natural principles directing ontogeny, genealogy, evolution is, as a whole, a minimality principle (MP) related to minimization by the nature the expenses incidental to its core resources (as we understand them today): energy (masses), spaces, time spent on creation, support of operations and development of its creatures [1]. Since the time of Aristotle the idea of minimality and simplicity has occupied the minds of researchers taking ever more firm shape beginning from Maupertuis’s principle of the least action. With regard to “neural networks and objects categorization” it is necessary to acknowledge N.Chomsky’s “minimalistic issues” [2]: genetic origin of a basic language structure (“children” everywhere master any language), a need for the knowledge of physics principles which along with historic stipulations determine the limits (Chomsky’s “canal”) of the creation of a mind structure in a living object, later subject to natural selection – the principal actuating mechanism of evolution.

The behaviour of any living organism with a natural intelligence (NI) is an interrelated, cyclically repeatable pentad: identification (recognition), anticipation (precognition), decision taking, planning and action. This pentad exhibits genetic and individual components being a main mechanism of functioning and mental development. Artificial neural networks (ANNW) (including deep training), widely used for identification of the images, are just “geometric transformers”, computational algorithms, “studying” local generalizations. They possess neither this pentad nor a priori “genetics”, their decisions are inexplicable, they are deceived, they are capable of making awful mistakes, reeducation razes their previous experience, a huge amount of examples is required. At bottom trained ANNW actualizes the simplest behaviour: stimulus - reaction. Moreover, the option of the ANW structure for the realization of a desired function is exercised by a human being.

A “real” artificial intelligence (AI) is a quality of the object capable of autonomous behaviour in actual and virtual environment with due regard to genetic and individual experience to divine for sure what the future will be like and on this basis to plan and actualize one’s purposeful behaviour when creating new strategies and algorithms (programs). AI of any level of “evolutional” complexity is impossible without imparting to it, to the extend required, what is called in a living object – the mind – and through

understanding it is combined with the ability to feel, perceive, remember, represent, imagine, anticipate etc.

Categorization as sorting of the perceived [3] (from outside and (or) internal environment) as a mechanism of sensing [4] is a combination of classification (known) and clusterization (new). Organism's development comes with its categorical system's expansion and change. Taking into account the infinity of the planes of any "thing in itself", "painted" with individual system of values – reasonability of any perception and, as a result of identification, one and the same object in different situations may be referred to the very different categories. Such ability to intercategory penetration is an important quality of an intelligence, the basis of understanding, thinking.

The report deals with the ideas of building hierarchically network-based system of AI categories: basis property ("disjoined classes") [3] by means of Fourier's generalized series, integrations, anticipation, inertia, polarity, liminality, quantization, bandpass response, gradientness, homogeneity, fractality, topology, plasticity, associativity (through the proximity in space-time) etc. The fundamentals of the universal technology of intellectualization are stated in the report.

1. Bugakov I.A. Minimality Principle and Brain Activities.// Collection of Scientific Works of a Jubilee Symposium Dedicated to the 150th Anniversary of I.M. Sechenov's publication "Reflexes of Brain". – M.: IIntelLL, 2014. – 432 p., p.291...316.
2. Chomsky N. About Nature and Language: Trans. from English. – M.: KomKniga, 2005. – 288 p.
3. Rozov A.I. (Rozet I.M.) Categorization Problems: Theory and Practice.// Psychology Issues, 1986, № 3, p. ...
4. Bruner G. Cognitive Psychology. Beyond the Limits of Direct Information. Trans. from English. – M.: Progress, 1977. – 413 p.
5. Bugakov I. A., Tsarkov A. N. Universal Technology of Robotic Engineering Intellectualization: Fundamentals of Intelligent Behaviour.// The Works of the XIth All-Russia Scientific and Practical Conference. "Advanced Systems and Control Tasks". – Rostov- on-Don, Vol.2, 2016. – 376 p., p.303...316.

И.А. Бугаков

ПРИНЦИП МИНИМАЛЬНОСТИ И КАТЕГОРИЗАЦИЯ В ЕСТЕСТВЕННОМ И ИСКУССТВЕННОМ ИНТЕЛЛЕКТЕ

*Межрегиональное общественное учреждение «Институт
инженерной физики», г. Серпухов Московской обл., bia11@mail.ru*

Одним из основных природных принципов, направляющих онтогенез, филогенез, эволюцию в целом является принцип минимальности (ПМ), связанный с минимизацией природой расходов своих основных ресурсов (как мы их сегодня понимаем): энергии (массы), пространства, времени на создание, обеспечение функционирования и развитие своих творений [1]. Идея минимальности и простоты со времен Аристотеля занимает умы исследователей, принимая, начиная с Мопертюи (принцип наименьшего действия), все более четкие очертания. Применительно к «нейронным сетям и категоризации объектов» необходимо указать на «минималистские вопросы» Н. Хомского [2]: генетическое происхождение базовой языковой структуры («дети везде усваивают любой язык»), необходимость познания физических законов, которые наряду с историческими условиями определяют границы («канал» по Хомскому) создания в живом структур психики, впоследствии подвергаемых естественному отбору - главному исполнительному механизму эволюции.

Поведение любого живого организма с естественным интеллектом (ЕИ) - взаимосвязанная циклически повторяемая пентада: распознавание, предвидение, принятие решения, планирование, действие. Эта пентада имеет генетическую и индивидуальную составляющие, являясь основным механизмом функционирования и (психического) развития. Искусственные же нейросети - ИНС (в том числе глубокого обучения), широко применяемые в задачах распознавания образов, - всего лишь «геометрические преобразователи», вычислительные алгоритмы, «обучающиеся» локальным обобщениям. У них нет этой пентады, нет априорной «генетики», решения их необъяснимы, их легко обмануть, они способны на грубые ошибки, переучивание стирает их прежний опыт, для обучения требуется огромное количество примеров. Обученная ИНС реализует, по сути, простейшее поведение: стимул-реакция. К тому же выбор структуры ИНС для реализации желаемой функции осуществляет человек.

«Настоящий» искусственный интеллект (ИИ) - свойство способного к автономному поведению в реальной или виртуальной средах объекта с учетом генетического и индивидуального опыта достоверно предвидеть будущее и на этой основе планировать и

реализовывать свое целенаправленное поведение с созданием новых стратегий и алгоритмов (программ). ИИ любого уровня «эволюционной» сложности невозможен без придания ему в необходимом объеме того, что в живом именуют психикой и через понимание связывают со способностью ощущать, воспринимать, запоминать, представлять, воображать, предвидеть и т.д.

Категоризация как упорядочение воспринимаемого [3] (из внешней и (или) внутренней среды), как механизм придания значения [4] есть соединение классификации (известного) и кластеризации (нового). Развитие организма сопровождается расширением и изменением его категориальной системы. Учитывая бесконечность граней любой «вещи в себе», «окрашенную» индивидуальной системой ценностей целесообразность любого восприятия и, как следствие, распознавания, один и тот же объект в различных ситуациях может быть отнесен к самым различным категориям. Такая способность к межкатегориальному проникновению – важное свойство интеллекта, основа понимания, мышления.

В докладе излагаются вытекающие из ПМ идеи построения иерархически-сетевой системы категорий ИИ: базисности («непересекающиеся классы» [3]) через обобщенный ряд Фурье, интеграции, предвидения, инерции, полярности, пороговости, квантованности, диапазонности, градиентности, однородности, фрактальности, топологичности, пластичности, ассоциативности (через близость в пространстве-времени) и др. Излагаются основания универсальной технологии интеллектуализации [5].

1. Бугаков И.А. Принцип минимальности и деятельность мозга. // Сб. научных трудов юбилейного симпозиума, посвященного 150-летию издания «Рефлексов головного мозга» И.М. Сеченова. - М.: ИИнтеЛЛ, 2014. – 432 с., С. 291...316.
2. Хомский Н. О природе и языке: Пер. с англ. – М.: КомКнига, 2005. – 288с.
3. Розов А.И. (Розет И.М.) Проблемы категоризации: теория и практика. // Вопросы психологии, 1986, № 3., С. 90...97.
4. Брунер Дж. Психология познания. За пределами непосредственной информации. Пер. с англ. - М.: Прогресс, 1977. - 413 с.
5. Бугаков И.А., Царьков А.Н. Универсальная технология интеллектуализации робототехники: основания интеллектуального поведения. // Материалы Одиннадцатой Всеросс. научно-практ. конференции «Перспективные системы и задачи управления». – Ростов-на-Дону, Том 2, 2016. – 376с., С. 303...316.

E.A. Abrosimov

APPLICATION OF THE FUZZY LOGIC FOR MOBILE ROBOT NAVIGATION IN POORLY DESCRIBED ENVIROMENT

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
e.abrosimov@rtc.ru*

Modern mobile robots often function in the same environment with people, which by definition cannot be fully described mathematically. Such robots need an intelligent control system that operates not only with data, but also with knowledge.

Modern mobile robots often function in the same environment with people, which by definition cannot be fully described mathematically. With regard to the task of navigating mobile robots, the most promising is the use of fuzzy systems. Therefore, the goal of this work is to increase the efficiency of navigation of the mobile robot in a dynamic environment through the use of a fuzzy control system.

To achieve the goal, a rather simple fuzzy control system was developed, consisting of the subsystems "Motion to target" and "Obstacle avoidance". The first system has two input variables, two output variables and contains five rules in the rule base. The "Obstacle avoidance" system has four input variables, two output variables, and the rule base consists of nine rules.

The system was tested on a mobile robot equipped with a laser scanning lidar (see Figure 1).

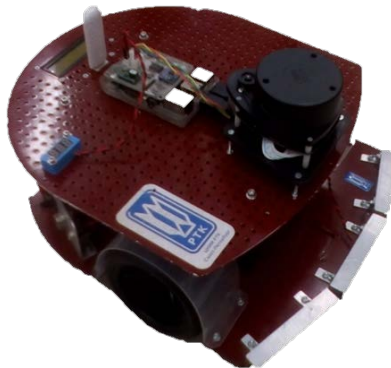


Figure 1 - Appearance of the robot used for testing

The developed system was compared in terms of performance with the standard ROS gmapping navigation stack. The developed system coped with the task twice faster with the same dynamic changes in the scene.

It is important to note that the system developed is easy to set up and can be easily improved to work in more difficult operating conditions (for example, consider the ambient temperature during navigation).

1. Plotnikova, N.V. Expert system of robot control // Herald of SUSU. A series of "Computer technologies, management, radio electronics". - 2012.-No. 16. - P. 195-197.
2. Benbouabdallah, K., Qi-dan, Z. A Fuzzy Logic Behavior Architecture Controller for a Mobile Robot Path Planning in Multi-Obstacles Environment. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 2013, vol. 5, no. 14, pp. 3835-3842. - ISSN: 2040-7459.
3. Yudintsev, BS, Darintsev OV Modification of the neural network trajectory planning system: methods and results // Fundamental research. -2014. - No. 11 (12).

Э.А. Абросимов

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ НАВИГАЦИИ
МОБИЛЬНОГО РОБОТА В ПЛОХО ФОРМАЛИЗУЕМОЙ
СРЕДЕ**

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

Современные мобильные роботы зачастую функционируют в одной среде с человеком, которая по определению не может быть полностью описанной математически. Таким роботам необходима интеллектуальная система управления, оперирующая не только с данными, но и со знаниями.

Для построения таких систем в настоящее время применяются технологии экспертных [1], нечётких [2] и нейронных систем [3]. Применительно к задаче навигации мобильных роботов наиболее перспективно применение нечётких систем. Поэтому целью данной работы является повышение эффективности навигации мобильного робота в динамической среде за счёт применения нечёткой системы управления.

Для достижения цели была разработана достаточно простая нечёткая система управления, состоящая из подсистем «Движение к цели» и «Обход препятствий». Первая система имеет две входных, две выходных переменных и содержит в базе правил пять правил. Система «Обход препятствий» имеет четыре входных переменных, две выходных, а база правил состоит из девяти правил.

Тестирование системы проводилось на мобильном роботе, оснащённом лазерным сканирующим лидаром (см. рис. 1).

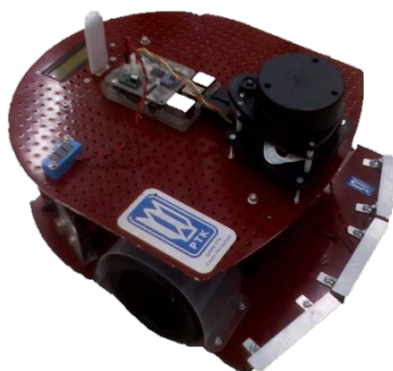


Рисунок 1 – Внешний вид робота, используемого для тестирования

Разработанная система сравнивалась в плане быстродействия со стандартным стеком навигации ROS gmapping. При одинаковом динамическом изменении сцены, разработанная система справлялась практически в два раза быстрее с поставленной задачей.

Важно отметить, что разработанная система проста в настройке и может быть легко улучшена для работы в более сложных условиях работы (например, учёт температуры окружающей среды при навигации).

1. Плотникова, Н.В. Экспертная система управления роботом // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2012. – № 16. – С. 195-197.
2. Benbouabdallah, K., Qi-dan, Z. A Fuzzy Logic Behavior Architecture Controller for a Mobile Robot Path Planning in Multi-Obstacles Environment. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 2013, vol. 5, no. 14, pp. 3835–3842. – ISSN: 2040-7459.
3. Юдинцев, Б. С., Даринцев О. В. Модификация нейросетевой системы планирования траекторий: методики и результаты // Фундаментальные исследования. –2014. – № 11 (12).

V.P. Noskov, I.O. Kiselev
**A SELECTION OF FLAT OBJECTS IN A LINEAR-STRUCTURED
3D-IMAGES**

*Bauman Moscow State Technical University (BMSTU),
noskov_mstu@mail.ru, kiselev201@rambler.ru*

В.П. Носков, И.О. Киселев
**ВЫДЕЛЕНИЕ ПЛОСКИХ ОБЪЕКТОВ В ЛИНЕЙНО-
СТРУКТУРИРОВАННЫХ 3D-ИЗОБРАЖЕНИЯХ**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, noskov_mstu@mail.ru, kiselev201@rambler.ru

Рассмотрены актуальные задачи 3D-реконструкции модели индустриально-городской среды и навигации, решаемые путем выделения линейных объектов в дальнометрических 3D-изображениях. Проведен анализ известных алгоритмов выделения плоских объектов из облака точек и предложен эффективный алгоритм, являющийся развитием метода Хафа, в основу которого положено двухэтапное преобразование исходных данных с учетом их структурированности.

Как правило, дальнометрические данные одного кадра структурированы линейно по одному или даже обоим углам сканирования (азимуту и возвышению), т.е. сканирование пространства выполняется подмножествами лучей, лежащих в одной плоскости, или в 2-х взаимно-перпендикулярных плоскостях, которые пересекаются с линейными объектами внешней среды по прямым линиям-отрезкам. Линейная структурированность исходных дальнометрических изображений позволяет предложить эффективный двухэтапный алгоритм выделения линейных объектов, основанный на поиске подмножеств точек, принадлежащих линиям-отрезкам, лежащих в плоскостях сканирования, с последующим поиском подмножеств линий-отрезков, принадлежащих одному плоскому объекту. В основу первого этапа может быть положен классический метод Хафа [1] или – алгоритм, основанный на вычислении частот порождения одних и тех же прямых парами точек, принадлежащих одной плоскости сканирования [2] (см. рис.1 а). Для второго этапа – этапа поиска подмножества линий-отрезков, принадлежащих одному плоскому объекту, также могут быть использованы идеи метода Хафа. В частности, предлагается алгоритм, в основу которого положена процедура генерации каждой выделенной на первом этапе линейной-отрезком соответствующего подмножества плоскостей, являющимся откликом в трехмерном пространстве параметров (см. рис.1 б).

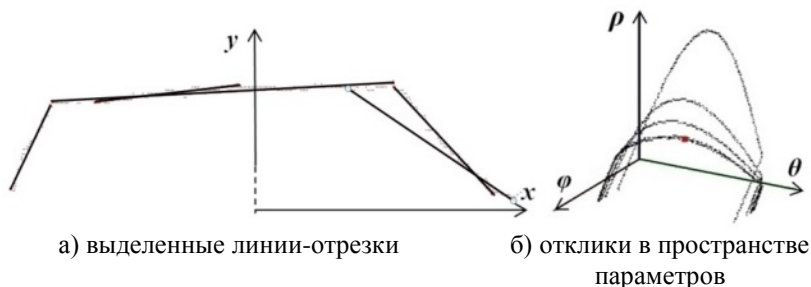


Рисунок 1 – Двухэтапный поиск плоских объектов в облаке точек

В результате в пространстве параметров формируется трехмерная аккумуляторная функция, локальные максимумы которой соответствуют плоским объектам в исходном 3D-изображении. Эффективность предложенного алгоритма подтверждается результатами работы соответствующих программно-аппаратных средств в реальном времени в реальных условиях (рис. 2).

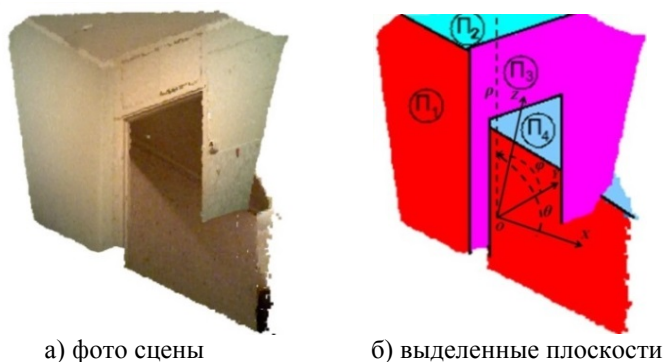


Рисунок 2 – Результат работы алгоритма

Переход к семантическому описанию внешней среды в виде совокупности линейных примитивов не только на несколько порядков сокращает объемы исходных видеоданных, но и предоставляет в явном виде навигационную информацию (на рис. 2 б показано, как параметры $\langle \rho_2, \theta_2, \varphi_2 \rangle$ выделенной горизонтальной плоскости Π_2 – потолка определяют крен, дифферент и координату z сенсора и объекта управления). Формирование семантических моделей по данным бортовых сенсоров на бортовых вычислителях в реальном времени позволит уже в настоящее время решать актуальные задачи автономного управления движением мобильных роботов и беспилотных летательных аппаратов в индустриально-городской среде

и зданиях, где использование средств дистанционного управления затруднительно.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-29-04178 офи_м.

1. Hough P. V. C. Method and means for recognizing complex patterns. – 1962. – №. US 3069654.
2. Носков А.В., Носков В.П. Распознавание ориентиров в дальнометрических изображениях. // Сб. «Мобильные роботы и мехатронные системы» - М.: Из-во МГУ, 2001. с.179-192.

A.A. Andrakhanov, A.V. Stuchkov

MOBILE ROBOT'S INTELLIGENT SYSTEM FOR TRAVERSABILITY ESTIMATION OF UNDERLYING SURFACES

*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk,
rim1282a@gmail.com*

In paper [1] the authors considered the traversability estimation system based on visual information and on a machine learning approach. Within the scope of this report, exteroceptive and proprioceptive sensors were used together to train the system. This allows us to estimate a traversability of surface taking into account its visual parameters and predicted parameters of robot motion along a surface (Figure 1). Twice-multilayered modified polynomial neural network with active neurons was used as one of the machine learning algorithms [2]. Experiments were carried out at the testing ground consisting of 28 surfaces, which have different terramechanical characteristics and different influence on robot movement [2].

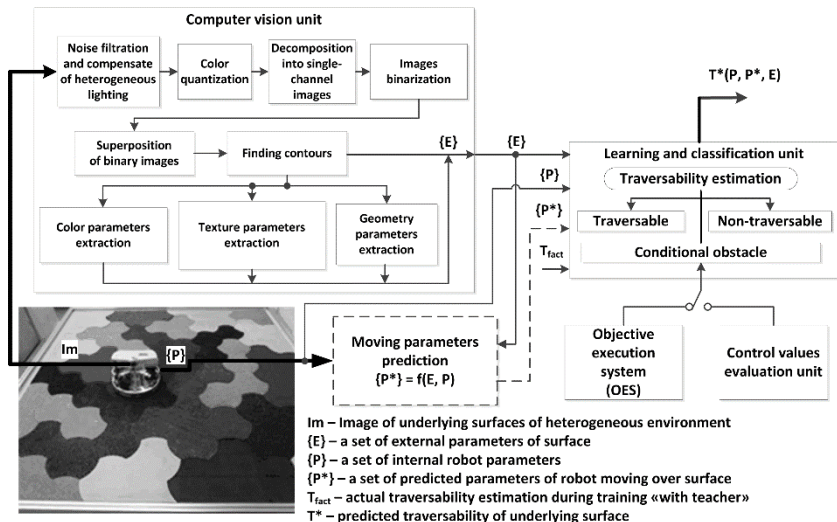


Figure 1 – The architecture of traversability estimation system

Part of results of the experiments is shown in Figure 2. The percent of correct classification based on visual information and on actual parameters of robot movement is 85%. For case of predicted parameters of robot movement the percent is 78%.

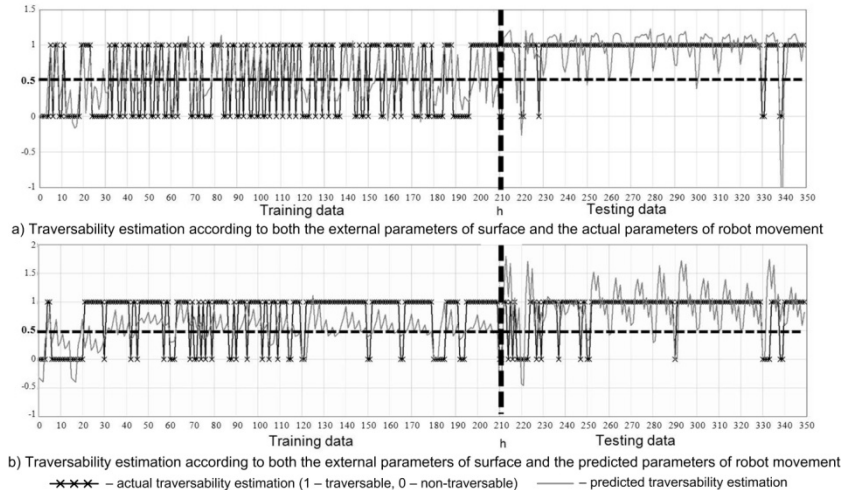


Figure 2 – Training results of the traversability estimation system

The obtained results are comparable with modern studies in this field [3]. With respect to papers in which a better result is demonstrated, this

system has its own advantages (this is due to the features of the machine learning algorithms that are used in the system).

1. Andrakhanov A., Stuchkov A. Traversability estimation system for mobile robot in heterogeneous environment with different underlying surface characteristics // In Proceedings of 12th International Conference “CSIT-2017”, Lviv, Ukraine, 2017. – P. 549-554.
2. Andrakhanov A.A. Technology of Autonomous Mobile Robot Control Based on the Inductive Method of Self-Organization of Models // In Proceedings of 7th International Symposium “RISE-ER’2013”, Saint-Petersburg, Russia, 2013. – P. 361-368.
3. Otsu K., Kubota T. Energy-aware terrain analysis for mobile robot exploration // Chapter in Book «Field and Service Robotics. Springer Tracts in Advanced Robotics» Vol. 113 / D. Wettergreen, T. Barfoot (eds.). – Springer, 2016. – P. 373-388.

А.А. Андраханов, А.В. Стучков

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОЦЕНКИ
МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ ПРЕОДОЛИМОСТИ УЧАСТКОВ
ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ**

*Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск, rim1282a@gmail.com*

В работе [1] авторами была предложена актуальная для роботов Outdoor-типа система оценки преодолемости участков подстилающей поверхности по визуальной информации на основе методов машинного обучения. В рамках данной работы при обучении системы были использованы совместно экстероцептивные и проприоцептивные сенсоры. Это позволяет осуществлять оценку преодолемости участка среды с учетом его визуальных параметров и прогнозных параметров движения через него (рисунок 1). В качестве алгоритма обучения была применена дважды многорядная нейронная сеть с активными нейронами [2]. Испытания проводились на авторском полигоне с 28 участками с различными террамеханическими характеристиками по-разному влияющими на характер движения робота [2].

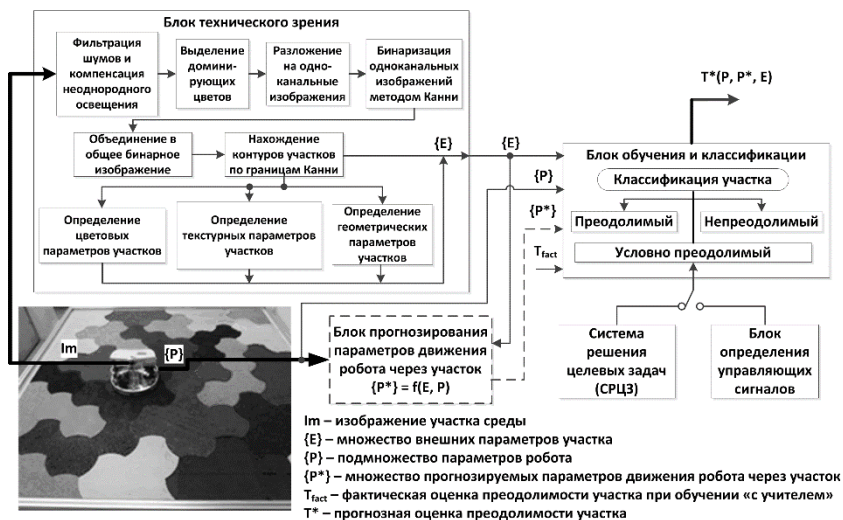


Рисунок 1 – Структурная схема системы оценки преодолемости

Часть результатов натуральных экспериментов приведена на рисунке 2. Процент правильной классификации преодолемости участков при использовании визуальной информации и фактических данных о параметрах движения робота составил 85%, при прогнозных параметрах движения – 78%.

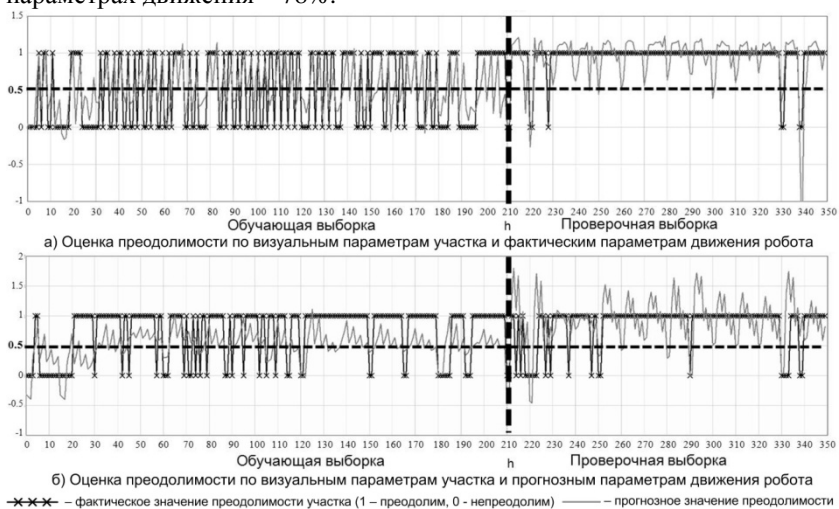


Рисунок 2 – Результаты обучения системы оценки преодолемости

Полученные результаты сопоставимы с современными работами в данной области [3]. Относительно работ, в которых продемонстрирован

несколько лучший результат, данная система имеет собственные преимущества, обусловленные особенностями используемых алгоритмов машинного обучения.

1. Andrakhanov A., Stuchkov A. Traversability estimation system for mobile robot in heterogeneous environment with different underlying surface characteristics // In Proceedings of 12th International Conference “CSIT-2017”, Lviv, Ukraine, 2017. – P. 549-554.
2. Андраханов А.А. Технология управления автономным мобильным роботом на основе индуктивного метода самоорганизации моделей // Робототехника и техническая кибернетика. – Изд-во ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, 2014. – Т. 2. – № 1. – С. 38-44.
3. Otsu K., Kubota T. Energy-aware terrain analysis for mobile robot exploration // Chapter in Book «Field and Service Robotics. Springer Tracts in Advanced Robotics» Vol. 113 / D. Wettergreen, T. Barfoot (eds.). – Springer, 2016. – P. 373-388.

A.S. Antonov, D.O. Makarov, B.B. Mikhailov
**USING OF INTELLIGENT SENSOR IN A TECHNICAL VISION
SYSTEM TO CONTROL PARTS ON A CONVEYOR BELT**

Bauman Moscow State Technical University
arty.ant@yandex.ru, dimakk444@gmail.com, borismboris@yandex.ru

A.С. Антонов, Д.О. Макаров, Б.Б. Михайлов
**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ДАТЧИКА В
СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ
ДЕТАЛЕЙ НА КОНВЕЙЕРЕ**

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
arty.ant@yandex.ru, dimakk444@gmail.com, borismboris@yandex.ru

Использование систем технического зрения (СТЗ) позволяет решить типовую задачу определения параметров движущихся деталей. Такая задача, например, возникает при использовании манипуляционных роботов для сортировки деталей после листовой штамповки. Штамповочный пресс вырубает из одного листа множество различных деталей, которые попадают на конвейер с произвольной ориентацией. Для выполнения захвата робот должен знать координаты, ориентацию и тип каждой детали на конвейере.

Обычно СТЗ содержит одну или несколько камер для получения изображения, вычислительное устройство для обработки и анализа видеoinформации и коммуникационное устройство для передачи полученных данных в систему управления верхнего уровня.

Традиционно данная задача решается с применением стационарных вычислительных устройств, например, персональных компьютеров, в которых используются распространённые процессоры общего назначения серий Intel Core или AMD Athlon. Эти процессоры обладают значительной вычислительной мощностью и их использование для контроля положения деталей нерационально. Кроме того, вычислительные устройства на основе персональных компьютеров требуют наличия средств взаимодействия с оператором, что значительно увеличивает размеры таких систем и их суммарное энергопотребление.

В данной работе предлагается решение подобной задачи с применением интеллектуального датчика. Согласно ГОСТ Р 8.673-2009 интеллектуальный датчик производит обработку полученной с сенсорного устройства информации и выдаёт данные для системы верхнего уровня. Предлагаемый датчик основан на цифровой видеокамере и одноплатном микрокомпьютере с процессором, имеющим современную архитектуру ARM. Такой подход, по сравнению с использованием типовых персональных компьютеров, обладает рядом преимуществ:

- низкая стоимость;
- малое энергопотребление;
- небольшие габариты;
- рациональное использование вычислительной мощности.

В настоящее время существуют однокристальные системы (SoC), совмещающие в себе процессор, память и периферийные устройства. По сравнению с ними предлагаемое решение также обладает определёнными преимуществами, в частности:

- простота программирования и отладки;
- возможность использования высокоуровневых языков программирования (таких как C++, Python);
- поддержка различных коммуникационных интерфейсов;
- удалённый доступ для изменения задачи;
- возможность запуска разных программ обработки данных, предварительно записанных в память.

Данные преимущества показывают целесообразность создания компактной, быстро перенастраиваемой СТЗ, которую можно адаптировать к решаемой задаче непосредственно на месте применения. Наличие в микрокомпьютере энергонезависимого запоминающего устройства позволяет хранить в нём базы знаний для каждого конкретного набора деталей. Реализация режима обучения позволяет расширять и корректировать базу знаний без аналитического описания каждой детали. При использовании предлагаемой конфигурации можно создать адаптивную СТЗ с элементами искусственного интеллекта,

способную адаптироваться к освещённости, цвету деталей, внешним помехам и компенсировать ошибки измерения.

В процессе работы был изготовлен прототип датчика, который включал в себя 8 Мп камеру Sony IMX219 Exmor, микрокомпьютер Raspberry Pi 3B+, также были реализованы алгоритмы распознавания деталей. При этом обучение системы выполнялось оператором непосредственно на рабочем месте. Выходными данными интеллектуального датчика являются координаты и ориентация деталей, а также идентификатор конкретного типа детали, позволяющий системе найти деталь в базе данных. В процессе разработки были решены задачи конфигурации параметров камеры на микрокомпьютере, калибровка камеры по специальным шаблонам, реализованы алгоритмы выделения контуров деталей на изображении, распознавания деталей, расчёта параметров деталей, их ориентации и положения.

Эксперименты проводились на ленточном конвейере фирмы Denford, установленном в лаборатории МГТУ им. Н.Э. Баумана. Система успешно распознавала детали практически без ошибок. При этом максимальное энергопотребление не превышало 10 Вт. Прототип подтвердил возможность создания СТЗ с элементами искусственного интеллекта на выбранной аппаратной платформе. Применение подобных систем в гибких робототехнических комплексах позволит существенно расширить их функциональные возможности.

I.S. Baltashov, A.A. Semakova, O.A. Shmakov

2.5D MAP-BUILDING FOR MOBILE ROBOT TRAVERSABILITY ASSESSMENT

*Russian State Scientific Center for Robotics and
Technical Cybernetics, SPbPU, Saint Petersburg*

i.baltashov@rtc.ru, a.semakova@rtc.ru, shmakov@rtc.ru

И.С. Балташов, А.А. Семакова, О.А. Шмаков

ПОСТРОЕНИЕ 2,5D КАРТЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОХОДИМОСТИ МЕСТНОСТИ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, СПбПУ, Санкт-Петербург

i.baltashov@rtc.ru, a.semakova@rtc.ru, shmakov@rtc.ru

Наряду с использованием автономных роботов внутри помещений растёт интерес к решениям, обеспечивающим возможность автономной работы на открытом воздухе, в условиях пересеченной местности. В случае природной среды функционирования важную роль в навигационной системе робота играет анализ проходимости участка местности. При этом необходимо учитывать и рельеф местности, и

кинематические ограничения робота, и ряд других критериев, играющих роль в оценке оптимальности допустимого положения.

Зачастую роботу не доступна априорная информация о среде функционирования, поэтому адекватным решением для построения карты местности являются SLAM-алгоритмы. Большинство 3D SLAM-алгоритмов для моделирования пространственной геометрии используют облака точек, что обуславливает необходимость разработки алгоритмов анализа проходимости по данным трехмерной точечной карты местности.

В статье предложен алгоритм определения проходимости участка местности роботом по данным трехмерной точечной карты с учетом кинематических ограничений мобильного робота. В отличие от подходов с явной реконструкцией местности, данный алгоритм производит ее неявно (в момент определения параметров проходимости участка) и относится к классу параметрических, использующих геометрические данные. В предлагаемом алгоритме также присутствует механизм определения отрицательных препятствий, который позволяет работать с менее плотными точечными картами местности.

Для определения проходимости соответствующая область точечной карты размером с робота аппроксимируется плоскостью. По данным точечной карты и найденной плоскости определяются параметры проходимости данного участка местности – наклон плоскости, максимальное изменение высоты в ячейки, максимальное расстояние от точек карты до найденной плоскости и равномерность покрытия участка карты. Путем сравнения найденных параметров с характеристиками проходимости конкретного робота, определяется трудность прохождения роботом данного участка местности.

Для экспериментального тестирования алгоритма создана система 2,5D навигации, в которой по данным трехмерной точечной карты строится двумерная весовая карта проходимости.

Проведены практические испытания на базе робототехнических платформ, собранных из комплекта модулей мобильной робототехники. Платформы отличаются типом шасси – гусеничная и колесная, и сенсорной базой для построения карты местности – лидар и RGB-D камера. Испытания проведены на реконфигурируемом стенде, что позволило протестировать систему навигации в различных сценариях. На рисунке 1 представлен пример работы системы навигации при преодолении роботом наклонной ramпы.

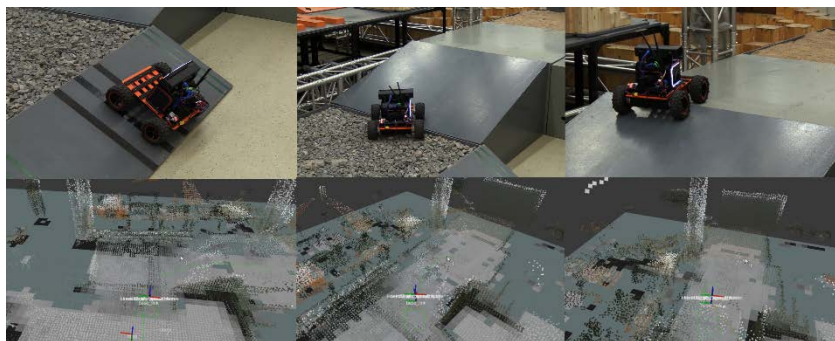


Рисунок 1 – Автономное преодоление наклонных рамп

Результаты экспериментов подтверждают пригодность разработанного алгоритма определения проходимости для решения задачи навигации мобильных роботов в условиях пересеченной местности.

A.V. Bakhshiev, S.R. Orlova, A. Komarov, D.N. Stepanov
**CLASSIFICATION OF SCENARIOS AND ALGORITHMS IN
 TECHNICAL VISION SYSTEMS OF UNMANNED GROUND
 VEHICLES**

*Russian State Scientific Center for Robotics
 and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
 alexab@rtc.ru, s.orlova@rtc.ru, dnstepanov@rtc.ru*

At present, one of the important trends in the development of science and technology is the desire to automate everyday human activities, especially related to prolonged mental or physical exertion, resulting in impaired concentration and fatigue. One of the needs of the modern human is the need for rapid and safe movement. In this regard it is important to create driver assistance systems that monitor the traffic situation, detect people and obstacles, and provide information and warning messages to the driver, as well as recommendations for maneuvers.

In accordance with the specifics of the environment, the speed of the vehicle, the types of obstacles and the degree of determinism of situations, the following list of scenarios for the use of the system can be defined, for example: highway traffic; traffic on a city road; movement along the territory and parking; navigating through intersections.

Each of these scenarios involves the execution of some set of technological operations (TOP).

Examples of such technological operations are improving the quality of the image in poor visibility conditions; using of the surround vision monitoring system providing information about obstacles, traffic objects and the parameters of their relative movement; tracking lanes, maintaining a safe following distance and applying emergency brake; the possibility of overtaking; definition of requirements for traffic parameters of the vehicle in accordance with information from the elements of the road infrastructure (signs, traffic lights).

To ensure the fulfillment of these technological operations, it is necessary to develop algorithms based on deep neural networks (primary detection of the local objects such as road signs, cars, people), methods of invariant tracking based on optical flows, methods of extended object tracking, etc.

At the same time, an important aspect is the integration of data and the construction of motion models for observable objects, as well as an advanced decision-making system.

This research was supported by the Ministry of Education and Science of Russian Federation. Agreement (contract) No. 14.581.21.0022, unique project identifier: RFMEFI58117X0022.

А.В. Бахшиев, С.Р. Орлова, А. Комаров, Д.Н. Степанов
КЛАССИФИКАЦИЯ СЦЕНАРИЕВ И АЛГОРИТМОВ В
СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
alexab@rtc.ru, s.orlova@rtc.ru, dnstepanov@rtc.ru

В настоящее время одной из важных тенденций развития науки и техники является стремление автоматизировать повседневные действия человека, особенно связанные с повышенной концентрацией внимания и высокой утомляемостью. Одной из потребностей современного человека является необходимость быстрого и безопасного передвижения. В этом направлении актуально создание систем помощи водителю транспортного средства, контролирующих дорожную обстановку, обеспечивающих обнаружение людей и препятствий, и выдачу информационных и предупреждающих сообщений водителю, а также рекомендаций по совершению маневров.

В соответствии с особенностями окружающей обстановки, скоростями движения ТС, типами препятствий и степенью детерминированности ситуаций может быть определен следующий перечень сценариев использования, например: движение по магистрали; движение по городской улице; проезд перекрестка и парковка.

Каждый из этих сценариев подразумевает выполнение некоторого набора технологических операций (ТОП) которыми, к примеру, являются: повышение качества изображения в условиях плохой видимости; формирование области кругового обзора вокруг транспортного средства с информацией о препятствиях, объектах дорожного движения и параметрах их относительного движения; отслеживание полосы движения, удержание дистанции и принятие решения о торможении; определение возможности перестроения и обгона; определение требований к параметрам движения ТС в соответствии с информацией от элементов дорожной инфраструктуры.

Для обеспечения выполнения этих технологических операций необходимо разработать алгоритмы, в основу которых могут быть положены глубокие нейронные сети (первичное обнаружение локальных объектов, таких как дорожные знаки, автомобили, люди), методы инвариантного сопровождения, базирующиеся на оптических потоках, методы поиска протяженных объектов и др.

При этом важным аспектом является комплексирование данных и построение моделей движения наблюдаемых объектов, а также развитая система принятия решений.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы». Соглашение о предоставлении субсидии №14.581.21.0022 от 03.10.2017 г. (уникальный идентификатор проекта RFMEFI58117X0022).

V.V. Varlashin, M.A. Ershova, V.A. Bunyakov, O.A. Shmakov
CIRCULAR REVIEW SYSTEM WITH AUGMENTED REALITY
FOR MOBILE ROBOTS CONTROL

*SPbPU, Russian State Scientific Center for
Robotics and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg*
v.varlashin@rtc.ru, m.ershova@rtc.ru, bunyakov@rtc.ru, shmakov@rtc.ru

В.В. Варлашин, М.А. Ершова, В.А. Буняков, О.А. Шмаков
СИСТЕМА КРУГОВОГО ОБЗОРА С ТЕХНОЛОГИЕЙ
ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ
МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ

СПбПУ, ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
v.varlashin@rtc.ru, m.ershova@rtc.ru, bunyakov@rtc.ru, shmakov@rtc.ru

Область применения мобильных роботов (МР) постоянно расширяется. Повышение эффективности информационного взаимодействия оператора с мобильным робототехническим комплексом зависит от сенсорных систем, расположенных на борту комплекса, и методов управления.

Эффективным способом получения информации об окружающей среде является использование систем кругового обзора, визуально обеспечивающих эффект присутствия. Частным случаем таких систем являются устройства, формирующие перспективный вид «от третьего лица» с использованием технологии дополненной реальности, которая совмещает виртуальную модель робота с изображениями, получаемыми с телекамер. Такое совмещение предоставляет оператору информацию о локальном месторасположении робота в рабочем пространстве.

Целью работы является разработка программно-аппаратного комплекса системы кругового обзора для МР с использованием технологий дополненной реальности для построения перспективного вида «от третьего лица». Для этого необходимо решить ряд задач:

- определена структура разрабатываемой системы кругового на базе системы телекамер с перекрывающимися полями зрения;
- разработана методика определения внешних и внутренних параметров телекамер;
- выбран алгоритм объединения входных изображений по критерию минимизации времени выполнения операции;
- разработана модель деформации объединенного изображения с использованием методов проективной геометрии для получения вида «от третьего лица».

При этом основными критериями в ходе разработки аппаратного комплекса являются:

- малые габариты устройства;

- возможность размещения на мобильных робототехнических комплексах легкого и сверхлегкого классов.

К программному обеспечению комплекса предъявляются следующие требования:

- работа в режиме реального времени (обработка и формирование панорамы из потокового видео с частотой 10 Гц и выше);

- низкие требования к вычислительным мощностям для возможности использования в составе носимых пультов дистанционного управления.

Существующие решения, представленные отечественными и зарубежными компаниями, имеют ряд ограничений, не позволяющих использовать их в составе мобильных робототехнических комплексов (ограниченность поля зрения, высокие требования к вычислительным мощностям, не позволяющие обеспечить работу в режиме реального времени).

Предлагаемый программно-аппаратный комплекс призван решить эти недостатки. На рисунке 1 слева представлен внешний вид разрабатываемого модуля, в центре – входное изображение, справа – выходное изображение с видом сверху. В настоящее время работа находится на этапе решения задачи совмещения виртуальной модели робота с изображением с телекамер и получение вида «от третьего лица».



Рисунок 1 – Внешний вид разрабатываемого модуля (слева), входное изображение (в центре) и выходное изображение (справа)

*V.G. Gradetsky, I.L. Ermolov, M.M. Knyazkov,
E.A. Semenov, A.N. Sukhanov*
**GROUP INTERACTION OF UGVs EQUIPED WITH HIGHLY
PROPULSIVE WHEELS**

*Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS,
Moscow, ermolov@ipmnet.ru*

*В.Г. Градецкий, И.Л. Ермолов, М.М. Князьков,
Е.А. Семёнов, А.Н. Суханов*
**ОСОБЕННОСТИ ГРУППОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
РОБОТОВ, ОСНАЩЕННЫХ ДВИЖИТЕЛЯМИ ВЫСОКОЙ
ПРОХОДИМОСТИ, ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЕДИНОЙ
ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ**

*Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН
Москва, ermolov@ipmnet.ru*

В работе рассматривается математическая модель группы роботов, выполняющих задачу групповой транспортировки груза [1], 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.

Предлагается математическая модель одного робота, действующего в группе и 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 [2].

Рассматривается 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 [3] 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.

1. Градецкий В.Г., Ермолов И.Л., Князьков М.М., Семенов Е.А., Собольников С.А., Суханов А.Н., О научных задачах выполнения транспортных операций группой мобильных роботов, Робототехника и техническая кибернетика», № 3, 2016.
2. В.Г. Градецкий, И.Л. Ермолов, М.М. Князьков, Е.А. Семенов, А.Н. Суханов, Силовое взаимодействие мобильного нагруженного робота с грунтом, Мехатроника. Автоматизация. Управление, №12, 2017.
3. Градецкий В.Г., Ермолов И.Л., Князьков М.М., Семёнов Е.А., Собольников С.А., Суханов А.Н Структурно-функциональная модель системы группового управления РТК при выполнении транспортной задачи. В книге: 10-я Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2017) Материалы 10-й Всероссийской мультиконференции в 3-х томах. Ответственный редактор: И.А. Каляев. 2017. С. 265-267. ISBN: 978-5-9275-2429-7 (Т. 2)

A.V. Grivachev, V.O. Avdeev, V.V. Varganov, E.A. Titenko
THE MODIFIED METHOD OF HIERARCHICAL ANALYSIS OF
FOR THE SELECTION OF MOBILE ROBOTOTECHNICAL
COMPLEXES

South West State University, Kursk
garpun-22@gmail.com, v.o.avdeev@gmail.com, npcvvv@yandex.ru,
johnnit@mail.ru

A.B. Гривачев, В.О. Авдеев, В.В. Варганов, Е.А. Титенко
МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ
ОЦЕНКИ НАЗЕМНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСОВ

Юго-Западный государственный университет, г. Курск
garpun-22@gmail.com, v.o.avdeev@gmail.com, npcvvv@yandex.ru,
johnnit@mail.ru

В работе рассматривается задача оценки и выбора лучшей альтернативы из множества исходных вариантов применительно к робототехническим комплексам (РТК). Робототехнические комплексы характеризуются большим набором разнородных структурно-функциональных показателей и различными тактико-техническими характеристиками. Эти особенности обосновывают развитие математических моделей и средств многокритериального анализа сложных технических объектов с частично совпадающими характеристиками [1]. Метод анализа иерархий традиционно используется для решения данной задачи [2].

Ведущий замысел модификации метода связан с пониманием сравниваемых альтернатив как составных объектов, делимых на отдельные подобъекты (подсистемы) [3, 4]. В связи с этим в МАИ появляется дополнительная информация, которая используется для выполнения проверочных и корректирующих шагов.

В МАИ [5, 6] можно выделить следующие этапы: построение иерархии предметной области и формирование критериев оценки объектов, составление матрицы парных сравнений (МПС) критериев, получение вектора приоритетов критериев, т.е. локального вектора весов, оценка степени согласованности МПС критериев, составление квадратной матриц парных сравнений (МПС) объектов по каждому критерию, получение векторов приоритетов объектов по каждому критерию, оценка степени согласованности всех МПС, составление сводной матрицы весов объектов по всем критериям, вычисление глобального вектора приоритетов объектов, выбор наилучшей альтернативы.

В рамках второго этапа метода анализа иерархий для уменьшения потенциально негативного эффекта «экспертской емкости» метода предлагается учитывать структурно-функциональные характеристики важнейших подсистем таких объектов в виде оценки общих и индивидуальных показателей подсистем РТК в критерии. Для этого создан оригинальный способ учета общих и индивидуальных показателей РТК в критерии. В отличие от матрицы парных сравнений **дополнительные таблицы формируются как таблица абсолютных оценок** в нормированной шкале [0-1]. Они по существу являются дополнительной информацией об альтернативах.

Таким образом, разработан модифицированный метод анализа иерархий, отличающийся введением и обработкой общих и индивидуальных показателей подсистем РТК, что позволяет использовать дополнительную информацию для принятия решения при выборе лучшей альтернативы и в системах обработки знаний.

1. Зак Ю. А. Принятие многокритериальных решений М.: Экономика, 2011. 235 с.
2. Халин Ю.А., Лисицин Л.А., Лисицин А.Л. Системы поддержки принятия управленческих решений в условиях неполной информации // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 4-2. С. 95.
3. Лоторев П.В., Курочкин А.Г., Гривачев А.В., Емельянов С.Г. Организация системы поддержки принятия решений для управления группой роботов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. № 3 (16). С. 30-36.
4. Курочкин А.Г., Емельянов С.Г., Бородин М.В. Продукционная модель для координации бесконфликтного расположения группы автономных роботов // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2015. т.13, №6. С. 10-14.
5. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 320 с.
6. Миронова Н.А. Интеграция модификаций метода анализа иерархий для систем поддержки принятия групповых решений // Радиоэлектроника, информатика, управление. 2011. №2. С.47-54.

K.I. Kiy
**IMAGE UNDERSTANDING SYSTEMS BASED ON THE
GEOMETRIZED HISTOGRAMS METHOD**

Keldysh Institute of applied mathematics of RAS, Moscow
konst.i.kiy@gmail.com

The geometrized histograms method attaches to each color image the graph of its color bunches *STG*, which conserves in a strongly compressed form the main geometric and intensity-color information about the image [1]. This makes it possible to solve a big number of problems of describing and understanding images without using the image array itself, which allows us to design real-time image understanding systems. The geometrized histograms method makes it possible to obtain a set of descriptions of essential parts of real objects occurred in the image. Each description contains a geometric section and a section describing intensity-color characteristics of the detected part. New methods that allow us to describe the qualitative and semantic character of the boundaries of selected parts of real objects have been developed [2]. These methods give an opportunity to recognize objects even under partial occlusion. For example, they make it possible to find the road in images of road scenes and to determine its geometrical parameters under conditions when parts of the road are occluded by other traffic participants.

It is supposed to describe in the presentation the methods for constructing image understanding systems on the basis of the developed technique and to illustrate their application on the example of designing systems for analysis of road scenes. To analyze road scenes, a new technique for constructing contours in *STG* that are close to vertical or horizontal ones is introduced. The introduction of these types of contours is motivated by the fact that they are useful in detecting other participants of the traffic. This technique is also useful in finding interesting objects in the vicinity of the road (buildings, fences, etc.).

Additionally, contours of this type allows us to detect vehicles on the road under complex illumination conditions when the body of the vehicle and its glass parts are divided into many more or less homogeneous parts with different color and intensity characteristics.

Image understanding systems have been implemented as a complex of programs written in C++ and operating under Windows and Lunix. Video sequences are processed under Lunix. The quality of program operation has been tested on a big number of images and video sequences taken on Russian roads. The result of one of the processing attempt is presented in Figure 1.



Figure 1 – Processing results for a road scene

The work was partially supported by Russian Foundation for Basic Research, projects no. 16-08-00880 and 18-07-00127.

1. *Kiy K.I.* Segmentation and detection of contrast objects and their application in robot navigation // Pattern Recognition and Image Analysis. 2015. N. 2. P. 338-346.
2. *Kiy K.I.* Adjacency graph of contrast objects –global frame understanding and their application in robot navigation, // Pattern Recognition and Image Analysis. 2018. in print.

К.И. Куй

СИСТЕМЫ ПОНИМАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ОСНОВАННЫЕ НА МЕТОДЕ ГЕОМЕТРИЗОВАННЫХ ГИСТОГРАММ

*Институт прикладной математики им. Келдыша РАН, Москва
konst.i.kiy@gmail.com*

Метод геометризованных гистограмм в реальном времени ставит в соответствие каждому цветному изображению граф его цветовых сгустков *STG*, который в сильно сжатом виде сохраняет основную геометрическую и яркостно-цветовую информацию об изображении [1]. Это позволяет решать большое количество задач описания и понимания изображений без обращения к самому массиву изображения, что делает возможным строить системы понимания изображений реального времени. Метод геометризованных гистограмм позволяет получить набор описаний существенных частей реальных объектов изображения. Каждое описание содержит геометрический раздел и раздел, описывающий яркостно-цветовые характеристики выделенной части. Разработаны методы, которые позволяют описывать

качественный и семантический характер границ выделенных частей реальных объектов [2]. Данные методы позволяют распознавать объекты даже при частичных заслонениях. Например, они позволяют находить дорогу на изображении дорожной сцены и определять ее геометрические параметры в условиях, когда части дороги заслонены другими участниками движения.

В докладе предполагается описать методы построения систем понимания изображений на базе развитой техники и проиллюстрировать их применение на примере построения систем анализа дорожных сцен. Для анализа дорожных сцен вводится новая техника построения контуров на *STG* близких к вертикальным и горизонтальным. Введение таких контуров мотивировано тем, что они полезны при выделении других участников движения. Также такая техника полезна при нахождении интересных объектов в окрестности дороги (здания, заборы, и т.д.). Контур такого типа также позволяют выделять автомобили на дороге в условиях сложного освещения, когда сам корпус автомобиля и его остекление разбиваются на много более или менее однородных частей с различными цветовыми и яркостными характеристиками.

Системы понимания изображений дорожных сцен реализованы в виде комплекса программ написанных на C++ и работающих под Windows и Linux. Обработка видеопоследовательностей реализована под Linux. Качество работы программ проверено на большом количестве изображений и видеопоследовательностей из изображений российских дорог. Результат одной из обработок приведен на Рисунке 1.

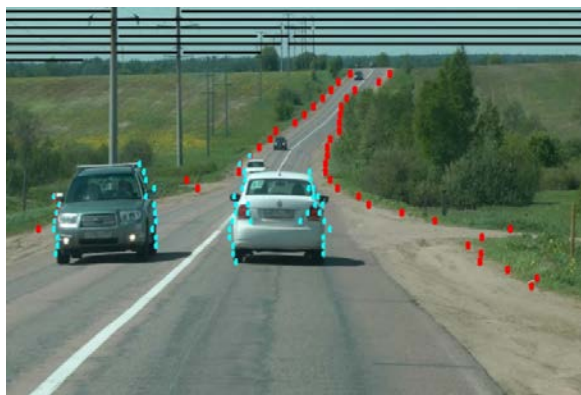


Рисунок 1 – Результаты обработки изображения дорожной сцен

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований проекты по. 16-08-00880 и 18-07-00127.

1. *Kiy K.I.* Segmentation and detection of contrast objects and their application in robot navigation // Pattern Recognition and Image Analysis. 2015. N. 2. P. 338-346.
2. *Kiy K.I.* Adjacency graph of contrast objects –global frame understanding and their application in robot navigation, // Pattern Recognition and Image Analysis. 2018. in print.

E.B. Mustafina

**PROSPECTS FOR APPLICATION OF GENERATIVE
ADVERSARIAL NETWORKS IN ROBOTICS**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
e.mustafina@rtc.ru*

Generative adversarial network (GAN) is promising and rapidly evolving type of deep neural net architectures [1].

Generative adversarial network is an algorithm used in unsupervised machine learning and implemented by a system of two neural networks: one neural network, called the generator (G), generates new data instances, while the other, the discriminator (D), tries to identify inputs coming from the generator as fake. To train a generative network: firstly, a large amount of data in some domain should be collected (for example, images, sounds, trajectories, etc.), and then training a model to generate new data can be started.

The most popular application of the Generative adversarial networks in robotics is generating new samples for datasets in data-limited situations.

Generative adversarial networks can be used for recognizing objects which are unknown to the system. In [2] robot generates the unfamiliar object according to the given semantic description and then tries to find the object which looks the most like the imagined object in its field of view.

Some works are focused on Imitation Learning – the problem of learning to perform a task from expert demonstrations, in which the learner is given only samples of trajectories from the expert, and is not allowed to query the expert for more data while training. For example it is possible to clone human behavior in competitive games [3]. Similarly, any control actions can be reproduced.

1. Goodfellow, I. et al: Generative Adversarial Nets, Advances in neural information processing systems, pp. 2672-2680 (2014).
2. Che, Huimin et al: Enabling Imagination: Generative Adversarial Network-Based Object Finding in Robotic Tasks. ICONIP 2017, Guangzhou, China, November 14–18, 2017, Proceedings, Part VI, pp.100-110.

3. M. Chidambaram and Y. J. Qi, "Style transfer generative adversarial networks: Learning to play chess differently," arXiv: 1702. 06762, 2017.

Э.Б. Мустафина
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕРАТИВНЫХ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В РОБОТОТЕХНИКЕ

ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
e.mustafina@rtc.ru

Генеративно-сопоставительные сети (Generative adversarial network, GAN) являются очень перспективной и быстро развивающейся категорией искусственных нейронных сетей [1].

Генеративно-сопоставительная сеть представляет собой алгоритм машинного обучения без учителя, построенный на комбинации из двух нейронных сетей, одна из которых (сеть G – generative) генерирует образцы, а другая (сеть D – discriminative) старается отличить правильные («подлинные») образцы от неправильных. Процесс обучения генеративной сети выглядит так: собирается достаточно большой массив каких-либо данных (например, изображений, звуков, траекторий и т. д.), а затем сеть обучается генерировать такие данные самостоятельно.

Наибольшее распространение в робототехнике получило применение генеративных сетей в создании дополнительных образцов для обучающих выборок.

Генеративные сети могут быть использованы для распознавания неизвестных системе объектов. Например, в работе [2] представлен алгоритм распознавания на основе семантического описания – сеть генерирует предполагаемое изображение объекта по новому описанию, не присутствующему в обучающей выборке, и ищет этот объект в поле зрения робота.

Проводятся исследования в области имитационного обучения выполнению определенной задачи на основе экспертных демонстраций, при этом обучающемуся предоставляются только экспертные траектории и не предусмотрена возможность запроса у эксперта дополнительной информации в процессе обучения. В работе [3] воспроизведено естественное поведение человека в соревновательной игре. Аналогичным образом могут быть воспроизведены любые управляющие воздействия.

1. Goodfellow, I. et al: Generative Adversarial Nets, Advances in neural information processing systems, pp. 2672-2680 (2014).
2. Che, Huimin et al: Enabling Imagination: Generative Adversarial Network-Based Object Finding in Robotic Tasks. ICONIP 2017,

Guangzhou, China, November 14–18, 2017, Proceedings, Part VI, pp.100-110.

3. M. Chidambaram and Y. J. Qi, "Style transfer generative adversarial networks: Learning to play chess differently, " arXiv: 1702. 06762, 2017.

I.S. Ozhmegov, R.R. Khazanskii

**COMPRESSION OF STREAMING VIDEO FROM A GROUND
ROBOT'S CAMERA FOR COMMUNICATION CHANNELS WITH
LOW BANDWIDTH**

*SPbPU, Russian State Scientific Center for
Robotics and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
elijahozhmegov@gmail.com, r.hazansky@rtc.ru*

И.С. Ожмегов, Р.Р. Хазанский

**СЖАТИЕ ПОТОКОВОГО ВИДЕО С КАМЕРЫ НАЗЕМНОГО
РОБОТА ДЛЯ КАНАЛОВ СВЯЗИ С НИЗКОЙ ПРОПУСКНОЙ
СПОСОБНОСТЬЮ**

*СПбПУ, ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
elijahozhmegov@gmail.com, r.hazansky@rtc.ru*

На сегодняшний день существует ряд программных решений, которые позволяют транслировать видеопоток с камеры беспилотных летательных аппаратов, однако зачастую данное программное обеспечение не может позволить обеспечить стабильный видеопоток, достаточный для управления наземными роботами. Причина этого заключается в том, что в среде распространения электромагнитных сигналов наземных роботов присутствует значительное количество препятствий (таких как деревья, здания и поверхность земли). В результате видеопоток может иметь низкую кадровую частоту или поврежденные кадры даже при низком разрешении.

В связи с вышеизложенным существует необходимость разработки отдельного программного обеспечения для передачи видеопотока для наземных роботов.

В статье исследованы алгоритмы, уменьшающие объем изображения за счет использования одного цветового канала глубиной в 1 бит и проведен сравнительный анализ различных методов сжатия видеопотока.

S.R. Orlova, A.V. Bakhshiev
ROAD SIGN RECOGNITION USING DEEP NEURAL NETWORKS

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
s.orlova@rtc.ru, alexab@rtc.ru*

Recently, there has been an increased interest in the development of technologies for autonomous driving and vehicular automation. In the field of vision systems, this led to the actualization of a variety of tasks related to the recognition of road environment - marking, signs, vehicles, pedestrians, etc. For many such problems, solutions based on classical methods of technical vision (binarization, Haar wavelets and Haar-like features, HOG, SVM etc.) have existed for many years, however, the use of neural networks has made it possible to achieve the accuracy and speed required in most cases.

The report considers the application of deep convolutional neural networks to solve the problem of recognizing Russian road signs, i.e. their detection and classification. Also, the influence of various conditions and learning parameters on the final result is studied.

С.Р. Орлова, А.В. Бахшиев
**РАСПОЗНАВАНИЕ ДОРОЖНЫХ ЗНАКОВ НА БАЗЕ
ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
s.orlova@rtc.ru, alexab@rtc.ru*

В последнее время в мире наблюдается повышенный интерес к развитию технологий автономного вождения и автоматизации транспорта. В области систем технического зрения это привело к актуализации круга задач, связанных с распознаванием дорожной обстановки – разметки, знаков, транспортных средств, пешеходов и т.д. Для множества таких задач уже много лет существуют решения, основанные на классических методах технического зрения (бинаризация, вейвлеты и признаки Хаара, гистограммы направленных градиентов, метод опорных векторов и т.д.), однако применение нейронных сетей позволило достичь требуемых в большинстве случаев точности и скорости работы.

В докладе рассматривается применение глубоких сверточных нейронных сетей для решения задачи распознавания российских дорожных знаков, а именно их обнаружения и классификации. Также изучается влияние различных условий и параметров обучения на конечный результат.

A.A. Piskarev, B.B. Mikhailov
3D-CAMERA AIDED OPERATING SPACE ANALYSIS

Bauman Moscow State Technical University, Moscow
piscariov@gmail.com, borismboris@yandex.ru

А.А. Пискарев, Б.Б. Михайлов
**ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ РАБОЧЕЙ СЦЕНЫ РОБОТА
С ПОМОЩЬЮ 3D-КАМЕРЫ**

МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва
piscariov@gmail.com, borismboris@yandex.ru

Доклад посвящён решению задачи пространственного описания рабочей сцены робота. В качестве основного сенсора выбрана 3D-камера со структурной подсветкой. Исходные данные представлены в виде множества точек в пространстве. Предлагаемый метод описания – аппроксимация точек сцены кусочно-гладкими криволинейными поверхностями. Метод может быть востребован в классе задач, где важна высокая точность локализации линий пересечения поверхностей (стыков, конструкционных элементов, швов): роботизированная сварка, сборка, механическая обработка деталей и т. п.

Цель работы состоит в том, чтобы разработать алгоритм описания сцены криволинейными поверхностями и исследовать его экспериментально.

Приняты следующие допущения: характеристики 3D-камеры, её точность, углы зрения и рабочие расстояния известны и могут использоваться в расчётах. Имеется базовый набор поверхностей, формирующих сцену (библиотека поверхностей). Предполагается, что поверхности сцены заданы уравнениями с небольшим числом параметров. Также предполагается, что для каждого из уравнений библиотеки известен диапазон значений их параметров.

Для каждого уравнения из библиотеки поверхностей выполняется оценка параметров. Выбирается уравнение, описывающее поверхность, окрестность которой содержит наибольшее количество точек сцены. Результаты оценки используются в качестве начального приближения в процедуре аппроксимации точек сцены, после чего в сцене повторно выделяются точки, попадающие в окрестность полученной поверхности. Точки удаляются из сцены и процедура повторяется, пока сцена содержит существенное количество точек.

От оценки начального приближения непосредственно зависит выбор используемого метода оптимизации, также оценка влияет на классификацию точек сцены и на выбор типа искомой поверхности. Для оценки выбран метод анализа взаимного расположения нормалей с последующим вычислением параметров искомым поверхностей на

основе их геометрических свойств. Для этого в различных участках сцены строятся нормали к поверхности, которые комбинируются попарно, далее для каждой пары нормалей вычисляется ряд зависящих от типа искомой поверхности параметров (радиус цилиндра или сферы, угол раствора конуса и т.п.). Если эти параметры определяются однозначно, оценка признаётся удовлетворительной и используется на следующем этапе аппроксимации.

Оценки параметров, полученные на предыдущем этапе, подставляются в уравнение предполагаемой поверхности. Формируется окрестность, которой принадлежит часть точек сцены. Для выбранных точек решается задача оптимизации: вычисляются параметры, при которых количество точек, имеющих допустимое отклонение от искомой поверхности, максимально. С помощью полученных на предыдущем этапе оценок строится множество возможных значений параметров поверхности. Так как целевая функция невыпуклая, используются стохастические методы оптимизации.

Были исследованы сцены, содержащие составные криволинейные поверхности. В докладе приведены несколько примеров в виде сочетаний цилиндрических, конических и сферических поверхностей. Каждая из сцен представлена точками, удовлетворяющими некоторому параметрическому уравнению поверхности с точностью до заданного отклонения. Также каждая сцена содержит неоднородности: подмножества точек, для которых отклонение от искомым поверхностям превышают заданную величину. В результате эксперимента для каждой из сцен были определены тип и параметры поверхностей, составляющих сцену; локализованы неоднородности; получены описания линий пересечения поверхностей (стыков). При этом точки сцены объединялись в группы по признаку принадлежности той или иной поверхности, что дало возможность классифицировать объекты на сцене.

В ходе работы смоделирован алгоритм аппроксимации точек сцены криволинейными поверхностями, реализован метод оценки параметров поверхностей, а также выполнена классификация точек сцены по признаку их принадлежности искомым поверхностям. Подтверждена работоспособность предложенных методов. В результате была решена задача пространственного анализа рабочей сцены робота с использованием 3D-камеры.

A.V. Rozhnov, V.K. Goydenko
DECENTRALIZED CONTROL OF HETEROGENEOUS
AUTONOMOUS ROBOTS IN GROUPS

V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, rozhnov@ipu.ru

This research was supported by the Presidium of the Russian Academy of Sciences, Program No 30 "Theory and Technologies of Multi-level Decentralized Group Control under Confrontation and Cooperation".

А.В. Рожнов, В.К. Гойденко
О МЕТОДАХ КООРДИНАЦИИ ДЛЯ
ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ
ГЕТЕРОГЕННЫМИ ГРУППАМИ АВТОНОМНЫХ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

ИПУ РАН, Москва, rozhnov@ipu.ru

В докладе представлены актуальные вопросы анализа и синтеза методов координации для децентрализованного управления группами автономных агентов и их приложение для гетерогенной робототехники.

В результате обобщения, систематизации и адаптации протоколов сетевого децентрализованного управления движением групп агентов по заданной траектории с соблюдением динамической формации [1], предлагается, в том числе, выделить ряд следующих вопросов [2-5]:

разработка и развитие методов согласования иерархических решений, прогнозирования и предотвращения конфликтов движения агентов при пересечении траекторий нескольких их независимых формаций;

разработка и экспериментальная реализация алгоритмов сценарного планирования и координации действий гетерогенных групп агентов при выполнении многоэтапных прикладных задач;

разработка и исследование протоколов и топологий информационных связей в прикладных задачах группового патрулирования.

Так, в частности, развитие методов согласования иерархических решений в проводимых комплексных исследованиях обосновываются на известном утверждении [1], что любая невырожденная процедура взвешенного усреднения мнений агентов в многоагентной системе может быть асимптотически приближена процедурой Де Гроота, оргграфом влияний который является гамильтонов цикл с петлями. Причём вес дуги цикла, входящей в каждую вершину, обратно пропорционален "влиянию" агента, представленного такой вершиной.

Конверсионные тенденции поисковых и прикладных исследований гетерогенной робототехники непосредственно отражены в сценарном планировании и координации действий гетерогенных групп агентов при выполнении многоэтапных прикладных задач (в различных топологиях информационных связей для примеров группового патрулирования) [6].

Работа подготовлена при поддержке Программы Президиума РАН №30 "Теория и технологии многоуровневого децентрализованного группового управления в условиях конфликта и кооперации".

1. Агаев Р.П., Чеботарев П.Ю. Представление дискретной процедуры согласования характеристик с помощью циклического орграфа // Автоматика и телемеханика. 2012. № 1. С. 178-183.
2. A. Rozhnov, I.Lobanov. Investigation of the joint semantic environment for heterogeneous robotics // Proceedings of the 10th International Conference "Management of Large-Scale System Development" (MLSD). 2017. - URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/8109678>.
3. V. Nechayev, V. Goncharenko, A. Rozhnov, A. Lychev, I. Lobanov. Integration of virtual semantic environments components and generalized DEA model // CEUR Workshop Proceedings (CEUR-WS.org): Selected Papers of the XI International Scientific-Practical Conference Modern Information Technologies and IT-Education (SITITO 2016, Moscow, Russia), vol. 1761 (Code 125485), pp. 339-347, 2016. - URL: <http://ceur-ws.org/Vol-1761>.
4. А. Алексеев. Системы управления боем американской армии. Текущее положение и ориентированная на будущее стратегия модернизации. - URL: <https://topwar.ru/64190-sistemy-upravleniya-boem-amerikanskoy-armii-tekuschee-polozhenie-i-orientirovannaya-na-budushee-strategiya-modernizacii.html>.
5. V. Abrosimov, S. Ryvkin, V. Goncharenko, A. Rozhnov, I. Lobanov. Identikit of Modifiable Vehicles at Virtual Semantic Environment / Proceedings - 2017 International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment, OPTIM 2017 and 2017 International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics, ACEMP 2017. Brasov, Romania: IEEE, pp. 905-910, 2017.
6. Proceedings of the Permanent Scientific Seminar (ISC RAS): "Control Science of Autonomous Systems," [item 1-29]. – Moscow, Russia, 2017-2018, (in Russian). [Online]. Available: <http://www.ipu.ru/smart>.

S.M. Sokolov, A.A. Boguslavsky, N.D. Beklemishev
**SYSTEM OF INFORMATION SUPPORT OF MOBILE MEANS
PURPOSEFUL MOVEMENTS ON THE BASIS OF THE
INTERPRETING NAVIGATION**

*Keldysh Institute of Applied Mathematics RAS, Moscow
sokolsm@keldysh.ru*

С.М. Соколов, А.А. Богуславский, Н.Д. Беклемишев
**СИСТЕМА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ МОБИЛЬНЫХ
СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ИНТЕРПРЕТИРУЮЩЕЙ НАВИГАЦИИ**

*ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва
sokolsm@keldysh.ru*

В русле таких тенденции развития современной мобильной робототехники, как переход к практическому использованию беспилотных устройств с повышенной степенью автономности и полностью автономных; возрастание роли систем технического зрения в части систем информационного обеспечения [1-3] во многих лабораториях ведутся активные исследования методов оптической навигации. Технические возможности современных сенсорных и вычислительных систем открывают всё новые и новые возможности использования систем технического зрения в качестве источников информации о внешней среде. Одним из наиболее перспективных подходов в этой области является подход SLAM [4, 5] и качественная навигация [6].

В работе предлагается реализация системы информационного обеспечения мобильных средств на основе использования унифицированной модульной системы технического зрения и алгоритмического обеспечения, реализующего методы отечественного варианта качественной навигации – интерпретирующей навигации (ИН) [7, 8]. Суть интерпретирующей навигации заключается в том, что положение мобильного средства в пространстве определяется не в абсолютной системе координат (АСК), а на основе динамики изменений описания видимой окрестности среды. Аналогом количественной модели в АСК выступает иная, качественная модель, - граф информационной эквивалентности (ГИЭ). ИН предлагает один из способов реализации SLAM – концепции, общей методологии для решения двух задач:

- 1) представления знаний об окружающем пространстве (построение карты исследованного пространства);
- 2) построение траектории движения робота в этом представлении/карте

Рассматривается программно-аппаратная архитектура систем информационного обеспечения целенаправленных перемещений мобильных средств с использованием СТЗ, включающих различные регистрирующие блоки (поля зрения).

Приводятся примеры реализации описанной архитектуры с использованием двух регистрирующих блоков – всенаправленного (с оптической системой типа «рыбий глаз») и стереосистемы для информационного обеспечения целенаправленных перемещений различных мобильных средств. Обсуждаются пути дальнейшего развития методов интерпретирующей навигации.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантом РНФ №16-19-10705 и грантом РФФИ №16-08-01282.

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.
3. Ellery A. Rover vision – fundamentals / Planetary Rovers, Springer, 2016, pp.199-262.
4. Mur-Artal Raúl, Tardós Juan D. ORB-SLAM: Tracking and mapping recognizable features // MVIGRO Workshop at Robotics Science and Systems (RSS), Berkeley, USA. — 2014.
5. SLAM in realistic environments. <http://www.nada.kth.se/utbildning/forsk.utb/avhandlingar/lic/020220.pdf>
6. Levitt T.S., Lawton D.T. Qualitative navigation for mobile robots. // "Artif. Intell.", 1990, v. 44, pp.305-360.
7. Кирильченко А.А., Платонов А.К., С.М. Соколов. Теоретические аспекты организации интерпретирующей навигации мобильного робота. //М.: Препринт Ин-та прикл. матем. им. М.В. Келдыша РАН, 2002, N 5, 40 с.
8. 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.

M.D. Tuv, R.R. Khazanskii
**THE DEVELOPMENT OF THE COMMUNICATION PROTOCOL
LIBRARY FOR MECHATRONIC DEVICES**

*Russian State Scientific Center for Robotics and
Technical Cybernetics, SPbPU, Saint Petersburg
m.tuv@rtc.ru, r.hazansky@rtc.ru*

М.Д. Тув, Р.Р. Хазанский
**РАЗРАБОТКА БИБЛИОТЕКИ КОММУНИКАЦИОННОГО
ПРОТОКОЛА ДЛЯ МЕХАТРОННЫХ УСТРОЙСТВ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, СПбПУ, Санкт-Петербург
m.tuv@rtc.ru, r.hazansky@rtc.ru*

В статье проведен сравнительный анализ различных физических интерфейсов и протоколов канального уровня, а также кодов обнаружения и исправления ошибок. Разработка библиотеки коммуникационного протокола обусловлена потребностью в унификации программного обеспечения для управления мехатронными устройствами и необходимостью абстрагировать высокоуровневую коммуникационную логику от протоколов физического и канального уровня.

На текущий момент предложенный протокол поддерживает работу поверх интерфейсов RS-485 и CAN. Для передачи данных различного объема протокол включает в себя два формата сообщений для каждого интерфейса: короткий формат с максимальной длиной пакета прикладного уровня 15 байт для RS-485 и 7 байт для CAN и длинный формат с максимальной длиной 255 байт и 1528 байт соответственно.

В статье рассмотрены различные коды обнаружения и исправления ошибок, применяющиеся для уменьшения влияния шумов на передаваемые данные. В результате сравнительного анализа данных методов кодирования, выбран циклический избыточный код (CRC), обладающий низкой сложностью вычислений при высокой способности обнаружения ошибок при передаче данных.

I.S. Fomin, A.V. Bakhshiev, V.V. Tseluiko
**OBJECT CLASSIFICATION IN VIDEO SURVEILLANCE SYSTEM
USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
i.fomin@rtc.ru, alexab@rtc.ru*

Video surveillance and access control systems based on large number of indoor and outdoor video cameras and other sensors that work on different physical principles become more and more popular. Amount of information produced by surveillance system is very large and human operator is not able to process all information. This mean that object detection automation and different sensors data integration are required to simplify process of decision making. Ideally, human must be excluded from the system and all process should be automated. This increase robustness and performance of such systems.

This is a reason why nowadays many companies developing systems for automation of indoor and outdoor video surveillance, that can detect objects and process alerts without operator or with minimal help from human. Most of such systems based on filtration input video frames by time and position of pixel in frame. Mostly automated surveillance systems solve a problem of detection of situation when there is moving in some area of the frame or when one or more objects are intersecting border of restricted area. After detection system usually form an alert using set of simple rules (moving in restricted direction, with wrong speed, in selected area, etc.). Many of such systems also use simple classification algorithms by simple objects parameters like speed, size, color, etc. [1, 2]

Problem of object detection in very hard conditions (complicated moving on the background, occlusions from weather and light sources, uncontrollable camera oscillation and tremble) today is not solved, because even very complicated algorithms not able to take into account all problems that can occur in process of work with real video. Such interferences results in false detections and missed objects.

Simple classifiers based on object parameters in video surveillance system algorithms frequently are not able to choose right type of the object. For example it can occur when objects have low contrast with background or parameters of rectangle around detected object are incorrect, such problems results in wrong classification. Impossibility of confident and right interpretation of object type increase number of false alerts produced by system.

Nowadays method of object classification using convolutional neural networks became very popular. This approach reach a popularity in middle 2000-s when humans learned how to utilize GPU matrix math performance

for neural network calculation. Object classification quality increased many times in last ten years and neural networks have reached fascinating results [3].

We propose to use convolutional neural networks for classification of objects, which detected by video surveillance system. High-precision object classification allow to decrease false detection probability when there is no object and give confident information about object type. Using information about object size and type it is easy to set up more tight filtration parameters (allowed speed, trajectory, etc.) that increase robustness of object tracking. Also, this allow system to process different alerts for different object types.

1. Статья: обзор систем видеонаблюдения [электронный ресурс] // UControl | интернет-магазин видеонаблюдения. URL: <http://www.ucontrol.ru/videonabludenie/> (Дата обращения – 04.06.2014).
2. Verma G., Gautam S., Agarwal R., Saxena S., Verma D. (2018) Implementation of Smart Video Surveillance System Using Motion Detection Technique. In: Urooj S., Virmani J. (eds) Sensors and Image Processing. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 651. Springer, Singapore.
3. K. Chatfield, K. Simonyan, A. Vedaldi, A. Zisserman. Return of the Devil in the Details: Delving Deep into Convolutional Nets // British Machine Vision Conference, 2014
4. Vassilios Tsakanikas, Tasos Dagiuklas. Video surveillance systems-current status and future trends // Computers & Electrical Engineering. 2017.

И.С. Фомин, А.В. Бахшиев, В.В. Целуйко
**КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМЕ
ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ СВЕРТОЧНОЙ
НЕЙРОННОЙ СЕТИ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
i.fomin@rtc.ru, alexab@rtc.ru*

Системы охранного телевидения и контроля доступа на основе большого количества видеокамер наружного и внутреннего наблюдения, а также датчиков иной физической природы становятся все более распространенными. Количество информации, которое производит любая подобная система, настолько велико, что человек-оператор физически не способен его обработать, в связи с этим требуется автоматизация обнаружения объектов и интеграция с данными от других систем, для того, чтобы упростить работу человеку, в идеале полностью исключив его из процесса принятия решения. Это повысит надежность и скорость работы подобных систем.

По этой причине в настоящее время выполняется разработка систем для автоматизации работы наружного и внутреннего видеонаблюдения, которые должны автоматизировать процесс обнаружения объектов. Подавляющее большинство таких систем основывается на использовании пространственно-временной фильтрации регистрируемого видеопотока. В основном подобные системы решают задачи обнаружения движения в заданной области кадра или определение факта пересечения одним или несколькими нарушителями границы контролируемой зоны и формирования тревоги в соответствии с простым набором правил (движение в недопустимом направлении, с недопустимой скоростью и т.п.). Во многих подобных системах реализуется также простейшая классификация объектов по их простейшим параметрам, таким как скорость, размер, преобладающий цвет и т.п. [1, 2].

Задача обнаружения объектов в сложной обстановке (сложное движение на фоне, метеопомехи, засветка, неконтролируемое раскачивание камеры) до сих пор остается нерешенной, так как даже очень сложные алгоритмы неспособны учесть все проблемы, которые возникают в процессе эксплуатации. В результате подобных помех неизбежны ложные срабатывания.

Простейшие классификаторы, основанные на параметрах объекта в системы видеонаблюдения, зачастую неспособны верно интерпретировать тип обнаруженного объекта, к примеру, в случае, когда объекты имеют неодинаковую контрастность по сравнению с фоном, зоны обнаружения объектов могут иметь некорректные параметры размера, и как следствие неверно классифицироваться. Невозможность качественно интерпретировать тип объекта повышает количество ошибочных срабатываний, выдаваемых системой.

На сегодняшний день набрал популярность способ классификации объектов с использованием сверточных нейронных сетей. Активные работы в этом направлении начались с середины 2000-х годов, когда появился способ использовать вычислительные ресурсы графического процессора для расчета нейронных сетей. Качество классификации объектов с тех пор многократно возросло, и современные сети демонстрируют выдающиеся результаты в этом направлении [3].

Предлагается использовать сверточные нейронные сети для классификации объектов, которые обнаружены системой видеонаблюдения. Классификация объектов с высокой точностью позволит снизить вероятность ложного срабатывания в случае отсутствия объекта, а также позволит с достаточной точностью определить тип обнаруженного объекта. Имея данные о типе объекта можно назначить более точные пределы фильтрации по допустимым

скоростям и иным параметрам системы обнаружения объектов, что повысит надежность сопровождения [4].

1. Статья: обзор систем видеонаблюдения [электронный ресурс] // UControl | интернет-магазин видеонаблюдения. URL: <http://www.ucontrol.ru/videonabludenie/> (Дата обращения – 04.06.2014).
2. Verma G., Gautam S., Agarwal R., Saxena S., Verma D. (2018) Implementation of Smart Video Surveillance System Using Motion Detection Technique. In: Urooj S., Virmani J. (eds) Sensors and Image Processing. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 651. Springer, Singapore.
3. K. Chatfield, K. Simonyan, A. Vedaldi, A. Zisserman. Return of the Devil in the Details: Delving Deep into Convolutional Nets // British Machine Vision Conference, 2014
4. Vassilios Tsakanikas, Tasos Dagiuklas. Video surveillance systems-current status and future trends // Computers & Electrical Engineering. 2017.

A.G. Kurochkin, P.V. Lotorev, V.V. Varganov, E.A. Titenko
**THE SCHEME OF THE DATA INTEGRATION FOR THE
CONTROL SYSTEM OF THE MOBILE ROBOT**

South West State University, Kursk
ak76.kursk@gmail.com, pashik_email@mail.ru, npcvvv@yandex.ru

A.Г. Курочкин, П.В. Лоторев, В.В. Варганов, Е.А. Титенко
**СХЕМА КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ**

Юго-Западный государственный университет, г. Курск
ak76.kursk@gmail.com, pashik_email@mail.ru, npcvvv@yandex.ru

В работе рассматривается системный подход к созданию иерархической системы управления (СУ), способной комплексировать разнородные данные для последующего анализа и самостоятельного принятия решений на борту робототехнического комплекса (РТК). Предлагается структурная организация СУ в виде иерархической системы, декомпозируемой на нижний и верхний уровни управления. Такая декомпозиция экономит ресурсы и обеспечивает автономность выполняемых роботом работ [1].

СУ верхнего уровня имеет комбинированную структуру, сочетающую кибернетические принципы управления и элементы искусственного интеллекта (база знаний, вывод на основе правил и др.) [2,3].

Важнейшее место в обеспечении принятия решения отводится схеме комплексирования разнородных данных от различных датчиков и сенсоров (видео, радары, лидары и др.). Комплексирование – это синхронизированное по времени совмещение измеренных характеристик, имеющих общую начальную точку в единой системе координат. Благодаря совмещению выходных потоков от различных типов датчиков система технического зрения (СТЗ) может построить непротиворечивую и полную модель окружающей среды.

Данная схема комплексирования является модульной по составу и конвейерной по схеме вычислений (рис.). Она может расширяться или сокращаться до номенклатуры имеющихся в подвижном роботе технических средств измерения, съемки, сканирования. Эта возможность делает применимой схему для представительного класса подвижных роботов и задач обработки данных на словесном, реляционном и более высоких уровнях абстракции [4].

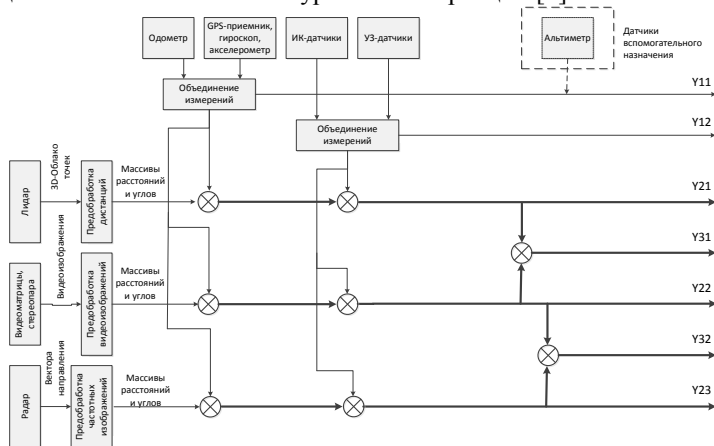


Рисунок – Схема комплексирования разнородных данных

Важнейшим этапом комплексирования является третий уровень. На нем объединяются в пары источники данных, имеющие общий измеряемый признак (дистанции, удаления, расстояния) в виде массивов различной размерности. При этом в паре операндов на комплексирование выделяется стробирующий (селективный) процесс, по которому осуществляется выделение синхронизированных данных из массива измерений (второй операнд) для последующей обработки.

Таким образом, создана СУ, имеющая два уровня управления для иерархического объединения данных и построения модели окружающей среды. Ядро СУ составляет специальный модуль комплексирования разнородных данных в составе СТЗ на основе конвейерной обработки m массивов измерений. Этот модуль

осуществляет парные объединения и агрегацию информации для последующего самостоятельного принятия решений на борту подвижного робота.

1. Макаров И.М., Лохин В.М. Интеллектуальные системы автоматического управления. М.: Наука, 2001. 576 с.
2. Люгер Дж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. М.: Вильямс. 2003. 864 с.
3. Лоторев П.В., Курочкин А.Г. Гривачев А.В. Математическая модель динамической коррекции маршрута подвижного робота // Научное издание. 2016. Т. 17. № 3. С. 21-25.
4. Довгаль В.М., Титов В.С., Титенко Е.А. Стратегии быстрых символьных вычислений для исчислительной производственной системы // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2008. Т. 51. № 2. С. 44-47.

E. V. Umnikov

THE TECHNICAL ORGANISATION OF INTERACTION OF MODELS OF CONTROL SYSTEMS WITH ELEMENTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN A SIMULATION OF THE INTERACTION OF ROBOTS WITH THE USE OF THE VIRTUAL TRAINING SPACE

*Inter-regional public institution "Institute of Engineering Physics,
Serpukhov, rtk@ifmail.ru*

1. Report topic, purpose, objectives.
2. Intelligent control system (ICS):
 - definition of key terms;
 - generalized ICS structure, connections with other subsystems of robotic complex (RC);
 - features of ICS with elements of artificial intelligence;
 - what is considered a model ICS model as a software structure, the model as a separate control unit;
 - virtual training space (VTS), applicable models of control system.
3. The internal interactions of the components of ICS and simulation system of the robot vehicle within the VTS.
4. Внешнее взаимодействие компонентов ICS, VTS и других RC: (ICS RC – оператор, ICS RC – RC, взаимодействие в группе ICS RC, группы ICS RC – оператор, взаимодействие групп ICS RC – супервизор VTS)

External interaction components, ICS, VTS and other RC: (ICS RC – the operator, ICS RC – RC, the interaction in the groups of ICS RC, groups of ICS RC – the operator, the interaction between groups of ICS RC – VTS supervisor).

5. Conditions and constraints imposed by VTS-based simulation:
- hardware and software limitations of the VTS server component;
 - performance limitations of transport network communication channels, for example – Ethernet and TCP/IP protocols;
 - software and hardware limitations of the «client side»;
 - необходимые и возможные упрощения и допущения.
6. Levels of interaction ICS:
- transport-physical level;
 - connection management level;
 - the application layer (your own tasks / group tasks).
7. Classification of types of information circulating between VTS-based simulation participants:
- raw sensor and telemetry information (internal / external);
 - basic-operational results of the internal analysis and forecast of changes in the internal state of the RC and the external environment, in the passive mode of functioning of the RC and in the implementation of the current strategy of action of the RC;
 - advanced-tactical results of the analysis and forecast of the situation (assessment of actions taking into account the probability of a possible reaction to the actions of RC) , including assessment of the chances and risks of performing group tasks;
 - command-imperative group information;
 - «General VTS» command-imperative information.
8. The role of the symbolic language for the organization of interaction, targeting, designation of objects, processes, evaluation of the results of interaction, the importance of the maximum approximation to the simplified natural language. The amount of information transmitted according to the classes and requirements for the data transmission channel, the potential importance of consistency with other systems.
1. Umnikov E.V., Grachev V.A., Murashov A.G. The concept of a virtual multi platform for the robotic systems simulation test - materials of the XI All-Russian Scientific and Practical Conference "Perspective Systems and Management Problems"; South Federal University. - Rostov-on-Don: Publishing house of the Southern Federal University, T. 2. - 2016.
 2. Bugakov I.A., Kupriyanov A.I., Umnikov V.N., Umnikov E.V. Development of complex information processing in modern and perspective control and management systems. // News of the Institute of Engineering Physics, 2013. № 3 (29). С. 54-57.
 3. Emelyanov S.G., Atakishiev O.I., Popov S.A. Features of models based on stochastic attribute metagram for group control of unmanned aerial vehicles - News of South-West state University. Series: Management, computer science. Medical instrumentation. 2015. № 4 (17). С. 14-22.

4. Atakishiev O.I., Atakishiev I.V. features of management of the choice of strategies and training programs in intelligent tutoring systems based on metagram approach - Science and education: current trends. 2014. № 1 (3). С. 49-78.

Е.В. Умников

**ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ, С
ЭЛЕМЕНТАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА, ПРИ
ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
РОБОТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО ПОЛИГОНА**

*Межрегиональное общественное учреждение «Институт
инженерной физики», г. Серпухов, rtk@iifmail.ru*

1. Тема доклада, цель, задачи.
2. Интеллектуальные системы управления (ИСУ):
 - определение ключевых терминов;
 - обобщенная структура ИСУ, связи с другими подсистемами РТК;
 - особенности ИСУ с элементами искусственного интеллекта;
 - что считать моделью ИСУ, модель как программная структура, модель как отдельный программно-аппаратный модуль;
 - виртуальный полигон (ВП), применимые модели системы управления.
3. Внутреннее взаимодействие компонентов ИСУ и системы имитации робота-носителя в ВП.
4. Внешнее взаимодействие компонентов ИСУ, ВП и других РТК: (ИСУ РТК – оператор, ИСУ РТК – РТК, взаимодействие в группе ИСУ РТК, группы ИСУ РТК – оператор, взаимодействие групп ИСУ РТК – супервизор ВП).
5. Условия и ограничения, накладываемые моделированием с применением ВП:
 - программно-аппаратные ограничения от серверной составляющей ВП;
 - ограничения быстродействия каналов связи транспортной сети, к примеру - Ethernet и протоколов ТСР/IP;
 - программно-аппаратные ограничения «клиентской стороны»;
 - необходимые и возможные упрощения и допущения.
6. Уровни взаимодействия ИСУ:
 - транспортно-физический уровень;
 - уровень управления соединениями;
 - прикладной уровень (собственные задачи / групповые задачи).
7. Классификация видов информации, циркулирующей между участниками ВП:

- черновая сенсорно-телеметрическая информация (внутренняя / внешняя);

- базовые-оперативные результаты внутреннего анализа и прогноза изменений внутреннего состояния РТК и внешнего окружения, при пассивном режиме функционирования РТК и при реализации вариантов текущей стратегии действий РТК;

- продвинутые-тактические результаты анализа и прогноза развития ситуации (оценка действий с учетом вероятности возможной реакции на действия РТК), включая оценки шансов и риски выполнения групповых задач;

- командно-императивная групповая информация;

- «общепolygonная» командно-императивная информация.

8. Роль символического языка для организации взаимодействия, целеуказания, обозначения объектов, процессов, оценки результатов взаимодействия, важность максимального приближения к упрощенному естественному языку. Объем передаваемой информации по классам и требования к каналу передачи данных, важность потенциальной совмещаемости с другими системами.

1. Е.В. Умников, В.А. Грачев, А.Г. Мурашов Концепция многоцелевого виртуального робототехнического полигона - материалы Одиннадцатой Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления»; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, Т. 2. – 2016.
2. Бугаков И.А., Куприянов А.И., Умников В.Н., Умников Е.В. Развитие комплексной обработки информации в современных и перспективных системах контроля и управления. // Известия Института инженерной физики, 2013. № 3 (29). С. 54-57.
3. Емельянов С.Г., Атакищев О.И., Попов С.А. Особенности моделей на основе стохастических атрибутивных метаграмматик для группового управления беспилотными летательными аппаратами - Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2015. № 4 (17). С. 14-22.
4. Атакищев О.И., Атакищева И.В. Особенности управления выбором стратегий и программ обучения в интеллектуальных обучающих системах на основе метаграмматического подхода - Наука и образование: современные тренды. 2014. № 1 (3). С. 49-78.

*A. Митревский, С. Тодука, А. Ортега Саинс, М. Шебель,
П. Нагель, П.Г. Плегер, Э. Прэсслер*
**ПРАКТИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РОБОТА: УВЕЛИЧЕНИЕ
НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

*Кафедра университета прикладных наук Бонн-Рейн-Сиг, Санкт-
Аугустин, Германия*

*aleksandar.mitrevski, santosh.thoduka, argentina.ortega,
maximilian.schoebel, paul.ploeger, erwin.prassler@h-brs.de,
patrick.nagel@smail.inf.h-brs.de*

*A. Mitrevski, S. Thoduka, A. Ortega Sáinz, M. Schöbel,
P. Nagel, P.G. Plöger, E. Prassler*
**PRACTICAL ROBOT DEPLOYMENT:
TOWARDS AN INCREASED DEPENDABILITY OF
ROBOTIC SYSTEMS**

*Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Sankt Augustin, Germany
aleksandar.mitrevski, santosh.thoduka, argentina.ortega,
maximilian.schoebel, paul.ploeger, erwin.prassler@h-brs.de,
patrick.nagel@smail.inf.h-brs.de*

Abstract

Robot deployment in realistic environments is challenging despite the fact that robots can be quite skilled at a large number of isolated tasks. One reason for this is that robots are rarely equipped with powerful introspection capabilities, which means that they cannot always deal with failures in an acceptable manner; in addition, manual diagnosis is often a tedious task that requires technicians to have a considerable set of robotics skills. In this paper, we discuss our ongoing efforts to address some of these problems. In particular, we (i) present our early efforts at developing a robotic black box and consider some factors that complicate its design, (ii) explain our component and system monitoring concept, and (iii) describe the necessity for remote monitoring and experimentation as well as our initial attempts at performing those. Our preliminary work opens a range of promising directions for making robots more usable and reliable in practice.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ/
MODELING OF ROBOTIC COMPLEXES**

I.L. Ermolov¹, B.S. Lapin², S.A. Sobolnikov²
**SOFTWARE FOR DEVELOPMENT, MODELING AND
OPERATION OF MULTI-ROBOT CONTROL SYSTEMS**

¹ *Institute for Problems in Mechanics of RAS*

² *MSTU "STANKIN", Moscow*

ermolov@ipmnet.ru

И.Л. Ермолов¹, Б.С. Лапин², С.А. Соболевников²
**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РАЗРАБОТКИ,
МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ
ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ**

¹ *Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского*

Российской академии наук (ИПМех РАН), Москва,

² *МГТУ "СТАНКИН", Москва*

ermolov@ipmnet.ru

В настоящее время количество исследований в области группового применения [1] автономных наземных мобильных роботов (АНМР) неуклонно растет. Это связано с повышенными функциональными возможностями группы АНМР и рядом других преимуществ [2]. Однако в большинстве исследований не уделяется достаточного внимания важной проблеме влияния взаимодействия двигателя АНМР с подстилающей поверхностью [3] на управление группой. Это взаимодействие осложняет планирование и управление координированным движением группы в случае нахождения ее членов на участках с различными свойствами грунта. Поэтому возникает актуальная задача учета взаимодействия каждого агента группы с подстилающей поверхностью при разработке системы группового управления АНМР (СГУР).

Разработка такой СГУР - это сложная комплексная задача [2], которая подразумевает создание программно-алгоритмического обеспечения, и его исследование путем моделирования и натурального эксперимента. При этом на всех этапах создания СГУР, а также при ее эксплуатации, для сокращения времени и упрощения процесса разработки целесообразно использовать один и тот же программный инструмент.

В докладе представлен программный комплекс для разработки, моделирования и эксплуатации СГУР. Отличительной особенностью комплекса является возможность моделирования различных типов

подстилающей поверхности и инвариантность к конкретным моделям СГУР и АНМР. Структура программного комплекса представлена на рисунке 1.

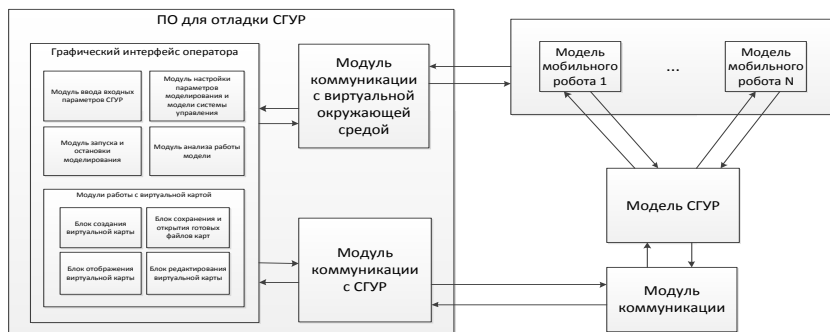


Рисунок 1 – Структура программного комплекса

Программный комплекс обладает специализированным графическим интерфейсом пользователя для моделирования группового взаимодействия роботов. Комплекс позволяет: создавать виртуальную карту среды с различными грунтами и препятствиями; задавать начальное положение АНМР, объекта для перемещения, начальной траектории движения; задавать параметры моделирования и виртуальной среды; проводить анализ работы модели. Кроме компьютерного моделирования, программный комплекс предполагает возможность отслеживания работы системы группового управления в реальных условиях. Тогда виртуальная карта создается в соответствии с реальной картой местности.

В докладе будут представлены примеры функционирования программного комплекса.

Работа поддержана грантом РФФИ №16-29-04199 офу_м.

1. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М.: Физматлит, 2009. – 278 с.
2. Градецкий В.Г., Ермолов И.Л., Князьков М.М., Семенов Е.А., Собольников С.А., Суханов А.Н., О научных задачах выполнения транспортных операций группой мобильных роботов, «Робототехника и техническая кибернетика», №3, 2016.
3. Градецкий В.Г., Ермолов И.Л., Князьков М.М., Семенов Е.А., Собольников С.А., Суханов А.Н., Силовое взаимодействие мобильного нагруженного робота с грунтом, "Мехатроника. Автоматизация. Управление", №12, 2017.

V.V. Arykantsev, A.A. Goncharov, V.V. Chernyshev
MODELING OF CONTACT INTERACTION OF SUPPORT
ELEMENTS (STOP) WALKING MOVER WITH THE GROUND
UNDER CONDITIONS OF COMPLEX LOADING

Volgograd State Technical University, dtm@vstu.ru

В.В. Арыканцев, А.А. Гончаров, В.В. Чернышев
МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ОПОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (СТОП) ШАГАЮЩЕГО
ДВИЖИТЕЛЯ С ГРУНТОМ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО
НАГРУЖЕНИЯ

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

В работе обсуждаются результаты исследований напряженного состояния грунта под воздействием стоп шагающего движителя.

Моделирование механики контакта стопы шагающего движителя с грунтом проводилось при помощи пакета конечно-элементного моделирования ANSYS. Сформулирована пространственную контактная задача для жесткой стопы, взаимодействующей с шероховатой опорной поверхностью – неоднородным полупространством, упругопластическое поведение материалов которого задается в виде нелинейных зависимостей между деформациями и напряжениями, а также схематизированных диаграмм упругопластических материалов. Задача решалась при наличии сил линейного трения в областях контакта, определяемых в рамках закона Амонтона, в условиях сложного нагружения внешними силами, приведенными к шарниру стопы – нормальными силами, формирующими области контакта и касательными силами, инициирующими скольжение. Исследованы стопы различных форм.

Результаты работы могут быть востребованы при проектировании шагающих роверов и планетоходов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 16-08-01109-а, 18-38-00624 мол-а.

V.M. Bitny-Shlyakhto, I.A. Vasilyev
**DEVELOPMENT OF THE PRINCIPLES OF INVESTIGATION
AND CARTOGRAPHY OF THE WORKING ZONE OF ROBOTS**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
v_bitny@rtc.ru, vas@rtc.ru*

The tasks of survey and mapping are similar in the sense of constructing the rules of motion of the robot. For the survey, it is required to survey all sections of the working area (RZ), to build the map, it is required to "see" all the obstacles (at least from the "outside" side). In the case of a single robot, the task is to build such a trajectory to survey all the points of the working area (the "filling line" in this metric).

For a number of robots, the task is similar: it requires a working area to be divided into sections, the number of which should be equal to the number of robots. The size of a specific area, without additional information, can be set directly proportional to the speed of a particular robot. For additional information, we understand the complexity of a possible trajectory in a given section. For example, one site is a labyrinth, and the other is a clean area.

To receive the preliminary information (if there is no more exact) it is possible and at the initial stage: having analyzed the scans received from laser range finders of robots. The analysis should be two-stage:

1. Analysis of free zones. That is, it is required to determine what percentage of free space is in this sector of the work area. In other words, the ratio of free space to the total area of this sector of the working area, visible from this position;

2. Broken line scan. How much the scan line is broken in this sector. On this indicator it is possible to judge with a certain degree of probability the "labyrinth-like" of this sector of the working area.

The two analyzes described above make it possible to optimally distribute the load to the grouping robots. Therefore, it is desirable to carry out such an analysis quite often, if possible, to conduct such monitoring continuously. At the same time, it is possible to quickly change tasks for different grouping robots, which can dramatically shorten the time for examination and mapping of the work area.

In this paper, the principles of this analysis and the distribution of loads on group robots are discussed in detail.

В.М. Битный-Шляхто, И.А. Васильев
РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ И
КАРТОГРАФИРОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ РОБОТОВ

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

Задачи обследования и картографирования сходны в смысле построения правил движения робота. Для обследования требуется обозреть все участки рабочей зоны (РЗ), для построения карты требуется «увидеть» все препятствия (во всяком случае, с «внешней» стороны). В случае единственного робота задача заключается в построении такой траектории, чтобы обозреть все точки рабочей зоны («заполняющей линии» в данной метрике).

Для множества роботов задача аналогична: требуется рабочую зону разбить на участки, количество которых должно равняться количеству роботов. Размер конкретного участка, не имея дополнительной информации, можно задавать прямо пропорционально скорости конкретного робота. Под дополнительной информацией здесь понимаем сложность возможной траектории на данном участке. Например, один участок представляет собой лабиринт, а другой – чистую площадку.

Получить предварительную информацию (если нет более точной) можно и на начальном этапе: проанализировав сканы, полученные с лазерных дальномеров роботов. Анализ должен быть двухступенчатый:

1. Анализ свободных зон. То есть, требуется определить, какой процент свободного пространства есть в данном секторе рабочей зоны. Другими словами, отношение свободного пространства к общей площади данного сектора рабочей зоны, видимого с данного положения;

2. Изломанность линии сканирования. Насколько линия сканирования изломана в данном секторе. По этому показателю можно с определённой долей вероятности судить о «лабиринтоподобности» данного сектора рабочей зоны.

Описанные два анализа позволяют оптимальнее распределять нагрузку на роботов группировки. Поэтому подобный анализ желательно осуществлять довольно часто, по возможности проводить подобный мониторинг постоянно. При этом возможно оперативно менять задания для разных роботов группировки, что может резко сократить время на обследование и картографирование рабочей зоны.

В работе подробно рассматриваются принципы данного анализа и распределение нагрузок на роботов группировки.

O.P. Goidin¹, I.L. Ermolov², S.A. Sobolnikov¹
ROBSIM SOFTWARE FOR MOBILE ROBOTS MODELING

¹ FSUE VNIIA, Moscow

*² Institute for Problems in Mechanics of RAS
crer@vniia.ru, ermolov@ipmnet.ru*

О.П. Гойдин¹, И.Л. Ермолов², С.А. Собольников¹
**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ROBSIM ДЛЯ
МОДЕЛИРОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ**

¹ ВНИИА им. Н.Л. Духова, Москва

*² Институт проблем механики им. А.Ю. Иилинского
Российской академии наук (ИПМех РАН), Москва,
crer@vniia.ru, ermolov@ipmnet.ru*

Мобильный робот (МР) – это комплексная система со сложной структурно-функциональной схемой [1,2]. Функциональное назначение любого МР определяет специфические требования к его конструкции, техническим возможностям шасси, навесного оборудования и одновременно определяет характерные особенности окружающей среды и обстановки, в которых МР должен в полном объеме реализовывать заложенный в него функционал. Подтверждение правильности технических решений, закладываемых на этапе разработки в конструкцию МР, требует большого объема макетирования и изготовления нескольких опытных образцов, что приводит к большим материальным и временным затратам.

Альтернативой, по мнению авторов, является метод математического моделирования и трехмерной визуализации МР и его окружения. Такое моделирование позволяет оценить функциональную эффективность МР в конкретных условиях окружающей обстановки, определить целесообразность принимаемых решений, сократить существенную часть полевых испытаний, осуществить выбор оптимального плана выполнения технологических операций, в том числе в группе.

Таким образом, для мобильной робототехники актуальной задачей является применение программного комплекса, позволяющего проводить моделирование функционирования МР в рабочей среде на всех этапах жизненного цикла. Такой программный комплекс должен предоставлять разработчику полный набор возможных подсистем для реализации МР, а также удобный механизм модификации моделей и создания виртуальных сцен.

В качестве такого инструмента может быть использован комплекс математического и графического моделирования RobSim, который

разработан и применяется на практике в Центре робототехники ВНИИА им. Н.Л. Духова.

Последняя версия комплекса RobSim предоставляет полный функционал для разработки моделей МР любой сложности. При этом описывается движитель, основные массогабаритные параметры, информация о полезной нагрузке, датчиках и т.д. Также RobSim предоставляет инструментарий для разработки модели рабочей среды МР. Рабочая среда может описываться достаточно детально с варьированием точек и интенсивности освещения, наличием препятствий с определенными физическими свойствами и т.п. Описывается система управления МР, которая позволяет реализовывать любые по типу и сложности алгоритмы управления. При этом управление моделью может осуществляться как с реального поста управления МР, так и с его программной модели, полностью копирующей реальную. Управление МР осуществляется в дистанционном (ручном) или автономном режиме. Во время моделирования оценивается состояние всех подсистем МР. При этом на основе законов механики моделируется ситуационное поведение МР, оцениваются возможные коллизии, столкновения с препятствиями, опрокидывание МР, взаимодействие с элементами среды и т.д. Оператор может "наблюдать" за поведением МР по формируемым изображениям «бортовых» телекамер, "поставленных стационарно в помещении", с соседних МР или с выбранной точки пространства.

Данный комплекс математического и графического моделирования может использоваться как для моделирования МР с целью оценки конструктивных решений и возможностей системы управления еще на стадии разработки, так и в качестве тренажера для обучения операторов реально эксплуатируемых МР [3].

1. Ермолов И.Л., Хрипунов С.П., Благодарящее И.В., Хрипунов С.С., Типовая структурно-функциональная схема робототехнических комплексов военного назначения, "Информационно-измерительные и управляющие системы", №6, 2017.
2. Ермолов И.Л., Хрипунов С.П., Формирование обобщенной структурной схемы робототехнических комплексов, "Робототехника и техническая кибернетика", № 1, 2017.
3. Ермолов И.Л., Никитин В.Н., Соболевников С.А.. Интерактивный тренажер для операторов мобильных роботов с элементами актуальной адаптации, "Мехатроника, автоматизация, управление", №9, 2010, — с.45-51.

I.L. Ermolov
ERGONOMICS ISSUES OF ROBOTS' WORKSPACE

Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics RAS, Russia, Moscow
ermolov@ipmnet.ru

И.Л. Ермолов
ВОПРОСЫ ЭРГНОМИКИ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА РТК

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва
ermolov@ipmnet.ru

Повышение эффективности различных РТК, применяемых как в промышленности, так и в других областях является актуальной задачей. Прежде всего, это касается вопросов точности и производительности РТК, условий их применения, а также общей их стоимости.

По мнению автора, многими потребителями роботов недооценены потенциальные возможности применения оптимизационных методов и алгоритмов, позволяющих повысить функциональную эффективность РТК без внесения каких-либо изменений в аппаратную часть РТК. На практике при решении многих задач применения РТК, он рассматривается как "физическая точка" с гомогенной рабочей зоной. Например, эта тенденция наглядна при планировании движений мобильных и промышленных роботов.

Однако по результатам исследований кинематики и динамики [3] [4] очевидно, что рабочая зона большинства кинематических схем манипуляторов не является гомогенной и анизотропна с точки зрения показателей свойств манипулятора.

Отсюда вытекает вывод о том, что если расположить траекторию движения РТК в частях рабочей зоны, более благоприятных с точки зрения его функциональных показателей, то будет получены повышение качества выполнения операций без внесения изменений в механическую компоненту [1]. Похожий подход рассмотрен и у других исследователей, например в [2].

Следует отметить, что предложенный подход может учитывать не только кинематические, динамические и жесткостные свойства самого манипулятора, но и системы "манипулятор-базовая платформа-грунт" [1] в целом, что является более комплексным методом анализа.

На основании предложенного метода пользователь получает достаточно универсальный инструмент, позволяющий повысить эффективность применения РТК.

Работа выполнена при поддержке Программы №29 Президиума РАН "Актуальные проблемы робототехнических систем".

1. И.Л. Ермолов, Повышение эффективности манипуляторов роботов путём оптимизации расположения траекторий в рабочей зоне, в

- книге: 10-я Всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2017) Материалы 10-й Всероссийской мультиконференции в 3-х томах. Ответственный редактор: И.А. Каляев. 2017. С. 265-267. ISBN: 978-5-9275-2429-7 (Т. 2)
2. Nikolaus Vahrenkamp, Tamim Asfour and Rudiger Dillmann, Robot Placement based on Reachability Inversion, Proc. 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) Karlsruhe, Germany, May 6-10, 2013.
 3. Афонин В.Л., Морозов А.В., Управление технологическими роботами для механообработки, М.: ИМАШ, 1995.
 4. С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко. Основы управления манипуляционными роботами : учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности "Работы и робототехн. системы" - Изд. 2-е, испр. и доп. - М. : Изд-во МГТУ, 2004. - 478, [1] с. : ил., табл.; 24 см. - (Робототехника).; ISBN 5-7038-2567-9 : 2000.

I.L. Ermolov, S.P. Khripunov
**GROUP INTERACTION OF UGVs EQUIPED WITH HIGHLY
PROPULSIVE WHEELS**

Scientific Council on Robotics and Mechatronics of RAS, Russia, Moscow
ermolov@ipmnet.ru

И.Л. Ермолов, С.П. Хрипунов
**ПРОБЛЕМЫ ГРУППОВОГО ПРИМЕНЕНИЯ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ
И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

Научный совет по робототехнике и мехатронике РАН, Москва
ermolov@ipmnet.ru

В настоящее время особая роль в обеспечении национальной безопасности и обороны государства отводится военной робототехнике. Темпы развития военной робототехники определяют уровень технологического превосходства средств вооруженной борьбы и облик перспективных роботизированных армий.

В силу прогнозируемого характера войн будущего, проявляющегося, в том числе, в противоборстве группировок боевых роботов, важнейшим направлением в области роботизации вооруженных сил является отработка технологий группового применения однотипных, разнотипных робототехнических комплексов военного назначения (РТК), а также обеспечения совместных действий с обычными (экипажными) средствами вооруженной борьбы [1].

Групповое применение РТК подразумевает совместные согласованные действия нескольких боевых единиц роботов,

направленные на решение общей задачи и реализацию целевого назначения группы [2].

Главным преимуществом группового применения РТК является возможность достижения синергетического эффекта, состоящего в существенном увеличении боевого потенциала группы по сравнению с отдельно взятыми боевыми единицами роботов [3].

Помимо этого, групповое применение роботов даёт преимущества в обеспечении надёжности, расширении функциональных диапазонов применения, оперативном перераспределении ресурсов между РТК группы, усложнение для противника организации противодействия группе РТК, возможность реализации принципиально новых сценариев вооруженной борьбы [4].

Не смотря на очевидные достоинства группового применения, оно пока не нашло широкого внедрения в практику военной робототехнике.

Причиной такого положения является ряд проблемных факторов, прямо или косвенно сдерживающих распространение группового применения РТК. Данные факторы можно условно разделить на проблемные факторы организационно-технического характера и проблемные факторы научно-технического характера.

К числу основных проблемных факторов организационно-технического характера относятся следующие:

- нечеткость понятийного аппарата «групповое применение РТК»;
- низкий уровень проработки тактики и сценариев группового применения РТК;
- несовершенство подходов по обоснованию выбора метода управления группой РТК;
- недостаточный уровень алгоритмического обеспечения группового применения РТК;
- отсутствие требований к обеспечению группового применения РТК;
- непроработанность нормативных документов по групповому применению РТК;
- несформированность методического обеспечения системы испытаний группового применения РТК.

Проблемные факторы научно-технического характера включают:

- низкий уровень автономности РТК;
- отсутствие средств обеспечения безопасности при групповом применении РТК;
- отсутствие унифицированных интерфейсов и протоколов обмена данными для обеспечения группового применения РТК;
- низкая скрытность, защищенность и пропускная способность каналов связи и управления РТК;

- недостаточная проработка программно-аппаратных средств для организации группового применения РТК;
- отсутствие интеллектуальных человеко-машинных интерфейсов управления групповым применением РТК;
- низкая техническая оснащенность экспериментально-испытательной базы для проведения проверок и испытаний группового применения РТК.

В качестве основных направлений развития технологий РТК в обеспечение их группового применения предлагаются следующие:

- повышение уровня автономности РТК;
- развитие средств обеспечения безопасности группового применения РТК;
- разработка тактики и сценариев группового применения РТК;
- унификация и стандартизация интерфейсов взаимодействия РТК;
- увеличение скрытности и устойчивости каналов связи и управления РТК;
- уточнение понятийного аппарата и тактики группового применения РТК;
- расширение возможностей интерфейсов «оператор – группа РТК»;
- разработка методического обеспечения и создание технических средств для экспериментально-испытательной базы проведения проверок и испытаний группового применения РТК.

1. Попов И.М., Хамзатов М.М. Война будущего: Концептуальные основы и практические выводы. Очерки стратегической мысли. – 2-е изд., испр. – М.: Кучково поле, 2017.
2. Хрипунов С.П., Васильев С.В., Благодарящев И.В. Методический подход к синтезу интеллектуальной информационно-управляющей системы группового применения робототехнических комплексов военного назначения // Москва: Радиотехника, Информационно-измерительные и управляющие системы, №2, т. 15, 2017.
3. Буравлев А.И., Русанов И.П. Модель оценки эффективности боевых систем // Военная мысль, 2009, №5.
4. Ермолов И.Л., Актуальные вопросы группового применения РТК ВН, Труды второй Военно-научной конференции «Роботизация Вооруженных Сил Российской Федерации», Москва, 2017. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

O.M. Kapustina
**MANIPULABILITY AND MOTION PLANNING
OF KUKA YOUBOT ROBOT**

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

The mobile manipulator KUKA youBot is widely used in education and research [1]. It is often taken in the process of experimental verification of the correctness of various models, methods and algorithms [2,3]. It is useful to have an idea about the kinematic and dynamic properties of the robot. In this paper the results of an analytic investigation of KUKA youBot manipulability [4] $w = \sqrt{\det(JJ^T)}$, J is a Jacobi matrix for mapping the eight-dimensional space of generalized coordinates of a system consisting of the platform and the robot's arm to a six-dimensional space of the location parameters of the end effector are presented. The character of the dependence of w on the generalized coordinates is established, the configurations of the maximum manipulability are found, requirements to the control law of the platform motion in order to ensure a high degree of manipulability under a given law of end effector motion are formulated.

1. <http://www.youbot-store.com/>
2. Sharma S., Kraetzschmar G., Scheurer C. Unified Closed Form Inverse Kinematics for the KUKA youBot // Proceedings of ROBOTIK / 7-th German Conference on Robotics, 2012. P. 1-6.
3. Avanzini G. Buizza, Zanchettin A. M. , Rocco P. Reactive Constrained Model Predictive Control for Redundant Mobile Manipulators // Proceedings of the 13th International Conference Intelligent Autonomous Systems, IAS-13 (Springer International Publishing 2016) pp. 1301–1314.
4. Yoshikawa T., Manipulability of robot mechanisms, International Journal of Robotics Research, 4 (2) (1985), pp. 3-9.

O.M. Капустина
**МАНИПУЛЯТИВНОСТЬ И ПЛАНИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЙ
РОБОТА КУКА YOUBOT**

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

Мобильный манипулятор KUKA youBot широко используется в образовании и научных исследованиях [1]. Он часто применяется в

процессе экспериментальной проверки корректности различных моделей, методов и алгоритмов [2,3]. При этом полезно иметь представление о собственных кинематических и динамических свойствах робота. В настоящей работе приведены результаты аналитического исследования манипулятивности [4] KUKA youBot

$w = \sqrt{\det(JJ^T)}$, J – матрица Якоби отображения восьмимерного

пространства обобщённых координат системы, состоящей из платформы и руки робота, в шестимерное пространство параметров локации его рабочего органа. Установлен характер зависимости w от обобщённых координат, найдены конфигурации наибольшей манипулятивности, сформулированы требования к закону управления движением платформы, обеспечивающим сохранение высокой манипулятивности при заданном законе движения рабочего органа.

1. <http://www.youbot-store.com/>
2. Sharma S., Kraetzschmar G., Scheurer C. Unified Closed Form Inverse Kinematics for the KUKA youBot // Proceedings of ROBOTIK / 7-th German Conference on Robotics, 2012. P. 1-6.
3. Avanzini G. Buizza, Zanchettin A. M. , Rocco P. Reactive Constrained Model Predictive Control for Redundant Mobile Manipulators // Proceedings of the 13th International Conference Intelligent Autonomous Systems, IAS-13 (Springer International Publishing 2016) pp. 1301–1314.
4. Yoshikawa T., Manipulability of robot mechanisms, International Journal of Robotics Research, 4 (2) (1985), pp. 3-9.

O.N. Krakhmalev

OBJECT-ORIENTED MODELING OF MANIPULATION ROBOTS

*Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia
olegkr64@mail.ru*

О.Н. Крахмалев

ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ РОБОТОВ

*ФГБОУ ВО «Брянский государственный
технический университет», г. Брянск
olegkr64@mail.ru*

Рассмотрены методы составляющие методологию моделирования движения манипуляционных систем роботов, реализованную на основе объектно-ориентированного подхода. Объектно-ориентированный подход реализуется путём выделения в структуре данных и алгоритмов,

используемых при моделировании, базовых классов, на основе которых создаются другие более сложные классы, из которых уже непосредственно формируются математические модели. В качестве базовых классов выделены геометрическая и инерционная модели манипуляционных систем. Дается определение и обоснование геометрической и инерционной моделей. Последующее определение классов, наследующих свойства базовых, позволяет использовать объектно-ориентированный подход при составлении математических моделей манипуляционных систем и программировании алгоритмов, реализующих эти модели. Рассмотрен метод визуального конструирования математических моделей, состоящий в том, что различные математические модели строятся из отдельных, независимых друг от друга, частей-объектов. Эти части в свою очередь могут состоять из других более простых частей. В основе таких составных частей находятся объекты базовых классов или объекты, наследующие их свойства. Обосновывается использование метода целенаправленных структурных мутаций в моделях механизмов, который позволяет создавать приближенные модели механизмов, в частности манипуляционных систем, путём модификаций их математических моделей. Модификация проводится в некоторых местах структурной схемы математической модели путём замены выбранных объектов на альтернативные им объекты. Применение данного метода позволяет компенсировать влияние случайных факторов, не учитываемых аналитической моделью.

A.N. Mozhaev

SEGMENTATION OF POINT CLOUDS BY MEANS OF POINT CLOUD LIBRARY

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
a.mozhaev@rtc.ru*

The need to select objects in data sets obtained with the help of sensors arises in modern robotics quite often. This is required for solving such problems as: filtering and improving the quality of data obtained, gathering information about the environment, building maps of the terrain. The selection of objects manually requires a long time and painstaking work of the operator. For this reason, the automation of the process of selecting objects in data sets is currently a promising direction. [1].

Quite often, the material for segmentation is a point cloud obtained by the robot during the mission. Usually a point cloud is obtained as a result of laser scanning and sometimes with other methods. [2].

The open source Point Cloud Library (PCL) includes many modern algorithms for working with point clouds. The purpose of the work was to evaluate the possibility of using PCL segmentation algorithms for solving object selection problems. [3].

As the initial data, a point cloud was used, obtained by the multi-angle reconstruction of the stereo camera data collected by a ground mobile robot inside the building. The data were filtered by StatisticalOutlierRemoval and VoxelGrid PCL methods. Selection of objects was carried out by means of PCL: SACSegmentation and RegionGrowing.

1. Ni Huan, Lin Xiangguo, Zhang Jixian. Classification of ALS Point Cloud with Improved Point Cloud Segmentation and Random Forests. Remote Sensing 2017, 9(3), 288, MDPI, Switzerland.
2. Vo Anh-Vu, Truong-Hong Linh, Laefer Debra F, Bertolotto Michela. Octree-based region growing for point cloud segmentation. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 2015, Volume 104, p. 88-100.
3. What is PCL? [Web resource] // pcl. URL: <http://https.www.pointclouds.org/about/> (accessed 15.01.2018).

А.Н. Можяев

СЕГМЕНТАЦИЯ ОБЛАКОВ ТОЧЕК С ПОМОЩЬЮ СРЕДСТВ БИБЛИОТЕКИ POINT CLOUD LIBRARY

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

Необходимость выделения объектов в массивах данных, полученных при помощи сенсоров, возникает в современной робототехнике достаточно часто. Это требуется для решения таких задач как: фильтрация и повышение качества полученных данных, сбор сведений об окружающей обстановке, построение карт местности. Выделение объектов вручную требует длительного времени и кропотливой работы человека-оператора. По этой причине автоматизирование процесса выделения объектов в массивах данных является на данный момент перспективным направлением. [1].

Достаточно часто материалом для сегментации является облако точек, полученное роботом во время выполнения миссии. Как правило облако точек получается в результате лазерного сканирования, но встречаются и другие методы. [2].

Открытая библиотека Point Cloud Library (PCL) включает в себя множество современных алгоритмов для работы с облаками точек. Целью работы была оценка возможности использования алгоритмов сегментации PCL для решения задач выделения объектов. [3].

В качестве исходных данных использовалось облако точек, полученное методом многокурсовой реконструкции данных стереокамеры, собранных наземным мобильным роботом внутри здания. К ним были применены методы фильтрации из библиотеки PCL: *StatisticalOutlierRemoval* и *VoxelGrid*. Выделение объектов производилось средствами PCL: *SACSegmentation* и *RegionGrowing*.

1. Ni Huan, Lin Xiangguo, Zhang Jixian. Classification of ALS Point Cloud with Improved Point Cloud Segmentation and Random Forests. *Remote Sensing* 2017, 9(3), 288, MDPI, Switzerland.
2. Vo Anh-Vu, Truong-Hong Linh, Laefer Debra F, Bertolotto Michela. Octree-based region growing for point cloud segmentation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 2015, Volume 104, p. 88-100.
3. What is PCL? [электронный ресурс] // pcl. URL: <http://https.www.pointclouds.org/about/> (Дата обращения 15.01.2018).

V.V. Chernyshev, V.V. Arykantsev
**INVESTIGATION OF DYNAMICS OF WALKING ROBOTS
MOVING ALONG THE BOTTOM**

Volgograd State Technical University
vad.chernyshev@mail.ru

В.В. Чернышев, В.В. Арыканцев
**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ШАГАЮЩИХ РОБОТОВ
ПЕРЕДВИГАЮЩИХСЯ ПО ДНУ**

Волгоградский государственный технический университет
vad.chernyshev@mail.ru

Изучение и промышленное освоение ресурсов морского дна требует специальных подводно-технических средств. Существующие машины передвигающиеся по дну (подводные бульдозеры, самоходные донные добычные агрегаты, кабелеукладчики и др.) имеют, как правило, гусеничный движитель. В подводных условиях шагающие машины, в сравнении с гусеничными и колесными машинами, обладают более высокими тяговыми свойствами и лучшей грунтовой и профильной проходимостью.

В докладе обсуждаются результаты исследований направленных на создание необитаемых шагающих робототехнических систем передвигающихся по дну. На базе моделирования динамики шагающих роботов при их движении в подводной среде и испытаний в условиях реального дна опытного образца шагающего робота МАК-1, исследованы некоторые особенности динамики их передвижения.

Предложены рекомендации по оптимизации параметров глубоководных шагающих роботов различных типоразмеров. Проведена модельная оценка тяговых свойств и проходимости глубоководных шагающих роботов «тяжелой» весовой категории.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-08-01109-а и стипендии президента РФ СП-5102.2018.1.

L.Yu. Vorochaeva, A.V. Malchikov, A.A. Postol'niy
APPROACHES TO DESIGNING WHEELED JUMPING ROBOT

Southwest State University, Kursk
mila180888@yandex.ru, zveroknnp@gmail.com, a.postolny@mail.ru

Л.Ю. Ворочаева, А.В. Мальчиков, А.А. Постольный
ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ КОЛЕСНОГО
ПРЫГАЮЩЕГО РОБОТА

Юго-Западный государственный университет, г. Курск
mila180888@yandex.ru, zveroknnp@gmail.com, a.postolny@mail.ru

Рассматриваемый в работе колесный прыгающий робот состоит из корпуса 1, колесной платформы 2 со специальным рычагом 3 для изменения ее конфигурации и разгонного модуля 4. В качестве колесной платформы данный робот использует трансформируемую, имеющую две конфигурации, одна из которых позволяет роботу перемещаться на колесах по неровной и пересеченной местности (рисунок 1, а), а другая используется для перепрыгивания препятствий (рисунок 1, б). Основу разгонного модуля, посредством которого происходит отрыв робота от поверхности, составляет пружина сжатия и привод, осуществляющий ее взведение.

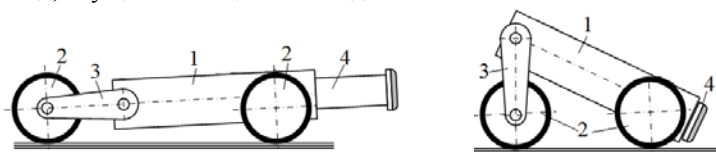


Рисунок 1 – Конфигурации колесного прыгающего робота

В работе рассмотрены основные подходы к проектированию прототипа такого робота, приведена последовательность расчетов, базирующаяся на исходных данных, которыми являются масса робота, его габаритные размеры и требуемая высота вертикального прыжка. В результате выполнения расчетов по изложенной методике могут быть определены мощности приводов и передаточные отношения

редукторов, что позволит осуществить выбор этих компонентов, а также параметры пружины сжатия разгонного модуля.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 18-31-00075.

P.K. Shubin, E.A. Voronov, K.G. Matarenka
**APPROACH TO THE REALIZATION METHODOLOGY OF
RELIABILITY CALCULATION OF ROBOTIC SYSTEMS AND
THEIR COMPONENTS**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
shubin@rtc.ru*

П.К. Шубин, Е.А. Воронов, К.Г. Моторенко
**ПОДХОД К МЕТОДИКЕ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТА
НАДЕЖНОСТИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И ИХ
СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ**

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

В докладе предлагаются методические рекомендации по порядку определения номенклатуры показателей надежности, требованиям к построению и содержанию расчёта количественных показателей надежности сложных робототехнических комплексов (РТК) и их составных частей. При этом учитываются особенности, связанные с требованиями к разработке комплексов в рамках государственного оборонного заказа, в соответствии с положениями действующих государственных стандартов, модели применения сложного РТК, тактико-технического задания ТТЗ (ТЗ) и стандарта предприятия.

Даётся подробное описание и рекомендации по основным этапам проведения расчета надежности:

- анализу исходных данных и определение номенклатуры показателей надежности изделия и его составных частей.
- анализу структуры изделия и рекомендации по расчёту показателей надежности изделия и его составных частей.
- оценке необходимого и достаточного состава комплекта ЗИП;
- формулировке выводов и заключения.

Подчеркивается, что расчет надежности разрабатывается на основе требований ТТЗ (ТЗ), схемы деления РТК, номенклатуры составных частей, структурно-функциональной схемы расчета надёжности, карт рабочих режимов, перечня элементов, с использованием справочников «Надежность электрорадиоизделий» и автоматизированной справочно-информационной системы по расчету надежности РЭА (АСРН-6).

A.S. Gabriel, V.N. Ulanov, S.G. Chupro
**OPTIMIZATION OF THE DESIGN CALCULATION OF
FRICTION PLANETARY GEARS WITH FORCE CLOSURE
BY ELASTIC RINGS**

*Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg
a.gabriel@rtc.ru*

Abstract

The algorithm for optimizing the design calculation of friction planetary gears with force closure by elastic rings is given.

Key words: friction transfer, optimization calculation, algorithm.

A.C. Габриель, В.Н. Уланов, С.Г. Чупров
**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЕКТНОГО РАСЧЁТА ФРИКЦИОННЫХ
ПЛАНЕТАРНЫХ ПЕРЕДАЧ С СИЛОВЫМ ЗАМЫКАНИЕМ
УПРУГИМИ КОЛЬЦАМИ**

*Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого, Санкт-Петербург
a.gabriel@rtc.ru*

Аннотация

Приведён алгоритм оптимизации проектного расчёта фрикционных планетарных передач с силовым замыканием упругими кольцами.

Ключевые слова: фрикционная передача, оптимизационный расчёт, алгоритм.

В настоящее время широкое развитие и распространение получили различные конструкции фрикционных планетарных передач. Главным их достоинством является низкий уровень вибраций при больших передаточных отношениях и высоких скоростях входного вала. Такие передачи являются перспективными для использования в различных механических системах спутников, поскольку длительное время могут работать без вибраций и не требуют смазки. Широкое применение таких передач сдерживается недостаточной разработанностью методик их проектирования, а также ограниченностью сведений об износе их элементов при длительной работе.

Приведён [1] следующий алгоритм машинного расчёта передачи: исходя из геометрических и кинематических соотношений, назначаются размеры элементов передачи при недеформированных кольцах. Затем, при пошаговом увеличении диаметра входного вала определяются действующие в кольцах усилия и напряжения, расчётная передаваемая мощность. Процесс повторяется до тех пор, пока

возникающие напряжения не приблизятся к пределу выносливости материала колец.

Такой подход, однако, не гарантирует оптимальных параметров фрикционной передачи.

Под оптимизацией понимается нахождение минимально возможных значений размеров, при которых обеспечивается передача требуемого крутящего момента или требуемой мощности без потери прочности.

Исходными данными для оптимизационного расчёта являются размеры поперечного сечения и диаметр кольца (b , h , d), максимальное расчётное нормальное напряжение σ_0 , значение допускаемого циклического нормального напряжения $[\sigma_0]$.

Кратко предлагаемый оптимизационный расчёт можно представить в следующем виде: уменьшение поперечного сечения кольца, расчёт интегральных характеристик напряжённого состояния, максимального нормального напряжения и проверка условия прочности на каждом шаге.

Выполнение алгоритма прекращается, как только возникающее напряжение превысит заданное допускаемое, и окончательными принимаются размеры, определённые на предыдущем шаге.

Заметим, что представленный алгоритм не учитывает износ в паре кольцо-ролик. Исследование износа – вопрос экспериментальный, поэтому планируется провести серию испытаний, результаты которых будут впоследствии включены в алгоритм с целью коррекции оптимизированных размеров.

1. <https://elibrary.ru/item.asp?id=26180483>.

A.V. Vazaev, V.P. Noskov, I.V. Rubtsov
**COMBINED MODEL IN TOOL EQUIPPED MOBILE ROBOT
CONTROL SYSTEM**

Bauman Moscow State Technical University (BMSTU)
vazaev@bmstu.ru, noskov_mstu@mail.ru

A.B. Вазаев, В.П. Носков, И.В. Рубцов
**КОМПЛЕКСИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ В СИСТЕМЕ
УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА С НАВЕСНЫМ
ОБОРУДОВАНИЕМ**

МГТУ им. Н.Э. Баумана
vazaev@bmstu.ru, noskov_mstu@mail.ru

В настоящее время все более востребованными становятся мобильные роботы с повышенной автономностью, в том числе и роботы с навесным оборудованием, особенно – для сред, изобилующих экранированными зонами (например, индустриально-городских). Для повышения автономности ключевыми являются задачи создания бортовых средств формирования семантических (с выделением и распознаванием объектов) 3D-моделей рабочей зоны по данным комплексированной СТЗ (см. рис. 1), объединяющей сенсоры различной физической природы [1,2].



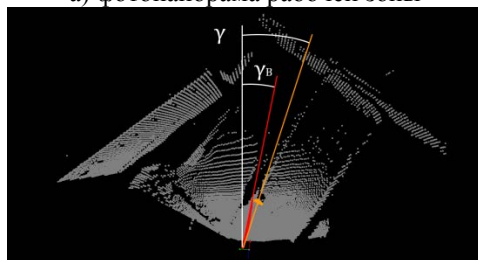
Рисунок 1 – Комплексированная система технического зрения

В докладе на примере мобильных роботов, оснащенных бортовым оборудованием разведки и пожаротушения, описаны принципы построения семантических 3D-моделей и их использования для решения навигационных задач, планирования и управления движением мобильных роботов и их навесного оборудования, а также – для повышения информативной осведомленности и снижения нагрузки на оператора при дистанционном режиме управления. Приводятся результаты работы созданных алгоритмических и программно-аппаратных средств в реальных условиях. На рис. 2 приведены результаты определения параметров управления углами азимута и

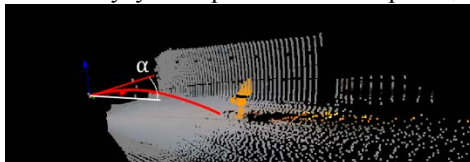
возвышения лафета брандспойта с использованием сформированной по данным бортовой комплексированной СТЗ семантической 3D-модели рабочей зоны с очагом возгорания.



а) фотопанорама рабочей зоны



б) параметры по азимуту из горизонтальной проекции 3D-модели



в) параметры по возвышению из вертикального сечения 3D-модели
Рисунок 2 – Результат работы прикладного программного обеспечения

Формирование семантических 3D-моделей по данным бортовых комплексированных СТЗ позволит решать актуальные задачи автономного управления мобильными роботами с навесным оборудованием в средах, где использование средств дистанционного управления невозможно.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-29-04178 офи_м.

1. Вазаев А.В., Носков В.П., Рубцов И.В., Цариченко С.Г. Распознавание объектов и типов опорной поверхности по данным комплексированной СТЗ. // Известия Южного федерального университета. Технические науки. №2 (175), 2016. С. 127-139.
2. Вазаев А.В., Носков В.П., Рубцов И.В., Цариченко С.Г. Комплексированная СТЗ в системе управления пожарного робота. Известия ЮФУ. Технические науки. №1-2, 2017. С. 140-154.

A.A. Vlasenko, A.L. Korotkov
**THE MANIPULATOR DESIGN PRINCIPLES BASED ON
MULTI-TURN JOINTS FOR A SMALL ROBOTIC PLATFORM
WITH QUICK EQUIPMENT REPLACEMENT**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
a.vlasenko@rtc.ru, a.korotkov@rtc.ru*

А.А. Власенко, А.Л. Коротков
**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ
ПОЛНОБОРОТНЫХ ШАРНИРОВ ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНОЙ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ, С ВОЗМОЖНОСТЬЮ
ОПЕРАТИВНОЙ ЗАМЕНЫ НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
a.vlasenko@rtc.ru, a.korotkov@rtc.ru*

Мобильные робототехнические комплексы (РТК) используются для разведки и получения информации о труднодоступных или опасных для жизни и здоровья человека местах (разрушенное здание, зона катастрофы, зона военных действий).

Для мобильных РТК массой от 5 до 15 кг существующие манипуляторы имеют ограниченные функциональные возможности, заключающиеся, как правило, в перемещении объектов за счет двухпальцевого схвата, который, опционально, может оснащаться камерой видеонаблюдения.

В статье рассмотрены принципы построения манипулятора для мобильного РТК с возможностью установки легкозаменяемого навесного оборудования для расширения функциональных возможностей манипулятора. В работе проведен аналитический обзор и сравнение существующих манипуляторов для мобильных РТК данного класса. Исследованы принципы и методы построения таких манипуляторов. Выявлены общие закономерности построения и недостатки таких манипуляторов, к которым можно отнести проведение проводов снаружи корпусов звеньев манипулятора, неполнооборотные шарниры, невозможность установки дополнительного оборудования, использование механических передач с низким КПД.

На основе сформулированных в статье требований, определена конфигурация манипулятора. Проведен силовой расчет разрабатываемого манипулятора для обеспечения грузоподъемности в 2,5 кг на границе рабочей зоны манипулятора. Рассмотрена возможность замены навесного оборудования без внешнего вмешательства с использованием корзины сменного оборудования,

устанавливаемой на мобильной платформе и предназначенной для хранения инструментов.

Предложенный манипулятор может использоваться на различных РТК, удовлетворяющих сформулированным конструктивным требованиям. Сменное навесное оборудование позволит значительно расширить функциональные возможности РТК, а замена оборудования без дополнительного вмешательства существенно сокращает время выполнения ряда задач.

A.S. Gubankov¹, D.A. Yukhimets²

IDENTIFICATION METHOD OF KINEMATIC PARAMETERS OF MULTILINK INDUSTRIAL MANIPULATOR

¹ *FEFU, Vladivostok, gubankov.as@dvfu.ru*

² *IACP FEB RAS, Vladivostok, undim@iacp.dvo.ru*

А.С. Губанков¹, Д.А. Юхимец²

МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МНОГОЗВЕННОГО ПРОМЫШЛЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА

¹ *ДВФУ, г. Владивосток, gubankov.as@dvfu.ru*

² *ИАПУ ДВО РАН, г. Владивосток, undim@iacp.dvo.ru*

Точность работы промышленных манипуляторов (ПМ) напрямую зависит от точности их математических моделей, используемых в их контроллерах для вычисления положения их рабочих инструментов. При этом кинематические параметры реальных манипуляторов могут отличаться от модельных параметров, что приводит к снижению точности позиционирования рабочих инструментов. Более точно реальные кинематические параметры ПМ определяются с помощью дополнительных процедур, требующих использования высокоточных измерительных систем. В работе предлагается метод идентификации кинематических параметров ПМ, не требующий сложного и дорогостоящего оборудования для высокоточных измерений положения и ориентации схвата ПМ в абсолютной системе координат. Предлагаемый метод состоит из двух этапов. На первом этапе с помощью пульта оператора происходит вывод инструмента с разной ориентацией в одну и ту же фиксированную точку пространства и запись данных об углах поворота приводов ПМ. На втором этапе с помощью метода Левенберга — Марквардта выполняется настройка кинематических параметров модели ПМ так, чтобы уменьшить расстояния между положениями инструмента, рассчитанными на основе математической модели этого ПМ с использованием сохраненных данных об углах поворота приводов. В результате

выполнения предложенной процедуры можно уточнить кинематические параметры ПМ и тем самым, как показали результаты исследований, существенно увеличить точность движения ПМ в абсолютной системе координат.

*V.E. Pavlovsky*¹, *D.A. Gribkov*², *I.A. Orlov*¹,
*A.V. Podoprosvetov*², *E.Yu. Kolesnichenko*¹
**MOBILE MANIPULATOR ON SIX-WHEEL
MECANUM PLATFORM**

¹ *Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow,*
vpavl@mail.ru, orlovbel@gmail.com, decstrela@mail.ru
² *Lomonosov Moscow State University, mathematical-mechanics faculty,*
Moscow, legovas@gmail.com, llecxis@gmail.com

*В.Е. Павловский*¹, *Д.А. Грибков*², *И.А. Орлов*¹,
*А.В. Подопросветов*², *Е.Ю. Колесниченко*¹
**МОБИЛЬНЫЙ МАНИПУЛЯТОР НА ШЕСТИКОЛЕСНОЙ
МЕКАНУМ-ПЛАТФОРМЕ**

¹ *ФИЦ ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва, vpavl@mail.ru,*
orlovbel@gmail.com, decstrela@mail.ru
² *МГУ им. М.В. Ломоносова механико-математический факультет,*
Москва, legovas@gmail.com, llecxis@gmail.com

Описывается исследовательский макет мобильного манипулятора на шестиколесной меканум-платформе. Эта система обладает большим числом степеней свободы и является кинематически избыточной, но именно в силу этого обстоятельства способна решать весьма широкий класс задач манипулирования предметами и движения в пространстве, в том числе в стесненных средах. Обсуждаются эти возможности аппарата.

Общий вид разработанного аппарата показан на рис. 1 .

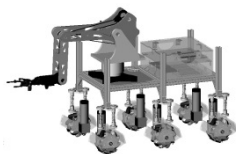


Рисунок 1 – Мобильный манипулятор

На рис.1 показана САПР-модель аппарата и общий вид аппарата во время одного из лабораторных экспериментов.

В работе представлены способы кинематического управления манипулятором и шасси робота. Такой подход оправдан при достаточно медленных движениях робота и хорошо описывает его кинестатику. Обсуждаются прямая и обратная кинематические задачи манипулятора, показано, что они обе имеют аналитические решения. Для шасси робота строятся вслед за [1-4] методы управления перемещением в разных режимах (общем или поступательном движении) по произвольным криволинейным траекториям.

Представлены результаты экспериментов с созданным роботом.

Теоретические исследования, компьютерное и натурное моделирование подтвердили техническую реализуемость представленного мобильного манипулятора. Функциональные качества робота оценены как достаточно эффективные.

Дальнейшие исследования предполагается вести в направлении оснащения машины развитой сенсорикой, прежде всего зрением и дальномерной системой. Последнюю предполагается использовать для обнаружения препятствий на пути робота, такая подсистема уже создана. Тем самым планируется создание автономного робота.

1. Е.Ю.Баранова, В.Е.Павловский. Кинематика шестиколесного меканум-робота. // Известия ВолгГТУ, серия «Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах». - Волгоград, 2015. - № 13 (177). - с. 147-152.
2. Е.Ю.Колесниченко, В.Е.Павловский. Явный синтез управления движением колесного меканум-робота по криволинейной траектории. // Тр. Международной научно-технической конференции "Экстремальная робототехника" (ЭР-2016), 24-25 ноября 2016 г., Санкт-Петербург, с.171-176. Изд-во: СПб, ГНЦ ЦНИИ РТК – ООО "АП4Принт".
3. E.Yu.Kolesnichenko, V.E.Pavlovsky. Explicit Synthesis of Motion Control of Wheeled Mecanum-Robot Along the Curved Trajectory. // Proceedings of Intl. Scientific and Technological Conference "Extreme Robotics" (ER-2016), 24-25 November 2016, Saint-Petersburg, Russia, pp.167-171, Publ.: Saint-Petersburg, Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics (RTC) – "AP4Print".
4. Е.Ю.Колесниченко, В.Е.Павловский. Особенности управления движением меканум-робота по криволинейным траекториям. // Робототехника и техническая кибернетика. СПб, ГНЦ ЦНИИ РТК, №2(11), 2016 г. с. 62-69.

*E.S. Briskin, K.Yu. Lepetukhin, A.V. Maloletov,
V.A. Serov, A.P. Kirillov*
**ON THE MOTION CONTROL OF A ROBOTIC MULTI-SECTION
CENTER-PIVOT IRRIGATION MACHINE FOR PROCESSING
NON-CIRCULAR FIELDS**

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

*Е.С. Брискин, К.Ю. Лепетухин, А.В. Малолетов,
В.А. Серов, А.П. Кириллов*
**ОБ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ РОБОТИЗИРОВАННОЙ
МНОГОЗВЕННОЙ ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ
ОРОШЕНИЯ ПОЛЕЙ НЕКРУГЛОЙ ФОРМЫ**

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

Одной из проблем применения дождевальных машин кругового действия являются большие участки неорошаемой земли между этими полями. Известным способом решения этой проблемы является использование одной или нескольких дополнительных концевых секций машины, которые складываются или разворачиваются относительно основной части машины, регулируя таким образом расстояние от центральной опоры до края дождевальной машины на разных участках поля [1, 2, 3, 4]. Авторами разрабатывается подход основанный на таком управлении тележками дождевальной машины, при котором в складывания или разворачивания машины вовлекаются все или большая часть её секций.

Ранее были решены задачи оптимального управления взаимным расположением секций дождевальной машины по критерию энергозатрат на движение при обработке поля произвольной формы, получены законы управления движением опорных тележек при перемещении периферийной тележки по кромке поля [5, 6, 7]. Однако полученные законы движения включают в себя участки траекторий, на которых опорные тележки должны менять направление движения, перемещаться вбок или назад, что означает необходимость кардинального изменения конструкции опорных тележек.

В работе исследуется возможность управления взаимным расположением секций без существенного изменения конструкции тележек за счёт изменения скоростей вращения их колёс. Для этого разработана динамическая модель движения многосекционной дождевальной машины. Исследование модели позволило получить такие динамические эффекты как явление самоустановки секций

многозвенной машины в зависимости от соотношения скоростей движения опорных тележек и явление самоориентации опорных тележек при их расположении сзади относительно секций, установить существование границ соотношений скоростей при которых явление самоустановки протекает устойчиво и неустойчиво. Эффекты подтверждены экспериментально на лабораторной модели двухсекционной машины. Получены законы управления движением тележек, обеспечивающие обработку дождевальной машиной поля овальной формы. Целесообразность обработки овальных полей проиллюстрирована на примере реального участка местности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 17-01-00675 а, 18-38-00946 мол_а).

1. Б.П.Фокин, А.К.Носов, Современные проблемы применения многоопорных дождевальных машин – Научное издание. – Ставрополь, 2011. – 80 с.
2. Кузнецов, П.И. К вопросу модернизации многоопорных дождевальных машин кругового действия / Кузнецов П.И. // Природообустройство. - 2011. - № 4. - С. 72-75.
3. Pat. US6085999 Corner Irrigation System / Jerry D. Gerdes, Dale A. Christensen. Valmont Industries, Inc. – 2000.
4. Pat. US6726132 Corner Irrigation System Including an Ultra Wide Band (UWB) Guidance System / Craig S. Malsam. Valmont Industries, Inc. – 2004.
5. Малолетов, А.В. Управление движением опор дождевальной машины кругового действия при движении по полям сложной формы / А.В. Малолетов, К.Ю. Лепетухин // Известия ВолгГТУ. Сер. Актуальные проблемы управления, вычислительной техники и информатики в технических системах. - Волгоград, 2015. - № 14 (178). - С. 143-147.
6. Лепетухин, К.Ю. Об управлении роботизированной многоопорной дождевальной машиной кругового типа действия / К.Ю. Лепетухин, А.В. Малолетов // В книге: Десятая всероссийская мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2017). Материалы 10-й Всероссийской мультиконференции в 3-х томах. Ответственный редактор: И.А. Каляев. - 2017. - С. 93-95.
7. Лепетухин, К.Ю. Об оптимальном управлении взаимным расположением секций дождевальной машины кругового действия при обработке некруглых полей / К.Ю. Лепетухин, А.В. Малолетов, Е.С. Брискин // Мехатроника, автоматизация, управление. - 2017. - Т. 18, № 2. - С. 103-107.

A.N. Goloshchapov
MANUFACTURING LOCALISATION - AS A WAY OF
TECHNOLOGIES TRANSFER

LLC AVI Solutions, Saint-Petersburg
goloshchapov@avi-solutions.com

А.Н. Голощапов
ЛОКАЛИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА – КАК ИНСТРУМЕНТ
ТРАНСФЕРА ТЕХНОЛОГИЙ

ООО «АВИ Солюшнс»
goloshchapov@avi-solutions.com

Совершенствование робототехники и значительное расширение областей применения робототехнических систем, вызывает необходимость совершенствования таких базовых компонентов построения этих систем – приводов, датчиков, батарей и других.

Отсутствие прорывных открытий в этих областях приводит к максимально возможно глубокой адаптации существующих технологий под задачи проектов построения РТС с глубокой интеграцией компонентов между собой.

Однако, даже существующий уровень технологий в некоторых областях, не позволяет создавать РТС в полном соответствии со стратегиями государственного уровня и велика зависимость от иностранной компонентой базы и ее производителей.

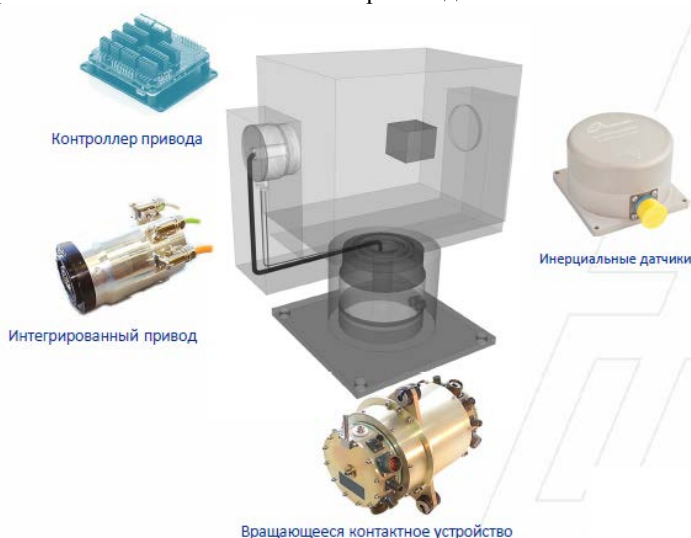


Рисунок 1 – Компоненты РТС для локализации

Возможные пути выхода из такой ситуации это:

- перенос передовых зарубежных технологий на территорию РФ
- реверс-инжиниринг и восстановление технологий

В первом случае происходит трансфер технологий на уровне частичной сборки и частичного замещения компонентов. Важна для максимального получения документации и технологии от оригинального производителя.

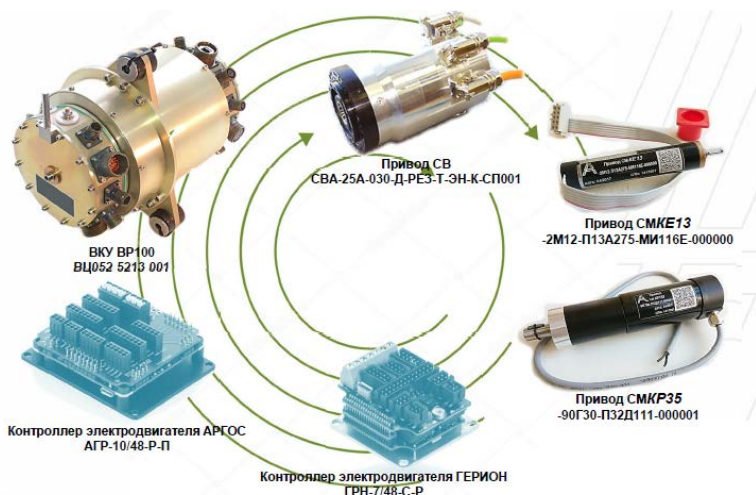


Рисунок 2 – Примеры локализованных компонентов

Во втором случае возможно восстановление технологии изготовления оригинальных компонентов и частей для доведения процента локализации до 100% и отладка на опытных образцах.

Компанией АВИ Солюшнс начаты работы по локализации различных компонентов, активно применяющихся в робототехнике – это прецизионные компактные приводы, безлюфтовые актуаторы, контроллеры двигателей и ВКУ.

Работы по различным изделиям находятся на разных этапах, по некоторым изделиям имеются реализованные проекты, технологии освоены, по другим идет работа по налаживанию лицензионной сборки, по третьим проводится реверс-инжиниринг.

Основная цель локализации – обеспечение российским компаниям доступа к компонентам, созданным по передовым зарубежным технологиям, с максимально возможным процентом работ и комплектующих, произведенным в России.

Построенная таким образом работа обеспечивает фундамент для накопления опыта, формирования собственного технологического задела и дальнейшего развития технологий в нашей стране.

M.A. Nogin, A.L. Korotkov, A.V. Rogov, O.A. Shmakov, A.V. Lopota
RTC PROVING GROUND FOR MOBILE ROBOTIC COMPLEXES

*Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
SPbPU, Saint Petersburg
m.nogin@rtc.ru, a.korotkov@rtc.ru, rogov@rtc.ru,
shmakov@rtc.ru, alopota@rtc.ru*

M.A. Ногин, А.Л. Коротков, А.В. Рогов, О.А. Шмаков, А.В. Лопота
**ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ПОЛИГОН ЦНИИ РТК
ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

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

В статье представлен краткий аналитический обзор существующих испытательных полигонов для наземных транспортных средств и проведена сравнительная оценка составляющих их препятствий. На основании данной оценки и исходя из многолетнего опыта разработки мобильных роботов, на территории ЦНИИ РТК построен ряд препятствий, наиболее показательных для разрабатываемых институтом робототехнических комплексов. Данные препятствия в полной мере отражают специфику применения разрабатываемых беспилотных наземных транспортных средств массой до 1000 кг.

В статье представлено описание проведенных на препятствиях полигона испытаний с использованием разработанных в ЦНИИ РТК робототехнических комплексов различных классов. Результаты испытаний на полигоне, имитирующем наиболее распространенные ситуации, встречаемые при опытной эксплуатации изделий, позволяют определить наиболее критичные параметры разрабатываемых комплексов, что способствует принятию оптимальных для той или иной задачи конструкционных решений.

D.D. Lipovskiy, Yu.A. Denisenya, A.V. Vasilev
**SPECIAL REQUIREMENTS TO ROBOTIC COMPLEXES OF
MILITARY UNITS OF RADIOLOGICAL, CHEMICAL AND
BIOLOGICAL DEFENSE**

*Federal State Budgetary Institution «The 33rd Central Research Test
Institute of the Ministry of Defense of Russian Federation»*

For the purpose of definition the list of special requirements to robotic complexes which are in use by Military units of radiological, chemical and

biological defense the analysis of the current state of military-oriented robotics is considered. Perspective directions of application robotic complexes in the army of Russian Federation are defined. On the basis of this analysis the list of special requirements to robotics of military use is formulated. Some results of the developmental tests of these robotic complexes in the means of special requirements performance are presented.

Д.Д. Липовский, Ю.А. Денисеня, А.В. Васильев

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСАМ ВОЙСК РАДИАЦИОННОЙ, ХИМИЧЕСКОЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

*Федеральное государственное бюджетное учреждение
«33 Центральный научно-исследовательский испытательный институт» Министерства обороны Российской Федерации*

Для определения перечня специальных требований к робототехническим комплексам войск радиационной, химической и биологической защиты проведен анализ современного состояния робототехники военного назначения. Определены перспективные направления применения робототехнических комплексов в войсках РХБ защиты ВС РФ. На основании проведенного анализа сформулирован перечень специальных требований, предъявляемых к робототехническим комплексам войск РХБ защиты ВС РФ. Представлены отдельные результаты проведения испытаний РТК в части выполнения специальных требований.

A. V. Lekareva, A. A. Kobzev, A. A. Mahfouz

FEATURES OF CONSTRUCTING A MOBILE ROBOTIC COMPLEX OF WATERJET CUTTING OF OIL PIPELINES

*Vladimir state university of name A.G. and N. G. Stoletovykh, Vladimir
kobzev42@mail.ru*

A. B. Лекарева, А. А. Кобзев, А. А. Махфуз

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ РТК ГИДРОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКИ ТРУБ НЕФТЕПРОВОДОВ

*Владимирский государственный университет
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых
kobzev42@mail.ru*

Обслуживание нефтепроводов и нефтехранилищ непосредственно связано с выполнением операций инспекции, очистки и врезки ответвлений. Для проведения очистных, контрольных, монтажных

работ на поверхностях труб и резервуаров вырезаются технологические отверстия различной формы. Горючие отложения на внутренних поверхностях не допускают применения для их резки методов, сопровождающихся пламенем и искрой, таких как резка металлическим инструментом, электро- и газорезка, лазерная резка. Здесь весьма эффективно применение процесса гидрорезания водной струей с абразивом, реализуемого специализированным мобильным робототехническим комплексом (РТК). Функциональная схема РТК представлена на рисунке 1.

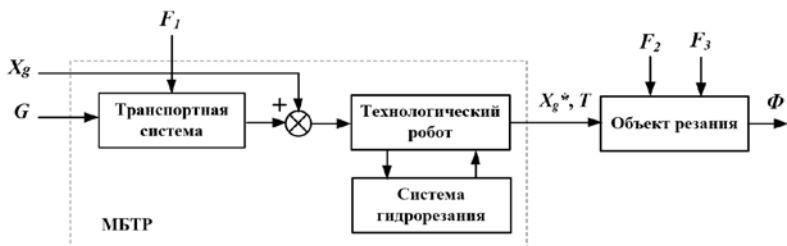


Рисунок 1 – Функциональная схема мобильного РТК

Входными данными при реализации процесса гидроабразивной резки нефтепроводов являются: 1) координаты точки выхода на позицию резания G , задаваемые транспортной системой; 2) управляющая программа X_g для технологического робота, обеспечивающая воспроизведение заданного профиля Φ вырезаемой поверхности трубы и соответствующие ей технологические параметры T . Неточность выхода РТК в исходную точку резания приводит к отклонению фактических координат расположения и ориентации объекта резания в пространстве относительно заданных ΔX . Кроме того, неидеальность поверхности резания, обусловленная деформациями, вмятинами, сварочными швам, загрязнениями и другими факторами, служит источником отклонений идеальной (программной) и фактической траектории резания ΔG . Поэтому, необходимо обеспечить согласование осей систем координат РТК и объекта резания, а также компенсировать отклонение формы фактической поверхности резания от программной. На схеме показаны эквивалентные возмущения: F_1 – со стороны рельефа местности при движении транспортной системы; F_2, F_3 - порождающие отклонения $\Delta X, \Delta G$.

Выделим особенности мобильного РТК и задачи управления, определяющие алгоритмы и структуру системы управления РТК.

Особенности:

- РТК состоит из двух последовательно соединенных систем – транспортной системы (мобильного робота) и технологического робота;

- неопределенность рельефа местности при движении мобильного робота и, как следствие, ограниченная точность выхода мобильного робота в исходную точку для работы технологического робота;

- неопределенность в малом пространственном взаимного расположения технологического робота и поверхности резания;

- неидеальность поверхности резания (трубы, резервуара), обусловленная сварными швами, деформациями, загрязнением и др.).

Задачи управления:

- согласование систем координат технологического робота и объекта резания, ввод корректирующих поправок в базовую программу;

- управление перемещением рабочего органа РТК по траектории, соответствующей заданной форме и размерам фигуры резания в условиях неидеальности поверхности резания;

- стабилизация расстояния сопла (поверхность среза) от поверхности резания;

- обеспечение ориентации струи по нормали к поверхности резания в текущей точке технологической траектории.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №18-08-01126 «а».

A.S. Gorobtsov ¹, A.E. Andreev ¹, O.O. Mugin ², D.Y. Petrov ³
THE GATE GENERATOR FOR CONTROL SYSTEM OF THE
BIPED AND MULTI-LEGGED ROBOTS

¹ *Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia, vm@vstu.ru*

² *Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, omugin@yandex.ru*

³ *Institute of Precision Mechanics and Control, Russian Academy of Sciences, Saratov, Russia, iac_sstu@mail.ru*

А.С. Горобцов ¹, А.Е. Андреев ¹, О.О. Мугин ², Д.Ю. Петров ³
ГЕНЕРАТОР ПОХОДОК ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ЛОКОМОЦИЕЙ ДВУНОГИХ И МНОГОНОГИХ РОБОТОВ

¹ *Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, vm@vstu.ru*

² *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, omugin@yandex.ru*

³ *Институт проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов, iac_sstu@mail.ru*

Представлен генератор походок шагающих роботов, реализованный в системе моделирования динамики связанных систем тел ФРУНД [1]. Генератор предназначен для формирования программного движения роботов с произвольной кинематической схемой шагающего движителя. Приведены результаты работы генератора походок на роботе-андроиде AP600 и макете шестиногой малоразмерной шагающей машины – рисунок 1. Возможности генератора походок анализируются также на ряде виртуальных концептов машин с шагающими движителями.



Рисунок 1 – Робот-андроид и макет шестиногой шагающей машины

1. Горобцов, А. С. Синтез параметров управляемого движения многозвенных механических систем произвольной структуры методом обратной задачи / А. С. Горобцов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2004. – №6. – С. 43-50, 2 с. обл.

V.K. Abrosimov ¹, A.N. Mochalkin ¹, E.I. Tatarenko ²
MARINE ROBOTIZED COMPLEX FOR SOLVING
PROBLEMS IN SITUATIONAL AWARENESS

¹ *Software Engineering Company "Network-Centric Platforms", Limited*
Liability/SEC "NCP" Ltd, Samara, Russia, avk787@yandex.ru

² *ООО ДВ "Талисман", Samara, Russia, comandor237@mail.ru*

В.К. Абросимов ¹, А.Н. Мочалкин ¹, Е.И. Татаренко ²
МОРСКОЙ РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ СИТУАЦИОННОЙ
ОСВЕДОМЛЕННОСТИ В АКВАТОРИЯХ

¹ *НПК «Сетевые платформы», г. Самара, avk787@yandex.ru*

² *ООО КБ «Талисман», г. Самара, comandor237@mail.ru*

К числу новых научно-технических проблем, определяющих облик современных многоцелевых морских роботизированных средств относится «интеллектуализация» их функциональных свойств [1]. Степень автономности функционирования таких роботов в недостаточно определенной среде определяется потенциальной возможностью самостоятельно действовать (наблюдать, оценивать, распознавать угрозу, принимать правильные решения и реализовывать их) в таких условиях. Стало понятным, что как для отдельного робота, так и для группы роботов, выполняющих общую коллективную задачу, необходимо формировать так называемую ситуационную осведомленность (по зарубежной терминологии – «situation awareness» [2,3]) в данном регионе акватории или подводного пространства.

Авторами разрабатывается в настоящее время идея создания беспилотных авиационно-морских полуавтономных роботов. Такой робот объединяет функционал подводных, надводных и авиационных беспилотных средств для решения широкого класса народнохозяйственных и специальных задач на морских акваториях и в прибрежных зонах. Разрабатываемое решение представляет собой объединение в единую модульную конструкцию беспилотных объектов управления различного вида базирования и функциональности и получения на этой основе синергетического эффекта совместного использования морских и воздушных объектов управления в задачах мониторинга. Это устройство под названием «глайдерон», в котором объединены возможности надводных и подводных глайдеров как возможных платформ для базирования беспилотных дронов и дронов,

базирующихся на глайдерах, как источников информации ситуационной осведомленности. Глайдерон как морское роботизированное средство является беспилотным. Два основных модуля робота – глайдер и БПЛА – управляются дистанционно Оператором в пределах зоны радиовидимости и автономно при выходе из зоны радиовидимости по заранее рассчитанным глайд-морскому заданию для глайдера и полетным заданиям для БПЛА.

Основная инновационная методическая идея состоит в разработке методологии формирования области «ситуационной осведомленности» для таких глайдеронов за счет технических средств всех участвующих в мониторинге объектов и элементов, представляемых в виде программно-технических агентов.

В отличие от существующих теоретических подходов к построению систем мониторинга предлагается все поступающие данные систематизировать в специально выделяемом интернет-ресурсе – области «ситуационной осведомленности». Наличие в составе глайдерона БПЛА с разнообразными элементами технического зрения и анализа окружающей среды (при незначительной полезной нагрузке – видео и фото аппаратура, при расширенных характеристиках по весу – более тяжелая полезная нагрузка: тепловизор, магнитометр, газоанализатор и др.) позволяет получать требуемые по постановке задачи мониторинга данные ситуационной осведомленности в воздушной среде, в ближнем надводном слое, на поверхности акватории(при функционировании глайдера на глубине), а также в окрестности прибрежной зоны. При этом охват зоны мониторинга с получением данных ситуационной осведомленности существенно расширяется за счет многократного увеличения площади поверхности мониторинга при чередовании циклов "движение глайдера-полет БПЛА", а также образования при необходимости территориально распределенной сети добывания данных с задействованием как космических средств связи и наблюдения, так и других источников информации, размещаемых в этом районе.

1. Ю.В. Матвиенко, А.В. Инзарцев, Л.В. Киселев, А.Ф. Щербатюк., Перспективы повышения эффективности автономных подводных роботов, Известия ЮФУ. Технические науки, 2016, т.1 (174), с.123-141.
2. Endsley M.R. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems // Human Factors. 1995, Vol. 37. № 1. pp. 32—64.
3. Cheng S., Gang F., Yuan F., Yong W., Decentralized adaptive awareness coverage control for multi-agent networks, Automatica, 2011, vol.47, pp. 2749–2756.

V.F. Filaretov, D.A. Yukhimets, E.Sh. Mursalimov
MISSION PLANNER FOR A GROUP OF AUTONOMOUS
UNDERWATER VEHICLES

Institute of Automation and Control Processes FEB RAS, Vladivostok
murs@dvo.ru

В.Ф. Филаретов, Д.А. Юхимец, Э.Ш. Мурсалимов
ПЛАНИРОВОЩИК МИССИЙ ДЛЯ ГРУППЫ АВТОНОМНЫХ
ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Институт автоматизации и процессов управления
ДВО РАН, г. Владивосток
murs@dvo.ru

Важной задачей, возникающей при разработке бортовой информационно-управляющей системы (ИУС) для автономных подводных аппаратов (АПА), является задача создания программных средств, обеспечивающих контроль выполнения задаваемых для этих АПА миссий. При этом указанные программные средства должны обладать универсальностью и обеспечивать управление миссиями как отдельного АПА, так и их групп. В настоящее время уже есть готовые программные решения для планирования действий мобильных роботов, а также контроля выполнения их миссий. Однако они применяются для выполнения миссий в заранее известной обстановке, например, при известной карте глубины [1]. В связи с этим каждая миссия состоит из строгой последовательности команд, сформированных с помощью специализированных программных средств [2]. Эти миссии передаются в бортовую вычислительную систему АПА по соответствующему интерфейсу передачи данных перед началом выполнения работ. Гибкость выполнения миссий обеспечивается гибридной программной архитектурой ИУС, в которой имеется отдельный программный уровень, реализующий различные поведенческие алгоритмы, например, обход препятствий. Использование такой архитектуры ИУС подразумевает тщательный анализ всех возможных условий, при которых должен быть задействован тот или иной поведенческий алгоритм, что усложняет процесс программирования АПА, особенно целой группы. Поэтому эффективнее использовать базовый набор команд, определяющих функциональность АПА, последовательность которых формируется с использованием интеллектуальных агентов. Полученная в итоге миссия будет формироваться автоматически, при этом могут использоваться оптимизационные алгоритмы не только для планирования движения одного АПА, но и группы в целом.

В работе описывается подход к реализации программной системы контроля выполнения миссии, её программная архитектура и

возможности использования. Миссия храниться в виде последовательности команд, представляющих собой целевые состояния. Каждое целевое состояние имеет вид ассоциативного массива (словаря), состоящего из ключей, определяющих наименование целевого параметра и целевого значения. Разработанная программная система обеспечивает покомандный контроль выполнения миссии при этом имеется возможность останавливать или приостанавливать выполнение текущей команды и выполнять команду с более высоким приоритетом. Это является актуальным при возникновении внештатных ситуаций или при работе в заранее не известной обстановке. Формирование миссии может осуществляться оператором, лидером группы АПА или специальными алгоритмами, которые можно удобно реализовывать с помощью высокоуровневых языков программирования, так как в них уже имеется поддержка ассоциативных массивов.

В результате разработанная система имеет очень широкие и гибкие возможности задания миссий для выполнения как одним АПА, так и группой и осуществления контроля их выполнения.

1. Bychkov, I., Intelligent control of autonomous underwater vehicles groups / I. Bychkov, A. Davydov, M. Kenzin, N. Maksimkin, N. Nagul, N. Ulyanov // Proc. of the 2017 3rd International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR). – Nagoya, Japan. – 2017. – P. 180-183.
2. Jiang, D., Application of MOOS-IvP Architecture in Multiple Autonomous Underwater Vehicle Cooperation / D. Jiang, P. Yongjie, Q. Zaibai, (2010). // Proc. of the Control and Decision Conference (CCDC). – Xuzhou, China. – 2010. – P. 1802-1807.

**V.V. Arykantsev, A.A. Ayskin, O.O. Belyaev, A.Ya. Ksenzenko,
E.A. Prysev, V.E. Pryanichnikov, V.V. Chernyshev, S.R. Eprikov**
**SUPERVISORY CONTROL OF THE UNDERWATER
LEGGED VEHICLE**

*International laboratory "Sensorika", MSTU "STANKIN", RSUH Institute
for new educational technologies and informatization, Keldysh Institute of
Applied Mathematics of RAS, Moscow, v.e.pr@yandex.ru
Volgograd State Technical University, Volgograd, dtm@vstu.ru*

**В.В. Арыканцев, А.А. Арыскин, О.О. Беляев, А.Я. Ксензенко,
Е.А. Прысев, В.Е. Пряничников, В.В. Чернышев, С.Р. Эприков**
**СУПЕРВИЗОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОДВОДНЫМ
ШАГАЮЩИМ АППАРАТОМ**

*Международная лаборатория «Сенсорика»,
МГТУ «Станкин», МИНОТ РГГУ, ИПМ им.
М.В. Келдыша РАН, Москва, v.e.pr@yandex.ru,
Волгоградский государственный технический
университет, dtm@vstu.ru*

Аннотация

В работе проанализирована и реализована аппаратно-программная платформа для супервизорного управления подводным аппаратом. Ключевыми элементами роботизированного комплекса являются хорошо проходимая по дну базовая шагающая станция, связанная кабелем с дистанционным пультом управления, и автономные модули, с помощью которых выполняются подводные работы. Автономные модули имеет возможность бесконтактной подзарядки от базового модуля и сброса данных на базу. Такое построение дает большие преимущества для организации управления без частого подъема на поверхность. В настоящий момент отработана и реализована архитектура программного супервизорного управления силовыми приводами подводного базового модуля и система бесконтактной передачи энергии и данных для роботов-спутников. *Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ 16-07-01264, 16-07-00811, 16-08-01109.*

Ключевые слова: подводные работы, бесконтактное энергообеспечение, каналы дистанционного супервизорного подводного управления асинхронными двигателями.

D.A. Gromoshinskii, A.V. Popov
**DETECTING METAL-CONTAINING OBJECTS WITH
FERROMAGNETIC SENSORS MOUNTED ON UNMANNED
UNDERWATER VEHICLE**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
d.gromoshinskiy@rtc.ru, apopov@rtc.ru*

Д.А. Громошинский, А.В. Попов
**ОБНАРУЖЕНИЕ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИХ ОБЪЕКТОВ С
ПОМОЩЬЮ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ЗОНДОВ,
УСТАНОВЛЕННЫХ НА НЕОБИТАЕМОМ
ПОДВОДНОМ АППАРАТЕ**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
d.gromoshinskiy@rtc.ru, apopov@rtc.ru*

Для проведения работ по ремонту или замене проходящих по дну объектов подводной инфраструктуры возникают задачи их обнаружения и оценки их протяженности. Для решения задач обнаружения металлосодержащих объектов (трубопроводы и т.п.) существуют два основных принципа обнаружения: активный и пассивный. Для активного метода обнаружения необходимы дополнительные затраты энергии на излучение сигнала в исследуемое пространство. При этом для активного принципа обнаружения характерна устойчивость к внешним источникам магнитных полей, естественных и создаваемых носителем магнитного датчика. В отличие от активного пассивный принцип требует компенсации воздействия внешних магнитных полей, которые могут оказывать существенное влияние на показания зондов.

Для поиска металлосодержащих объектов предлагается использовать два трехкомпонентных ферромагнитных зонда, которые могут быть установленных на носителе (АНПА, ТНПА). При этом оба зонда используют пассивный принцип обнаружения. Наличие двух зондов, разнесенных друг относительно друга на известное расстояние, позволяет рассчитать градиент вектора магнитной индукции, путем вычитания показаний одного зонда из другого.

Расчет градиента позволяет компенсировать влияние внешних магнитных полей, воздействие которых на каждый из датчиков одинаково. При пересечении металлосодержащего объекта воздействие с его стороны осуществляется сначала на первый датчик, а затем на второй по ходу движения носителя. При этом получается характерная картина сигнала вектора магнитной индукции – чередование максимума и минимума (минимума и максимума) градиента какого-либо из

компонент зондов. Наличие данного поведения градиента является необходимым условием для обнаружения. С целью исключения ложных срабатываний используются фильтры, основанные на использовании показаний с датчиков положения, скорости и ориентации навигационной системы. Для компенсации внешних магнитных полей, создаваемых двигателями носителя, используются данные с датчиков измерения скорости вращения двигателей с учетом полученного заранее электромагнитного портрета носителя.

N.A. Shchur^{1,2}, *D.A. Vokhmintcev*³

AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLES HYDRODYNAMIC INSTABILITY

¹ *Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University,
St.Petersburg, Russia, koliambos@mail.ru*

² *RTC, St.Petersburg, Russia*

³ *NRC «Kurchatov Institute» - PNPI, Gatchina, Russia*

Abstract

The paper is concerned with describes of hydrodynamic instabilities phenomena, emerging from autonomous underwater vehicles (AUV) maneuvers, and investigated in the process of numerical hydrodynamic modeling, carried out in design problems of automata control system development. In the course of parametric calculations for available AUV tail-plane design, it was shown that movement on course is unstable due to the course momentum, fundamental instability due to the turning momentum. Also are given estimates of the dependence of the magnitude of the course momentum on the course angle of attack, suggested recommendations for modification of this AUV body design.

Key words: Autonomous Underwater Vehicles, AUV Modeling, Parameter Estimation, Computational Fluid Dynamics.

Н.А. Шур^{1,2}, *Д.А. Вохминцев*³
**ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ НЕУСТОЙЧИВОСТЬ
АВТОНОМНОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА**

¹ *СПбПУ Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия,
koliambos@mail.ru*

² *ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, Россия*

³ *НИЦ «Курчатowskiй институт – ПИЯФ», Гатчина, Россия*

Аннотация

В предложенной работе, на примере автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) конкретной конструкции (с крестообразным хвостовым оперением), рассмотрены явления гидродинамической неустойчивости, возникающие при маневрировании АНПА и исследованные с помощью численного гидродинамического моделирования методом конечного объема. По результатам параметрических расчетов были изучены неустойчивость из-за курсового момента, принципиальную неустойчивость из-за разворачивающего момента, а также приведена оценка зависимости величины курсовой компоненты момента гидродинамических сил от курсового угла атаки АНПА. По результатам расчетов даны рекомендации по модификации корпуса АНПА, указаны величины, обязательные для учета при проектировании автоматических систем управления АНПА.

Ключевые слова: Автономные необитаемые подводные аппараты, моделирование АНПА, вычислительная гидродинамика.

V.A. Shurygin, V.A. Serov, I.V. Kovshov, S.A. Ustinov
**THE DEVELOPMENT AND ENSURING THE EXPLOITATIONS
OF THE ARCTIC OFFSHORE HYDROCARBONS FIELDS BY
USING THE ROBOTIZED LEGGED PLATFORMS**

*Join-stock company «The Federal research-and-production center
«Titan-Barricades», Volgograd, Russia
cdb@cdbtitan.ru*

The Problems of using technological robotic platforms with legged drives for development of underwater oil and natural gas deposits of Arctic continental shelf are considered. The following problems can be solved with the usage of robotic legged platforms: deposit exploration, engineering survey, drilling of the wells for various purposes, supervising and maintenance of underwater equipment, laying of cables and pipelines on the deposit (including trench digging), connecting and disconnecting of electrical and hydraulic communications, taking soil samples, supervising of wells,

installing bottom base and wellhead, control of the emission and leaks of gas, oil and the process fluids, transportation of consumables and spare parts [1].

The models of usage of robotic legged platform for the development of underwater oil and natural gas deposits of the Arctic shelf are offered.

The advantages of the offered technology are: reduction of time of design and arrangement of underwater mineral deposits, reduction of cost of drilling wells of various purposes, increasing mobility of the equipment within the range of facility on the shelf.

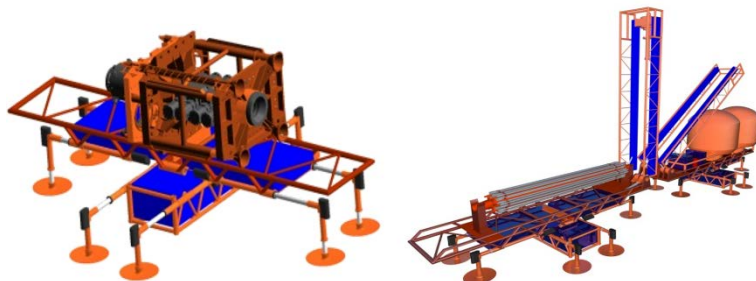


Figure 1 – Practical application of the robotic legged platforms

1. Serov V.A., Kovshov I.V., Ustinov S.A. Task of the technological robotic walking platforms for development of underwater (underice) mineral deposits // *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences]*, 2017, No. 9 (194), pp. 181-191.

В.А. Шурыгин, В.А. Серов, И.В. Ковшов, С.А. Устинов
**ОБУСТРОЙСТВО И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ПОДВОДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ
АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
РОБОТИЗИРОВАННЫХ ШАГАЮЩИХ ПЛАТФОРМ**

*АО «Федеральный научно-производственный центр
«Титан-Баррикады», Волгоград
cdb@cdbtitan.ru*

Рассматриваются вопросы применения технологических роботизированных платформ (РШП) с шагающими движителями для решения следующих задач: разведка местности, инженерно-геологические изыскания и сейсмическая разведка, бурение скважин различного назначения, мониторинг и обслуживание подводного оборудования, прокладка кабелей и трубопроводов (в том числе с выполнением траншеи), подключение и отключение соединителей коммуникаций, взятие проб, мониторинг скважин, установка донного основания и устьевой обвязки скважины, ликвидация последствий

аварийных ситуаций, транспортировка расходных материалов и комплектующих [1].

Сформулированы основные технические требования к подводным РШП и предложена модель их применения.

Основные преимущества предлагаемых технологий заключаются в ускорении и снижении стоимости проектирования и обустройства подводных месторождений, повышении мобильности оборудования на месторождении и в пределах арктического шельфа.



Рисунок 1 – Применение роботизированных шагающих платформ

1. Задачи технологических роботизированных шагающих платформ при освоении подводных (подлёдных) месторождений полезных ископаемых / *В.А. Серов, И.В. Ковшов, С.А. Устинов* // Известия ЮФУ. Технические науки. - 2017. - № 9 (194). - С. 181-191.

S.I. Savin, D.Yu. Medvedev

**DETERMINATION OF THE AVAILABILITY OF PIPELINE
BRANCHES USING DEEP CONVOLUTIONAL NEURAL
NETWORKS**

*South West State University, Kursk, Russia
savinswsu@mail.ru*

С.И. Савин, Д.Ю. Медведев

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ ОТВЕТВЛЕНИЙ ТРУБОПРОВОДА
С ПОМОЩЬЮ ГЛУБОКИХ СВЁРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ
СЕТЕЙ**

*Юго-Западный государственный университет, г. Курск
savinswsu@mail.ru*

Разработка роботов для перемещения по трубопроводам требует решения ряда технических проблем. Одна из них – динамическое планирование характера перемещения робота, учитывающее локальную геометрию трубопровода. Это особенно важно для

шагающих внутритрубных роботов. В случае, когда трубопровод не имеет ответвлений, могут использоваться геометрические методы, позволяющие осуществлять проекцию трубопровода на двухмерную карту, как это описано в работе [1]. Для случая, когда трубопровод имеет ответвление, можно использовать алгоритм обхода этого ответвления, предложенный в работе [2].

Таким образом, для использования имеющихся подходов к планированию движения робота необходимо решить задачу категоризации участков трубы, разбив их на две категории – «с ответвлением» и «без ответвлений». Входными данными для данной задачи могут служить данные с камеры или лазерного сканера типа LIDAR. Данная задача может быть эффективно решена с использованием свёрточных нейронных сетей.

В этой работе рассмотрим глубокую свёрточную нейронную сеть (CNN, от англ. convolutional neural network), решающую описанную выше задачу категоризации участков трубы, используя данные лазерного дальномера в качестве входа. Структура сети показана на рисунке 1.

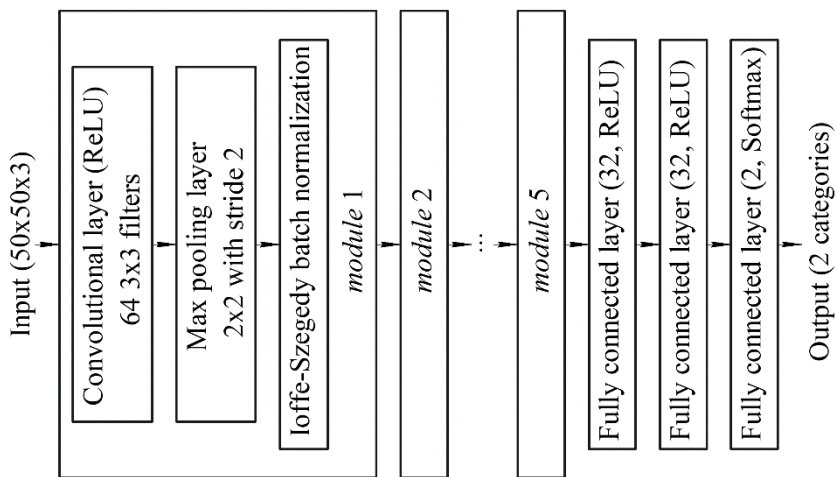


Рисунок 1 – Схема свёрточной нейронной сети

На рисунке 1 использованы обозначения: «module n» означает модуль, содержащий свёрточный слой («Convolutional layer») с 64 фильтрами 3 на 3, использующий активационную функцию ReLU (от англ. rectified linear unit), а также слои для уменьшения размерности и нормализации данных («Max pooling layer» и «Ioffe-Szegedy batch normalization» [3]). Все модули имеют идентичную структуру и

соединены последовательно. После них используются два полносвязных слоя с 32 нейронами и слой классификации.

Для настройки данной нейронной сети использовались 600 примеров участков труб различной геометрии и ориентации. Для обучения использовалась система TensorFlow и надстройка Keras. В ходе обучения удалось добиться точности классификации более 95%.

Исследование выполнено за счет средств гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых МК–2577.2017.8.

1. Савин С.И., Метод генерации последовательности шагов для шестиногого внутритрубного робота, перемещающегося по пространственно-изогнутым трубам, с использованием развертки трубы / Савин С.И., Ворочаева Л.Ю., Мальчиков А.В., Ворочаев А.В. // Информационные технологии. 2018. Т. 24. № 3. С. 209-216.
2. Savin, S. and Vorochaeva, L., 2017, June. Footstep planning for a six-legged in-pipe robot moving in spatially curved pipes. In Control and Communications (SIBCON), 2017 International Siberian Conference on (pp. 1-6). IEEE.
3. Ioffe, S. and Szegedy, C., 2015. Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift. arXiv preprint arXiv:1502.03167.

***V.M. Rulevskiy*¹, *V.G. Bukreev*², *E.B. Shandarova*³, *V.A. Chekh*⁴**
**OPTIMIZATION OF VOLTAGE REGULATOR PARAMETERS
FOR UNDERWATER VEHICLE POWER SUPPLY SYSTEM**

¹ *Research Institute of Automation and Electromechanics, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russia, rulevsky@niiiaem.tomsk.ru*

² *National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, bukreev@tpu.ru*

³ *National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, shandarovaelena@mail.ru*

⁴ *Research Institute of Automation and Electromechanics, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russia, chekh1993@gmail.com*

Abstract

The considered problem is constructing an optimal voltage regulator for power supply system of remote-controlled underwater unmanned vehicle, providing specified power system quality indicators when changing the operation regime of the submerged part payload. Proposed an approximation technique of a nonlinear multidimensional power supply system model with the transmission of alternating current energy through a cable by means of

smaller order linearized mathematical model in the space of state variables. Based on the reduced model, a variable structure controller for voltage regulation is constructed using the methods of linear control theory. It compensates for the effect of parametric load changes on the quality of a closed system.

Keywords: submersible equipment power supply system, transfer function, state variable method, optimal variable structure controller

*В.М. Рулевский*¹, *В.Г. Букреев*², *Е.Б. Шандарова*³, *В.А. Чех*⁴
**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ
ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫХ АППАРАТОВ**

¹ *НИИ автоматики и электромеханики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, rulevsky@niiuem.tomsk.ru*

² *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, bukreev@tpu.ru*

³ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, shandarovaelena@mail.ru*

⁴ *НИИ автоматики и электромеханики Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, г. Томск, chekh1993@gmail.com*

Аннотация

Рассматривается задача построения оптимального регулятора напряжения системы электропитания (СЭП) телеуправляемого необитаемого подводного аппарата, обеспечивающего заданные показатели качества при изменении режимов работы полезной нагрузки погружной части. Предлагается методика аппроксимации нелинейной многомерной модели СЭП с передачей энергии переменного тока по кабель-тросу линеаризованной математической моделью меньшего порядка в пространстве переменных состояния. На основе редуцированной модели методами линейной теории управления организуется регулятор напряжения с переменной структурой, компенсирующий влияние параметрических изменений нагрузки на показатели качества замкнутой системы.

Ключевые слова: система электропитания погружного оборудования, передаточная функция, метод переменных состояния, оптимальный регулятор с переменной структурой

***N.A. Gryaznov*¹, *S.A. Nikitin*¹, *V.V. Kharlamov*¹, *A.A. Obukhov*²
EXPERIENCE IN THE DEVELOPMENT OF THE ROBOTIC
SYSTEM FOR BRACHYTHERAPY OF PROSTATE CANCER**

¹ *Russian State Scientific Center for Robotics and Technical Cybernetics,
Saint-Petersburg, s.nikitin@rtc.ru*

² *A.F. Tsyb Medical Radiological Research Center - a branch of the
Scientific Medical Research Center of Radiology, Obninsk,
obukhov_al@mail.ru*

***Н.А. Грязнов*¹, *С.А. Никитин*¹, *В.В. Харламов*¹, *А.А. Обухов*²
ОПЫТ РАЗРАБОТКИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ
БРАХИТЕРАПИИ РАКА ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ**

¹ *ГНЦ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург, s.nikitin@rtc.ru*

² *МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии»
Минздрава России, г. Обнинск, obukhov_al@mail.ru*

Брахитерапия является одним из наиболее эффективных методов лечения локализованного рака предстательной железы (РПЖ) на стадиях Т1-Т3 [1-2]. Многочисленные исследования показывают, что традиционная методика лечения имеет ряд следующих ограничений [3-6]: отсутствует возможность введения игл под углом; отсутствует возможность обхода препятствий и органов; влияние человеческого фактора на постоянство, точность и эффективность проведения операции; точность позиционирования игл и микроисточников не менее 1 мм; непредвиденные смещения игл [7].

Для снятия данных ограничений и повышения эффективности брахитерапии РПЖ в ЦНИИ РТК была разработана роботизированная система «ОнкоРОБОТ». В процессе разработки системы были реализованы технические решения, обеспечивающие следующие функциональные возможности системы: наведение иглы в область оперирования; позиционирование иглы в мягких тканях пациента; позиционирование трансректального ультразвукового (ТРУЗ) зонда в прямой кишке; автоматическое ультразвуковое (УЗ) сканирование и получение набора УЗ изображений предстательной железы, соседних органов и тканей в диапазоне от 0-180°; оконтуривание и 3D моделирование органов. Опыт разработки роботизированной системы в части алгоритмов функционирования показал важность процессов автоматизации ультразвукового исследования для последующей обработкой 2D УЗ изображений и создания на их основе 3D моделей

исследуемых объектов. Проводились многоступенчатые последовательные математические преобразования, которые позволили реализовать следующий набор функций: автоматическая фильтрация помех в заданном диапазоне; автоматическое определение яркостных фронтов и градиентов УЗИ-данных для оконтуривания; автоматическое построение 3D моделей объектов по результатам оконтуривания; автоматический подсчёт количества полученных объектов и их классификация на основе шаблонов. На рисунке 1 представлена структурная схема алгоритма автоматического УЗ сканирования.

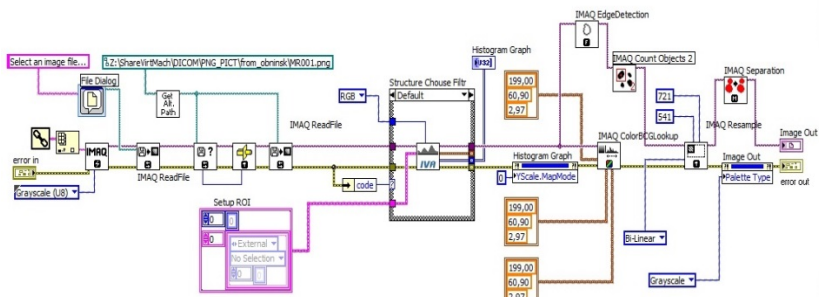


Рисунок 1 – Структурная схема алгоритма автоматического УЗ сканирования

По результатам разработки «ОнкоРОБОТ» был передан на первые тестовые испытания специалистам МРНЦ им. А.Ф. Цыба-филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. Специалисты центра отметили, что алгоритм взаимодействия хирурга с системой в целом соответствует методике проведения высокоэнергетической брахитерапии, но потребует корректировки на этапе дозиметрического планирования операции, дана положительная оценка работы роботизированной системы «ОнкоРОБОТ».

1. National Institute For Clinical Excellence. Interventional Procedures Programm. Interventional procedures overview of low dose rate brachytherapy for localized prostate cancer. 2005; 1-21.
2. Yoshiya Y., Leland R., Jeffrey D.D., Gerard M., Bradley R. P., Jean P., Gil N.C., Marco Z., Mihai G., I-Chow H. American Brachytherapy Society consensus guidelines for high-dose-rate prostate brachytherapy. Brachytherapy. 2012; 11:20-32.
3. Tarun K. P., Luc B., Barret C., Robert A. C., Jostin B.C., Adam P.D., Aaron F., Gabor F., Michael A.M., Marinus A.M., Ravinder N., Mark J. R., Tim S., Danny Y.S., Bruce R.T., Yan Y. AAPM and GEC-ESTRO guidelines for image-guided robotic brachytherapy: Report of Task Group 192. 2014; Med. Phys. 41 (10):1-27.

4. Gryaznov N.A., Senchik K.Y., Velichko O.V. et al. Robotic systems for prostate cancer brachytherapy (robot-assisted systems). *Indian Journal of Science and Technology*. 2015;8:1–6.
5. Lopota A.V., Gryaznov N.A., Velichko O.V. et al. The Existing Methods for Motion Control of Flexible Needles along a Curved Path as Part of Robotic Systems for Brachytherapy. *American Journal of Applied Sciences*. 2015;13(1):73–79.
6. Venselaar J., Meigooni A.S., Batlas D. et. al. *Comprehensive Brachytherapy: Physical and Clinical Aspects*. USA: CRC Press, 2013 535 pp.
7. Kuznetsov M. A. Dosimetric and radiation-hygienic maintenance of prostate cancer brachytherapy with sealed radionuclide sources. *Lomonosov Moscow State University*. 2013. 1-19.

N.A. Gryaznov, V.V. Kharlamov, S.A. Nikitin
**PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ROBOTIC SYSTEMS
OF A NEW GENERATION. “SURGERY 4.0”**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
v.harlamov@rtc.ru, s.nikitin@rtc.ru*

Н.А. Грязнов, В.В. Харламов, С.А. Никитин
**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ. «ХИРУРГИЯ 4.0»**

*ГНЦ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
v.harlamov@rtc.ru, s.nikitin@rtc.ru*

Как известно, первые три промышленных революции произошли в результате повсеместного внедрения механизации – «Индустрия 1.0», появления электричества – «Индустрия 2.0» и информационных технологий – «Индустрия 3.0». Сегодня, интегрирование информационных технологий и интернета в производственную среду формирует новый технологический уклад киберфизических систем – «Индустрия 4.0». Уже сегодня проектируются и создаются предприятия и фабрики, вовлечённые в глобальные информационные сети, включая производственное оборудование и логистику на базе облачных технологий и систем интеллектуального управления производством. По заявлениям ведущих экспертов «Индустрия 4.0» будет охватывать и влиять на все области деятельности человека, включая медицину. Аналогично процессу развития производственных мощностей и формирования новых технологических укладов хирургия, как наиболее востребованная область медицины прошла схожие этапы становления: проведение полостных открытых операций – «Хирургия 1.0»,

появление новых видов инструментов и развитие малоинвазивной хирургии – «Хирургия 2.0», с появлением роботов передовым краем в этой области выступает прецизионная робот-ассистированная хирургия, или «Хирургия 3.0». Следующим этапом развития будет хирургия нового поколения - «Хирургия 4.0», которая представляет собой интеграцию и объединение передовых цифровых, информационных (облачных) и роботизированных технологий, систем визуализации и моделирования, сенсорных систем, искусственного интеллекта и машинного зрения в единую хирургическую роботизированную платформу, которая будет являться базисом при проектировании операционных следующего поколения.

<p>Хирургия 1.0 Полостная</p>		<p>Изучение анатомии, новые способы лечения, проведение полостных операций.</p>
<p>Хирургия 2.0 Малоинвазивная</p>		<p>Сокращение травматизации тканей, уменьшение сроков госпитализации, проведение лапароскопических операций.</p>
<p>Хирургия 3.0 Робот-ассистированная</p>		<p>Повышение точности хирургических манипуляций, 3D визуализация, масштабирование изображений.</p>
<p>Хирургия 4.0 Цифровая</p>		<p>Машинное обучение, искусственный интеллект, облачные технологии, автономные роботизированные хирургические системы, цифровые операционные.</p>

Рисунок 1 – Этапы развития хирургии

Таким образом, последние результаты научных исследований проведённых в США и странах Европы в области роботизации хирургии, разработки систем интеллектуального управления и искусственного интеллекта, контрольно-измерительных устройств, интерфейсов управления и цифровых технологий показывают, что уже сегодня созданы все предпосылки для постановки задачи на разработку и создание единой роботизированной хирургической платформы, которая объединяет ряд законченных унифицированных модулей в единый медицинский комплекс. На базе данной платформы можно будет строить специализированные робот-ассистированные медицинские системы для высокоточных хирургических вмешательств в ортопедии, нейрохирургии, онкологии, роботизированные медицинские системы для проведения хирургических операций под контролем УЗИ или КТ в режиме реального времени в полуавтоматическом режиме, а также полноценные роботизированные системы для лапароскопических операций широкого профиля.

D.A. Yakovets, M.V. Sokhranov
**DEVELOPMENT OF AN EXPERT SYSTEM OF THE
MULTIFUNCTIONAL ROBOTIC MEDICAL PLATFORM FOR
THE EVACUATION OF WOUNDED AND INJURED PERSONS**

*State Research Test Institute of Military Medicine, Saint-Petersburg, Russia
medbot@yandex.ru, catt@list.ru*

Д.А. Яковец, М.В. Сохранов
**РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ
МЕДИЦИНСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ЭВАКУАЦИИ РАНЕННЫХ
И ПОРАЖЕННЫХ**

*ФГБУ «Государственный научно-исследовательский испытательный
институт военной медицины» Министерства обороны
Российской Федерации, Санкт-Петербург
medbot@yandex.ru, catt@list.ru*

Отдаленность лечебных учреждений от очагов санитарных потерь предполагает последовательное перемещение раненых с одного этапа эвакуации на другой. Для тяжелораненых процесс транспортировки является дополнительным стрессовым фактором, при этом в период эвакуации в значительной степени ограничивается возможность оказания полноценной медицинской помощи.

Главной задачей многофункциональной роботизированной медицинской платформы для эвакуации раненых является оказание анестезиологической и реаниматологической помощи тяжелораненому в процессе транспортировки в условиях дефицита сопровождающего медицинского персонала. Данный вид медицинской помощи предполагает интенсивное наблюдение (мониторинг) за раненым, которое представляет собой комплекс мер, применяемых в процессе интенсивной терапии и направленных на раннюю диагностику изменений гомеостаза, происходящих в организме. Для решения данной задачи необходима разработка динамической экспертной медицинской системы мониторинга и определения (прогнозирования) неотложных (критических) состояний раненого.

База знаний экспертной системы должна быть сформирована из конкретного перечня неотложных (критических) состояний раненого, появления которых обусловлены спецификой получаемых в ходе боевых действий травм. Модель представления знаний экспертной системы должна учитывать такие факторы, как внутренняя интерпретируемость информационных единиц, структурированность (рекурсивная вложенность одних информационных единиц в другие), связанность.

Экспертная система должна в режиме реального времени отслеживать изменение состояния раненого, диагностировать (прогнозировать) и выдавать рекомендации медицинскому работнику по использованию аппаратно-приборной базы роботизированной медицинской платформы. В случае подтверждения действий или при отсутствии продолжительное время реакции сопровождающего персонала, экспертная система берёт управление на себя и производит корректировку лечебных мероприятий или начинает реанимационные мероприятия.

Ещё более перспективным применением такой платформы логично рассматривать полёты в дальний космос, когда необходимость эвакуации одного члена экипажа может поставить под сомнение успех всей миссии.

V.F. Golovin ¹, M.V. Arhipov ², L.B. Kocherevskaya ³
ROBOTICS FOR INCREASING MILITARY CAPACITY

¹ *CMRV SM, Moscow, medicalrobot@mail.ru*

² *MOSPOLYTECH, Moscow, medicalrobot@mail.ru*

³ *MAI, Moscow, ladk05@yandex.ru*

В.Ф. Головин ¹, М.В. Архипов ², Л.Б. Кочереvская ³
**РОБОТОТЕХНИКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БОЕСПОСОБНОСТИ
ВОЕННОСЛУЖАЩИХ**

¹ *МНПЦМРВ СМ, Москва, medicalrobot@mail.ru*

² *МОСПОЛИТЕХ, Москва, medicalrobot@mail.ru*

³ *НИУ МАИ, Москва, ladk05@yandex.ru*

Исторически массаж для военнослужащих имеет корни, относящиеся ко времени, по крайней мере, греческих и римских эпох. В начале 1900-х британская армия имела подразделения, называемые военными массажными корпусами. В начале 2000-х сообщается о массаже для военных с симптомами перемены места. Симптомы: проблемы с засыпанием, просыпанием посреди ночи, сложности с сексуальной близостью, усталость, чувство нервозности, подвержены испугу.

Массаж для военнослужащих, особенно массовый, крайне трудоёмок и требует привлечения большого количества массажистов. Поэтому реализация массовости возможна лишь с применением аппаратных средств массажа, в особенности с применением манипуляционных роботов, способных выполнять массажные движения аналогично руке массажиста.

Массаж для здоровых людей имеет профилактическое значение. Не лечить больных, а не допускать болезни! Это утверждали великие

русские физиологи Павлов И.П. и Пирогов Н.И. Это - существо концепции восстановительной медицины. Подготовка к выполнению ответственных боевых заданий – это своеобразная профилактика. Если в начале прошлого века робототехника выглядела фантастикой и об аппаратных средствах массажа в том числе для здоровых людей русский врач Заблудовский И.З. только мечтал в своей диссертации, то технологии сегодняшнего дня позволяют создать неумолимые манипуляционные роботы для массового выполнения множества техник классического и точечного массажа.

В первую очередь специальные комплексы активных движений и робототехнического массажа необходимы военнослужащим, большую часть времени работающим в условиях ограниченного помещения, например, подводникам и космонавтам.

Снятие напряжения особенно необходимо для находящихся на ответственных дежурствах ракетчиков. Большая, хотя и кратковременная физическая и психологическая нагрузка ложится на лётчиков-испытателей, сотрудников МЧС. Для них также необходим общеукрепляющий массаж с применением робототехники.

В настоящее время в России и на Западе существует множество роботов, часто с развитым сервисом, например, способных работать без ограждения. Такие разработки позволяют создание роботов, разрешающих в своей рабочей зоне выполнять более тонкие массажные приёмы, беря основную силовую работу на себя. Значительное уменьшение времени обучения робота необходимым траекториям с учётом усилий деформирования мягких тканей достигается при использовании предлагаемого мануального обучения робота демонстрацией от задающей рукоятки [1].

Для повышения эффективности восстановления боеспособности военных, как до, так и после нагрузки, необходим контроль психофизиологического состояния в процессе восстановления. Цель процедуры для военных будет заключаться в повышении боеспособности за счет достижения заданных значений измеряемых психофизиологических параметров. Массажное воздействие проявляется в большей степени в тоне мышц и в электрокожном сопротивлении. Контроль эффективности и прогресса воздействия по предлагаемой методике обеспечит дозированность, индивидуальный подход к каждому военному, позволит учесть специфику нагрузки на локальные мышцы.

1. Повышение боеспособности военнослужащих применением робототехники для восстановительной медицины // Труды IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Лечебная физическая культура:

достижения и перспективы развития». - М.: ГЦОЛИФК, 2015. - С. 664—671.

A.V. Lopota, V.V. Kharlamov, S.A. Nikitin, A.Yu. Karseeva
**OPERATING NEW GENERATION FOR TREATMENT OF
ONCOLOGICAL DISEASES BY PROTON THERAPY ON THE
BASIS OF ROBOTIZED TECHNOLOGIES OF PRECISIONAL
POSITIONING OF THE PATIENT**

*Russian State Scientific Center for Robotics
and Technical Cybernetics, Saint-Petersburg
sl@lrc.ru, s.nikitin@rtc.ru, a.karseeva@rtc.ru*

А.В. Лопота, В.В. Харламов, С.А. Никитин, А.Ю. Карсеева
**ОПЕРАЦИОННАЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ
ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ МЕТОДОМ
ПРОТОННОЙ ТЕРАПИИ НА ОСНОВЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ПРЕЦИЗИОННОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ
ПАЦИЕНТА**

*ГНЦ РФ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург
sl@lrc.ru, s.nikitin@rtc.ru, a.karseeva@rtc.ru*

Протонная терапия – один из самых современных видов лучевой терапии. Больные получают лучевое лечение в виде самостоятельного метода или совместно с химиотерапией/после хирургических операций.

Главным недостатком протонной терапии является высокая стоимость лечения, связанная со стоимостью строительства и технического обслуживания центров по протонной терапии с использованием системы Гантри. Данный фактор существенно снижает распространяемость данного метода лечения. Замена системы Гантри роботизированной технологией прецизионного позиционирования пациента позволит решить эту проблему.

Предлагаемая операционная нового поколения включает в свой состав:

- роботизированную систему позиционирования пациента, состоящую из коллаборативного роботизированного манипулятора для позиционирования и ориентации пациента относительно пучка протонов в режиме реального времени и роботизированной кушетки с возможностью обеспечения различных положений пациента;
- компьютерный томограф с высоким пространственным и плотностным разрешением (контрастность до 1:150) и возможностью первично-цветного зрения;

- систему технического зрения на основе цифровых камер с оптической системой для получения изображения и лазерных дальномеров для точного определения местоположения пациента в пространстве;
- систему управления операционной, которая осуществляет централизованное управление элементами операционной, обеспечивает взаимосвязь элементов операционной на уровне физических и программных интерфейсов. Также возможно импортирование и совмещение медицинских диагностических данных пациентов предоперационного обследования и автоматическое протоколирование операций;
- программное обеспечение.

Внедрение роботизированной технологии прецизионного позиционирования пациента взамен системы Гантри делает возможным превращение метода в общедоступную лечебную методику, позволит уйти от использования огромных поворотных магнитов, входящих в состав системы Гантри и объединить в единую систему управления все устройства, входящие в состав операционной нового поколения.

O.O. Mugin, D.I. Tsyganov

MODERN STATE OF RESEARCH IN THE FIELD OF ROBOTIZED MEDICAL SYSTEMS

*Federal Agency of Scientific Organizations, Moscow
mugin@fano.gov.ru*

О.О. Мугин, Д.И. Цыганов

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ МЕДИЦИНСКИХ СИСТЕМ

*Федеральное агентство научных организаций, Москва
mugin@fano.gov.ru*

В 60-е годы в СССР в Институте машиноведения им А.А. Благонравова РАН в лаборатории «Теории управления машинами» велась обширная научная работа в области робототехнических систем, в результате которой был создан протез предплечья с биоэлектрическим управлением – первая в мире разработка роботизированной системы для нужд медицины. Впоследствии исследования в области роботизированных систем в нашей стране были ограничены применением в области точного машиностроения.

В настоящее время в Российской Федерации используются роботизированные медицинские системы иностранного производства типа «Da Vinci» и его аналоги. Российских разработок аналогичного уровня не создано. Однако, во исполнение Указа Президента

Российской Федерации от 16 декабря 2015 года № 623 «О Национальном центре развития технологий и базовых элементов робототехники», после внесения изменений в перечень приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и в перечень критических технологий Российской Федерации ситуация стала меняться. Началась разработка вертебрального хирургического комплекса в ЦКБ РАН под руководством Макирова С.К., ортопедического хирургического комплекса в РГНКЦ под руководством Ондаара В.С., универсального роботохирургического комплекса в ИКТИ РАН под руководством Шептунова С.А., а также офтальмологического роботохирургического комплекса и роботохирургического комплекса для пластической хирургии.

Фундаментальные исследования в области роботизированных медицинских систем приведут к возрождению научной школы медицинского приборостроения. Применение роботизированных систем в хирургии и восстановительной медицине позволят снизить сроки восстановления после оперативного вмешательства, а также решить актуальную проблему импортозамещения.

Алиреза Мирбагери, Саид Саркар, Фарзам Фарахманд
**ПРИМЕНЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
СИСТЕМЫ ТЕЛЕХИРУРГИИ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ**

*Научно-исследовательский центр для биомедицинских технологий &
робототехники (RCBTR)*

*Отдел медицинской физики и биомедицинского инженера,
медицинской школы*

Тегеранский Университет медицинских наук

Alireza Mirbagheri, Saeed Sarkar, Farzam Farahmand
**INTRODUCING A PRACTICAL ROBOTIC TELESURGERY
SYSTEM WITH FORCE FEEDBACK**

*Research Center for Biomedical Technologies & Robotics (RCBTR)
Dept. of Medical Physics and Biomedical Eng., School of Medicine
Tehran University of medical Sciences*

Operating room is one of the most high-stress and hard working environment specially for Surgeons. The most important problem including but not limited to poor accuracy and hand tremor of the surgeons to perform a miniature task during surgery, non-ergonomic posture of the surgeon during surgery, X-ray radiation, anesthesia gas and infections which threat the surgeons health, etc. Many of these problems may be solved by putting the surgeon outside of operating room through a robotic telesurgery platform.

Such a machine may increase the accuracy of the miniature task by scaling down the movement and filtering the surgeon's hand tremor. Also it may put the surgeon at an ergonomic sitting position during the whole surgery. By putting the surgeon outside of operating room, many risk factors for surgeon's health including X-ray radiation and infections will not affect to the surgeon. The previously available robotic surgery platform introduce these advantages to traditional minimally invasive surgeries, but still there is several limitations which should be considered at this field. In this research we introduced a new robotic surgery platform which has new advantages including; force feedback capability from slave to master side, Low cost consumable instruments, Low cost annual maintenance, changeable handles at master side, more ergonomic posture for surgeon both is sitting and standing position during surgery, modular and high configurable architecture of slave robots for any kind of surgery and finally non-interruptive repositioning of surgical bed during surgery which is very crucial for abdominal surgery. The initial preclinical evaluation of the system on animal showed that the mentioned intraoperative features could be achieved and practically the system may get ready for human trials.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

NOTES

Сборник тезисов
Международной научно-технической конференции

**ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА
И КОНВЕРСИОННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ**

7-8 июня 2018 года, Санкт-Петербург

Abstracts
of the International Scientific and Technological Conference

**EXTREME ROBOTICS
AND CONVERSION TENDENCIES**

June 7-8, 2018, Saint-Petersburg, Russia

Подписано в печать 14.05.2018
Формат 60x84^{1/8}. Печать – цифровая.
Тираж 200 экз. Объем 13,9 п.л.
Бумага офсетная. Заказ № 617
Отпечатано в ИПЦ ООО «Политехника Сервис»
с оригинал-макета заказчика.