

**ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ /
PLENARY SESSION**

А.В. Лопота, В.И. Юдин, Е.И. Юревич

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКИ ЦНИИ РТК ПО ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ /

A. Lopota, V. Yudin, E. Yurevich

RESEARCH AND DEVELOPMENTS OF RTC IN EXTREME ROBOTICS

*ГНУ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург / RTC, Saint-Petersburg
yurevich@rtc.spbstu.ru*

Экстремальная робототехника является одним из важнейших направлений современной робототехники. Ее развитие во многом определяет перспективы робототехники в целом.

Начало энергичного развития отечественной экстремальной робототехники в значительной степени положила авария на Чернобыльской АЭС и работы ЦНИИ РТК по ликвидации ее последствий. И сегодня экстремальная робототехника - одно из основных направлений работ ЦНИИРТК. И, по-прежнему, важной частью этих работ остались еще с работ на ЧАЭС системы радиационной разведки. В дальнейшем они дополнились контролем взрывоопасных, химически и биологически опасных объектов и сред, системами охраны, поиска конкретных объектов и т.п. Разработки ЦНИИ РТК хорошо иллюстрируют современное состояние и перспективы развития экстремальной робототехники в целом. На рис. 1 показана общая номенклатура систем радиационного контроля, созданных и поставляемых ЦНИИ РТК. Эти системы дополнены тренажерными комплексами для подготовки обслуживающего их персонала.



Рис. 1. Системы радиационного контроля ЦНИИ РТК

Приведенные здесь системы разного базирования иллюстрируют в своей совокупности общую концепцию решения проблемы предупреждения технологических и природных катастрофических ситуаций и минимизации их последствий. Сюда входит решение следующих задач: мониторинг потенциально опасных территорий и объектов, выявление источников этих опасностей и их устранение, ликвидация последствий возможных аварий. Наряду с таким системным подходом отдельные из перечисленных технические системы используются и для решения отдельных более частных задач.

На рис. 2 показан воздушный комплекс радиационной разведки. Его назначение – осуществлять контроль гамма и нейтронного загрязнения больших территорий с измерением

мощности доз, построением карт радиационного загрязнения и передачей этой информации на наземный вычислительный комплекс.



Рис. 2. Воздушный комплекс разведки

Дальнейшее развитие этих систем направлено на исключение операторов на борту летательного аппарата, использование беспилотных аппаратов и дополнение карт загрязнения телевизионным изображением местности.

На рис. 3. показан опытный образец беспилотного вертолетного комплекса разведки в сильных радиационных полях без облучения личного состава с возможностью посадки для взятия проб.

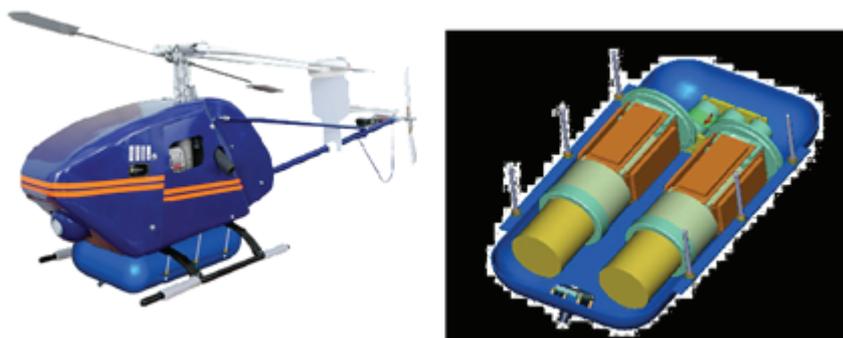


Рис. 3. Беспилотный вертолетный комплекс воздушной разведки

После создания систем воздушной радиационной разведки ЦНИИ РТК приступил к разработке спутниковых систем того же назначения.

На рис. 4 приведен наземный комплекс разведки, выполняющий те же функции, что и воздушный комплекс.



Рис.4. Наземный комплекс разведки

На рис. 5 показан внешний вид дистанционно управляемой робототехнической системы радиационной и химической разведки.



Рис. 5. Дистанционно управляемый мобильный робот радиационной и химической разведки ДР РХР

На рис. 6 показан комплекс радиационной разведки и мониторинга водных акваторий, предназначенный для обеспечения ядерной и радиационной безопасности в акватории судостроительных предприятий и баз атомных подводных лодок и надводных кораблей с ядерными энергоустановками.

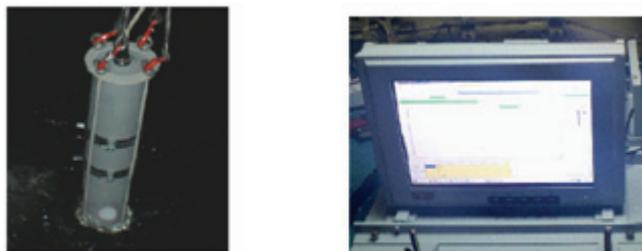


Рис. 6. Спектрометрический комплекс радиационной разведки и мониторинга водных акваторий

На рис.7 показаны робототехнические системы малого класса, предназначенные для работы в боевых условиях, включая проведение радиационной, химической, бактериологической разведки, поиск и обезвреживание взрывоопасных объектов, патрулирование, охрану объектов и территорий, доставки боеприпасов, медикаментов, продовольствия, поиск раненых на поле боя.



Рис. 7. Мобильные робототехнические системы малого класса
ЗР1, ЗР2, РТК-07, СМР-01

Традиционно важной составляющей систем экстремальной робототехники для ЦНИИ РТК является космическая робототехника. После создания системы бортовых манипуляторов для космического корабля «Буран» эти работы продолжились созданием космического шагающего манипулятора «Циркуль» и манипулятора «Дорес». На основании всех этих работ и анализа аналогичных разработок в мире в ЦНИИ РТК была разработана научно-техническая концепция развития космической робототехники, которая в настоящее время является основой для планирования отечественных работ в этой области. На рис. 8 перечислены принципы построения космических робототехнических систем, положенные в основу этой концепции.



Рис. 8. Принципы построения космических робототехнических систем

Перспективы дальнейшего развития работ по экстремальной робототехнике связаны прежде всего со следующими тенденциями: реконфигурация, интеллектуализация и миниатюризация роботов. Первая тенденция основана на дальнейшем развитии предложенного и впервые реализованного в свое время в ЦНИИ РТК модульного принципа построения роботов и заключается в создании модульных роботов с адаптивно перестраиваемой структурой. Это создает принципиально новые возможности

при априорной неопределенности условий предстоящих работ и самого их перечня путем компоновки структуры роботов непосредственно на месте работы с возможностью изменения ее в ходе самих работ. Именно модульное построение позволяет реализовать эту идею.

Дальнейшим ее развитием станет самоорганизация и самосовершенствование роботов. Очевидно, что эти перспективы особенно важны для робототехнических систем удаленных от центра управления. Например, это, безусловно, станет актуальным при освоении Луны, а возможно и для долговременных станций типа МКС. Конечно, здесь необходимо технико-экономическое обоснование. Для некоторых постоянных операций выгодно иметь специальные роботы, но для множества других работ может оказаться выгоднее располагать всего двумя-тремя реконфигурируемыми роботами разной размерности, дополняемых по мере необходимости новыми функциональными модулями для расширения их возможностей.

Не менее актуален такой подход и к робототехнике для чрезвычайных ситуаций, в условиях военного противостояния, а так же в атомной энергетике. Это очередной раз показала авария на японских АЭС. Оказалось, что в Японии, которая считается мировым лидером в робототехнике, нет роботов, которые требуются для ликвидации последствий этой аварии. Япония даже закупила несколько роботов в Германии и Италии. Однако, осталось неясным насколько они оказались пригодными в конкретных условиях японских АЭС. Другое дело, если бы это были реконфигурируемые роботы, способные оптимально структурироваться под подлежащие выполнению задачи и конкретные внешние условия.

Следующим перспективным направлением развития робототехники, в котором лидирующее положение так же занимает экстремальная робототехника, является повышение интеллектуального уровня управления, а затем и техническое освоение интуитивных творческих способностей человека. По существу, это фундаментальная проблема понимания мышления человека, в решении которой робототехника играет важнейшую роль экспериментальной базы.

Наконец, последняя в этом перечне, но исторически самая первая тенденция – это миниатюризация. Сегодня робототехника освоила мини (см) и успешно осваивает микроразмерности (мм). Впереди последний этап – наноразмерности вплоть до атомных размеров химических элементов. На этапе создания минироботов с целью уменьшения их размеров произошло конструктивное объединение отдельных функциональных модулей в многофункциональные модули. Они подобны полноценным роботам, однако предназначены для группового применения многими сотнями в общей конструкции конкретных изделий подобно клеточному строению живых объектов. Возникло новое научно-техническое направление, которое так же является развитием модульного принципа построения, но на новом уровне миниатюризации. Это направление уже вышло за рамки робототехники, охватывая все новые области техники - это самоорганизующиеся технические системы.

В ЦНИИ РТК в различном объеме проводятся инициативные научные исследования в перечисленных направлениях и прикладные НИОКР по миниробототехнике для конкретных потребителей.

С.Г. Цариченко

ЗАДАЧА СОЗДАНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ИНДУСТРИИ /

S. Tsarichenko

STATEMENT OF PROBLEM FOR ESTABLISHMENT ROBOTICS INDUSTRY

ФГБУ ВНИИПО МЧС России, г. Балашиха /

All-Russian Research Institute for Firefighting, EMERCOM Russia

tsarichenko_s@mail.ru

На современном этапе развития научно-технического прогресса робототехника занимает лидирующую позицию, что обусловлено не только социальной составляющей – стремлением заменить человека при выполнении сложных и особо опасных операций, реализация которых находится за пределами физических возможностей человеческого организма, но и уровнем современной науки и техники, когда стало возможным реализовывать отдельные функциональные возможности человека с помощью интеллектуальных технических аналогов.

По результатам анализа минимальная первоочередная потребность в робототехнических комплексах для проведения пожарно-спасательных и аварийно-восстановительных операций составляет 30-40 единиц техники, минимальное количество комплексов для обеспечения оперативности развертывания составляет 160-170, оптимальное количество – 500-600 единиц (по

информации из различных источников в боевых действиях в Ираке и Афганистане на стороне сил коалиции применяются от 3 до 5 тыс. роботизированных комплексов различного назначения)

Очевидно, что для решения задач по разработке, производству и принятию на вооружение только робототехнических комплексов для проведения пожарно-спасательных и аварийно-восстановительных операций требуется комплексная программа, затрагивающая не только пользователей этих систем, но и практически все отрасли науки и промышленности, так как робототехнический комплекс представляет совокупность устройств и узлов, в производстве которых заняты практически все отрасли. Поэтому решая проблему внедрения экстремальных аварийных роботов – мы решаем целый комплекс экономических задач.

На заседании Правительственной комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности (протокол №5 от 23.06.2009 раздел II п.п. 3-6) под председательством С.К. Шойгу с участием Н.Г. Кутыина и др. было принято решение о необходимости создания подразделений робототехнических средств для проведения пожарно-спасательных и аварийно-восстановительных операций в условиях повышенной опасности на объектах Госкорпорации «Росатом», Минобороны России, Минпромторга России и других заинтересованных ведомств. Для реализации этого решения необходимо было выполнить ряд мероприятий:

- составить перечень объектов, подлежащих оснащению робототехническими средствами;
- определить состав необходимой группировки робототехнических средств по типовым объектам;
- определить объемы и источники финансирования создания робототехнических комплексов;
- составить программу подготовки операторов управления робототехническими средствами;
- подготовить предложения по внесению изменений в Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» в части ответственности собственника за оснащение опасных производств робототехническими средствами.

Указанные материалы были подготовлены, утверждены и приняты к исполнению. Кроме того, проект изменений в ФЗ №116 был разослан по всем согласующим органам и направлен Ростехнадзор для включения в новую редакцию закона.

Актуальность проблемы была подтверждена решением расширенного заседания Правительственной комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности (протокол №2 от 26.06.2009 раздел II п.п. 2-4) под председательством Председателя Правительства Российской Федерации В.В. Путина.

Конструктивно робототехнический комплекс представляет сочетание элементов компьютерного программирования для решения сложных динамических задач управления, в том числе при групповом управлении в робототехнических системах, систем связи и ориентации в пространстве на основе распознавания и идентификации образов среды, систем и узлов реализации поставленных задач на основе современных достижений мехатроники. То есть, для реализации программы создания любого робототехнического комплекса необходимо иметь отлаженную систему научных и промышленных связей, направленных на реализацию проекта по созданию взаимоувязанного и согласованного решения, которые охватывают практически все отрасли экономики,

При создании роботизированных комплексов для проведения работ в условиях повышенного риска, обусловленного наличием радиационного, химического, бактериологического заражения и при наличии взрывоопасных объектов необходимо решение следующего ряда технических задач:

1. Разработка электронных компонентов

- a. Проектирование и подбор комплектующих для создания сенсорных обзорно-телевизионных систем на базе телекамер, лазерных сканаторов, лазерных дальномеров и др.
- b. Проектирование и подбор комплектующих для создания навигационных систем на базе инерциальных датчиков (гироскопов, акселерометров) и GPS.
- c. Проектирование и подбор комплектующих для создания систем контроля тепловых потоков и температурных полей на базе тепловизоров и пирометров.
- d. Проектирование и подбор комплектующих для систем радиационного и химического контроля.
- e. Проектирование и изготовления систем приема-передачи управления и телеметрии (на базе модемов, устройств широкополосной приема-передачи) в агрессивных условиях (вне зоны прямой видимости, в плохих погодных условиях, при наличии серьезных помех) на расстояния свыше 2 км.

- f. Проектирование и изготовление систем видеонаблюдения (видеомикширования, передачи видеосигнала на расстояния свыше 2 км в условиях, перечисленных выше).
2. Разработка программного обеспечения.
 - a. Задача навигации и ориентирования робота в режиме автономного движения в заранее неизвестной обстановке.
 - b. Задача построения карты местности в формате 3D-изображения с наложением реальных телевизионных картинок и всех опасных факторов (температура, радиация, загрязненность) в реальном времени и задача передачи выстраиваемой карты на пульт оператора.
 - c. Задача построения бортовой базы знаний интеллектуальной системы управления, содержащей и накапливающей информацию о факторах чрезвычайных ситуаций.
 - d. Вопросы группового управления робототехническими комплексами.
 3. Разработка компоновочных проектных решений и исполнительных механизмов
 - a. Разработка концептуального дизайна и чертежей для робота определенного назначения (разведчик, пожарник, боец).
 - b. Проектирование гидравлических схем и подбор комплектующих для создания силовых агрегатов (шасси, манипуляторы, различный гидроинструмент) с элементами обратной связи.
 - c. Проектирование конструкций и подбор комплектующих для создания механических изделий на базе электродвигателей переменного и постоянного тока с элементами обратной связи.
 - d. Проектирование силовых агрегатов на базе ДВС.
 - e. Расчет и проектирование силовых цепей питания на базе аккумуляторов различных типов.

Учитывая то, что область деятельности роботизированных комплексов охватывает подводную, наземную и аэро-космическую среды обитания человека, сочетая в себе все передовые достижения научно-технического прогресса, то становится очевидным, что, при соответствующем внимании к развитию этой отрасли, прогрессивный положительный результат будет получен не только в части развития научно-промышленного комплекса страны, создающего робототехнику, но и в областях, где эта техника будет использована. В первую очередь это будет иметь место при изучении и освоении Мирового океана, выполнении работ по глобальному мониторингу поверхности Земли, в том числе при борьбе с природными пожарами, проведении военных и антитеррористических операций - обеспечении безопасности государства под водой, на земле и в аэро-космическом пространстве, выполнении пожарно-спасательных и аварийно-восстановительных работ в условиях особого риска.

Исходя из вышесказанного, а также, учитывая современное состояние вопроса в области развития робототехники, в первую очередь экстремальной, становится очевидным, что необходимо в кратчайшие сроки пересмотреть принцип организации работ по развитию робототехники в стране, выведя эти работы из режима сугубо ведомственных программ развития, придав программе развития робототехники общегосударственный статус Федеральной целевой программы под началом Координационного комитета, направленной на создание специализированной отрасли по разработке и созданию робототехнических комплексов, соответствующих единой системе стандартов, работающей на основе унифицированной элементной базе с учетом специфики задач заказчика и сконцентрированной на решении наиболее важных и перспективных проектов, представляющих интерес для всех ведомств.

Paul G. Plöger, Erwin Prassler
EUROPEAN RESEARCH IN ROBOTICS – SOME GERMAN CONTRIBUTIONS /
Пауль Плёгер, Эрвин Прасслер
ВКЛАД ГЕРМАНИИ В ЕВРОПЕЙСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В РОБОТОТЕХНИКЕ

Университет прикладных наук, Бонн-Рейн-Зиг, Германия /
University Bonn-Rhein-Sieg, Germany

The paper contains a short account of some highlights in robotics in Germany including the new areas of investigation in Bonn-Rhein-Sieg University. Attention is paid on a specific problem in service robotics. Here we encounter with the problems connected with the fact that a service robot operates under conditions of the every-day, e.g. like in regular households without any special provisions taken. Other problems are the next: the robot should be able to communicate with human users, to navigate and localize in

an apartment and especially be able to detect and categorize objects. For example, how to find an object and its category like "a cup" instead of "my cup"?

In the presented approach a typical household scene, which contains some of the objects to be grasped, will be sensed by a very cheap, off-the-shelf, noisy RGB-D 3D camera (Kinect) which produces colour and -at the same time- distance-to-camera information per pixel. Result is an 3D, colour annotated Unstructured Point Cloud (UPC). In this UPC firstly are reconstructed planes (since objects are usually supported by desks, shelves etc), then are subtracted these planes from the UPC. Then is segmented and (euclidean) clustered the left over UPC, which gives us some isolated Candidate Regions for Objects (CROs). In CROs are now reconstructed partial surfaces of the objects by a neural network technique.

A modified Growing Neural Gas (GNG) algorithm is applied for surface reconstruction of the free-formed objects. From the CROs the GNG now produces a mesh, which has the advantage of 1) being triangulated and 2) being a model-free reconstruction of the parts of the object in view. Finally two feature distributions (point distances and surface normals) are extracted from the mesh and compared to trained distributions which are discriminative for the object classes.

The experiments indicate that GNG generates consistent surfaces which allow the categorization of object from partial views and is able to cope with the noise found in the UPCs. Therefore, the proposed algorithm is an attractive alternative to standard triangulation methods and is also applicable as a basic processing step in a perception pipeline for service robots.

The second part of the paper is devoted to the SW development for service robotics, namely to the EU funded project BRICS. Even after 50 years of robotics development and research the process of developing a new robot and its applications has more similarities with ingenious engineering or designing a piece of artwork than with a structured and well-defined process. This holds particularly true for advanced service robot systems. The prime objective of BRICS is to structure and formalize the robot development process itself and to provide development tools, computational models, and functional libraries, which allow engineers and developers of complex robotic systems to reduce the development time and effort by an order of magnitude.

European project BRICS will work together with academic and industrial providers of robotic components – both hardware and software – to identify and document best practices in the development of complex robotics systems, to refactor existing components in order to achieve a much higher level of reusability and robustness, and to support the robot development process with a wellstructured tool chain and a repository of reusable, configurable code.

Some information on new the upcoming projects in EU funded framework program FP8 will be also presented.

A.A. Градовцев, А.С. Кондратьев, А.Н. Тимофеев
**РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ПЕРСПЕКТИВНОЙ
КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ /**
A. Gradovtcev, A. Kondratiev, A. Timofeev
MEANS OF ROBOTICS FOR OBJECTS OF OUTER SPACE INFRASTRUCTURE

*ГНУ ЦНИИ РТК, СПбГПУ, Санкт-Петербург /
RTC; Saint-Petersburg State Polytechnic University, Saint-Petersburg
agradov@rtc.ru; kondr@rtc.ru; timofeevan@inbox.ru*

В настоящее время прорабатываются предложения по дальнейшему развитию отечественной космонавтики на период до 2050 г.[1]. Для решения задач освоения ближнего и дальнего космоса формируется перспективная космическая инфраструктура (ПКИ). Она включает различного назначения пилотируемые корабли, автоматические аппараты, орбитальные станции, напланетные базы и дополнительное оснащение. В том числе важную роль играет робототехническое обеспечение (РТО) объектов ПКИ.

В общем случае полномасштабные РТС космического назначения (орбитальные) содержат следующие основные компоненты: манипуляторы; штативы изменения положения и фиксации разнообразных объектов; средства энергообеспечения, связи и управления; постоянное и сменяемые рабочие органы и инструменты (телевизионные камеры, осветители, диагностические приборы, захватные и стыковочные устройства, обрабатывающий инструмент, магазины сменных рабочих органов, оборудование базового рабочего места).

Наиболее общими признаками систематизации альтернативных проектных обликов РТС космического назначения являются количество и структура взаимодействия манипуляторов с 7-ю вращательными степенями подвижности (рисунок 1).

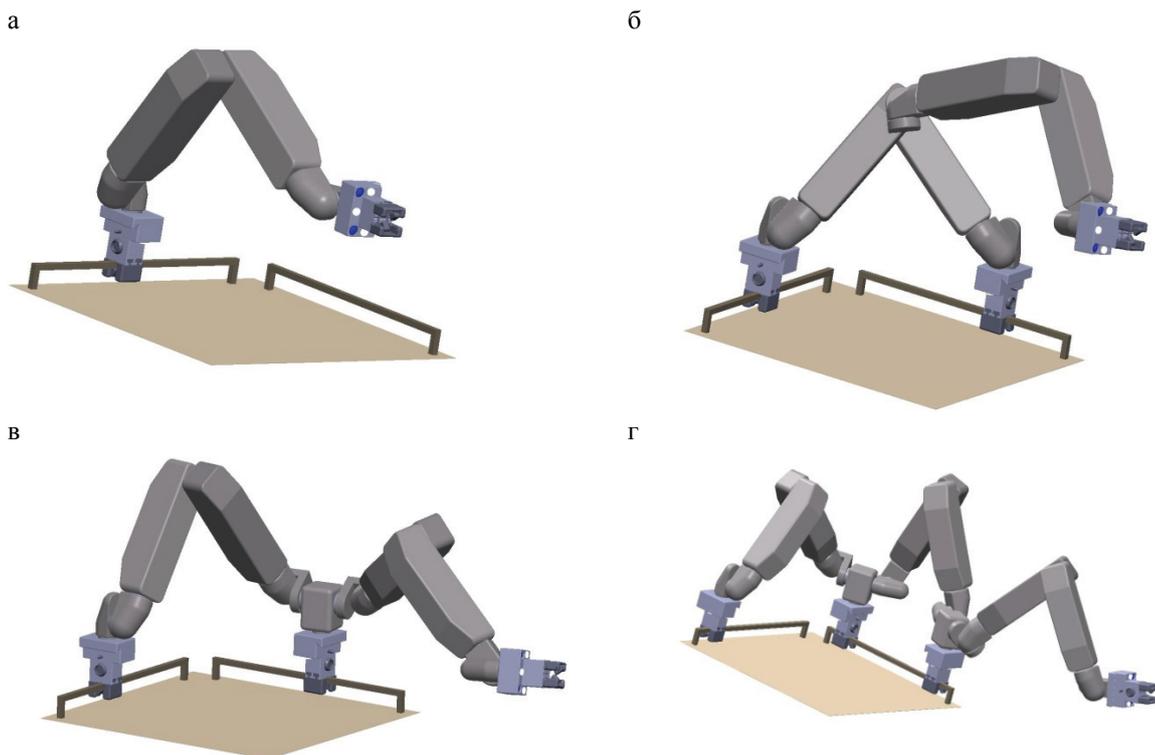
Первая схема (рисунок 1,а) с 1-им манипулятором является простейшей. Она распространена в манипуляторах, предназначенных для доступа к зонам, удаленным от основания на расстояние до 6...12 м [2]. Далее такие устройства декаметрового диапазона условимся называть ДМ-манипуляторами. Большие вылеты неизбежно приводят к значительным погрешностям. Из-за люфтов и деформаций передач зона неопределенности положения рабочего органа доходит до 50...100 мм. Поэтому они применимы только для грубых операций, например, транспортирования крупных объектов. Манипуляторы с двумя устройствами захвата и стыковки (УЗС) способны либо сами перемещаться шаганием по такелажным элементам, либо перемещать объекты. Но совмещение этих двух функций практически невозможно. Одиночные манипуляторы с вылетом порядка 0,6...1,4 м могут работать с погрешностями менее 2..5 мм. Условимся такие устройства метрового диапазона называть М-манипуляторами. Они применимы для точных технологических операций, и прежде всего, сборочных, включая установку или смену оборудования. Из-за малой избыточности и небольшой рабочей зоны М-манипуляторы оказываются узко специализированными, что сокращает область их целесообразного применения. Но группа таких взаимодействующих мобильных роботов способна решать сложные задачи и отличается непревзойденной надежностью и устойчивостью к отказам отдельных подсистем.

Система, образованная присоединением одного манипулятора к середине второго (рисунок 1,б), является минимально достаточной для перемещения и фиксации на такелажных элементах и выполнения технологических операций.

Последовательное соединение одинаковых многоцелевых М-манипуляторов (рисунок 1,в) приводит к компоновке робототехнической системы, подобной верхнему поясу человека. Далее такие антропоморфные робототехнические системы условимся называть А-РТС. Они способны перемещаться перешагиванием по поручням для космонавтов и другим такелажным элементам (рисунок 2).

В большинстве случаев осуществимо дублирование захвата за поручни, что соответствует правилам безопасности работы космонавтов в открытом космосе. Антропоморфные РТС перспективны для выполнения большинства актуальных операций по обследованию, сборке, обслуживанию и ремонту космических аппаратов (КА) и их оборудования.

Для некоторых задач, например, захвата и обслуживания автоматических космических аппаратов (АКА), представляет интерес система из последовательно соединенных десятиметрового и метрового диапазонов (ДМ-манпулятора и М-манипулятора).



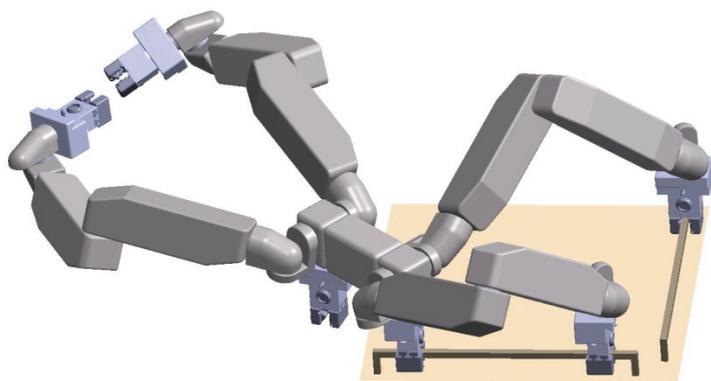


Рис. 1. Разновидности космических транспортно-манипуляционных систем: а) простейшая с 1-им манипулятором; б) с 2-мя манипуляторами смешанной структуры соединения между собой; в) с 2-мя последовательными манипуляторами; г) с 3-мя последовательными манипуляторами; д) с 4-мя манипуляторами

Первый манипулятор захватывает АКА на безопасной дистанции, а второй – выполняет операции с повышенной точностью, например, сменяет блоки или осуществляет заправку.

Четвертая компоновочная схема (рисунок 1,г) в виде последовательной цепи 3-х и более манипуляторов соответствует змеевидным РТС. Они перспективны для перемещения и работы в узких извилистых полостях, например, негерметичных объемах КА. Подобные роботы скорее всего будут выполнять роль сменного рабочего органа многоцелевых РТС.

Пятая схема (рисунок 1,д) с 4-мя манипуляторами перспективна для выполнения наиболее сложных операций, требующих одновременного участия нескольких рабочих органов. Например, два манипулятора удерживают собираемые элементы, третий – их скрепляет, а четвертый - обеспечивает фиксацию всей РТС на КА. При удлинении центрального корпуса система становится удобной для перемещения особо тяжелых и громоздких объектов. Воспроизводится существующая методика перемещения громоздких грузов двумя космонавтами на двух фалах врасяжку. Особо сложные операции редки. Поэтому данная схема будет оправданной в случае агрегатирования двух А-РТС или четырех мобильных М-манипуляторов.

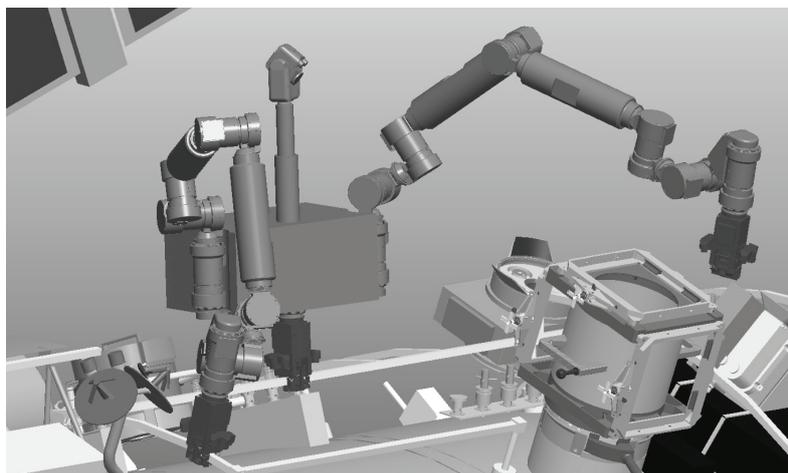


Рис. 2. Космическая транспортно-манипуляционная система для обеспечения орбитальных станций, разработки ЦНИИ РТК

В напланетных РТС кроме выше описанных будут востребованы роверы и манипуляторы на средствах передвижения по неупорядоченной среде.

В тех случаях, когда неоправданно оснащение КА робототехническими средствами с манипуляторами и телевизионными системами, могут оказаться полезными «роботы-инспекторы», свободно летающие в атмосфере станции или на ракетных двигателях в открытом космосе.

В итоге РТО для объектов ПКИ предположительно может быть образовано следующими видами робототехнических систем:

- антропоморфные РТС (А-РТС) в трех модификациях, а именно для работы:

в герметичном объеме КА,
на наружной поверхности КА,
на планетах;

- манипуляторы 10-метрового диапазона (ДМ-манипуляторы);
- РТС в виде последовательно связанных манипуляторов 10-метрового и метрового диапазона (РТС из ДМ- и М-манипуляторов);
- агрегируемые автономные мобильные манипуляторы метрового диапазона (РТС из АМ-манипуляторов);
- свободно летающие роботы-инспекторы.

Встраивание этих робототехнических средств в тот или иной объект ПКИ подлежит обоснованию.

Каждый объект ПКИ предназначен для выполнения специфичного набора базовых функций. Некоторая часть из этих функций требует робототехнической поддержки. Для объектов ПКИ различного назначения имеются повторяющиеся устойчивые сочетания (комбинации, группы) базовых функций и реализующие их робототехнические средства. Различаются следующие виды РТО объектов ПКИ. А именно, робототехническое обеспечение:

- инспекции, эксплуатации и ремонта оборудования внутри космического аппарата (КА);
- инспекции, развертывания, эксплуатации и ремонта оборудования на наружной поверхности КА;
- внекорабельной деятельности космонавтов (ВКД);
- взаимодействия между КА;
- взаимодействия КА с некооперируемыми объектами;
- взаимодействия КА с космическими объектами;
- напланетной деятельности.

Робототехническое обеспечение, инспекции, развертывания, эксплуатации и ремонта оборудования внутри КА (РТО оборудования внутри КА) и на наружной поверхности КА (РТО оборудования снаружи КА) предназначено для поддержания работоспособности аппарата в стационарном режиме. Инспекция состояния оборудования может осуществляться либо А-РТС, либо летающим роботом-инспектором. Удаленные элементы конструкции, например, солнечные батареи, могут обследоваться ДМ-манипулятором. Для инспекции робототехнические средства должны быть оснащены телевизионными средствами (обзорными телекамерами и/или стереокамерами) и, по мере необходимости, эндоскопическими устройствами и аппаратурой для измерения, например, радиации или температуры.

Развертывание космических аппаратов и комплексов подразумевает реконфигурацию составляющих их модулей и выдвижение или поворот складных конструкций. Большинство этих задач в состоянии выполнять робототехнические средства с вылетом рабочего органа до 1,5 м. Если потребуется перемещать крупные модули на значительное расстояние, то могут потребоваться ДМ-манипуляторы.

Неоднократно прорабатывались задачи сборки на орбите из отдельных стержней крупногабаритных конструкций в виде ферм. В стадию практической реализации они не перешли. Если эти операции окажутся актуальными, то они могут быть осуществлены либо А-РТС, либо РТС из АМ-манипуляторов, либо РТС из ДМ- и М-манипуляторов. В любом случае, дополнительно необходима развернутая инфраструктура доставки строительных материалов – стержней и узлов ферм.

К задачам эксплуатации оборудования КА относится, например, замена или переориентация образцов, открытие заслонок, переориентация или замена исследуемых образцов. Эти операции могут выполняться А-РТС. В настоящее время и в ближайшей перспективе ремонтные работы сводятся к замене неисправных блоков или других элементов на работоспособные. Операция установки любого объекта (блока или иного оборудования) включает: захват объекта из некоторого исходного фиксирующего устройства; транспортирование его к месту установки; непосредственно установка объекта на новом месте. В большинстве случаев эта операция выполнима только двумя манипуляторами, один из которых поджимает объект к базам такелажных элементов КА, а второй – его фиксирует. Аналогичные требования при захвате объекта РТС с исходной позиции. Одним манипулятором сборка возможна только при условии оснащения всех устанавливаемых объектов или исходных и конечных позиций установки множеством устройств фиксации с дополнительными приводами, что обычно неприемлемо из-за массовых и габаритных ограничений. Таким образом, для замены оборудования и других сборочных операций требуются либо А-РТС, либо РТС из ДМ- и М-манипуляторов. ДМ-манипуляторы для этого плохо подходят из-за чрезмерных погрешностей и отсутствия второго фиксирующего манипулятора. В отдаленной перспективе по мере

совершенствования роботов и средств автоматического управления предполагается выполнение ими более сложных, заранее непредвиденных ремонтных работ.

РТО обеспечения оборудования внутри и снаружи КА в принципе может использоваться на любых объектах ПКИ. Однако затраты на его введение окажутся оправданными прежде всего на длительно работающих КА с развитой структурой, многочисленным оборудованием как установленным, так и находящемся в резерве для замены вышедшего из строя. Объекты ПКИ, в которых внедрение этого вида РТО наиболее вероятно, приведены в таблице 1.

РТО внекорабельной деятельности космонавтов (ВКД) включает функции:

- доставки космонавту инструментов, расходных материалов и сменяемого оборудования;
- освещение и телевизионный контроль рабочей зоны космонавта;
- фиксация космонавта при выполнении особо сложных работ;
- перенос космонавта к удаленным от корабля зонам, например, к обслуживаемому КА.

На большей части наружной поверхности КА эти задачи способна решать А-РТС. А для доступа к удаленным зонам потребуется ДМ-манипулятор. РТО ВКД актуально только для КА, имеющих шлюзовую камеру. Объектами такого РТО скорее всего будут орбитальные станции, напланетные базы и пилотируемые корабли для автономных полетов в околоземном пространстве (таблица 1).

РТО взаимодействия между КА призвано решать задачи захвата и приведение в требуемое положение подлетающего КА относительно КА-носителя робототехнических средств. Различаются два вида подобных задач. Первый вид - стыковка кораблей, включая герметизацию стыка и последующий проход сквозь стык космонавтов. Соединяемые таким образом корабли имеют развитые системы измерения взаимного положения и тонкого управления ракетными двигателями. Это позволяет в свободном полете с высокой точностью вывести причаливающий корабль в назначенное положение относительно принимающей орбитальной станции. Перевод из этого положения в позицию начала работы механизма герметизации может производиться любым манипулятором, в том числе с размерами рабочей зоны менее 1 м. Такие небольшие специализированные манипуляторы обычно входят в состав механизмов захвата и стыковки. Второй вид задач – захват КА на безопасном, и, следовательно, значительном расстоянии от принимающего корабля. Дале, даже без дальнейшего сближения, причаливший КА может обслуживаться, например, с помощью РТС из ДМ- и М-манипуляторов. Либо он подводится к фиксирующему устройству без герметизации. Такое РТО необходимо для пилотируемых кораблей для автономных полетов в околоземном пространстве (см. таблицу 1).

РТО взаимодействия КА с некооперируемыми объектами необходимо для операций по спасению экипажей космонавтов, восстановлению работоспособности автоматических КА и очистки космического пространства от обломков космической техники. На сегодня не найдено приемлемого решения этих задач. Предстоит разработать захватные устройства, способные взаимодействовать элементами конструкций произвольной, зачастую заранее непредвиденной формы. Найти решение безопасного взаимодействия с произвольным образом вращающимися объектами.

РТО взаимодействия КА с космическими объектами предполагается устанавливать на перспективные пилотируемые транспортные корабли для астероидного пояса или автоматические аппараты-роботы для контактного изучения космических объектов. Оно необходимо для забора проб грунта и анализа свойств космических объектов. Вид робототехнических средств, в значительной степени, определится условиями работы КА вблизи астероидов. Могут оказаться достаточными М-манипуляторы, и в случае повышенной опасности потребуются ДМ-манипуляторы.

РТО напланетной деятельности потребуется для лунной и марсианской баз (см. таблицу 1). Оно необходимо для решения задач перемещения по планете автоматических исследовательских аппаратов, строительства, эксплуатации и ремонта базы. Предполагается, что в состав этого РТО войдут роверы - мобильные роботы-исследователи, А-РТС на средствах передвижения и ДМ-манипуляторы для тяжелых погрузочных работ.

РТО взаимодействия между КА, с некооперируемыми объектами и с космическими объектами являются обязательными. Без них в принципе невозможно выполнение базовых функций, определяющих назначение соответствующих объектов ПКИ (см. таблицу 1).

В отличие от этого РТО разворачивания и поддержания эксплуатации КА в стационарном режиме, включая РТО ВКД, не являются обязательными. Их задачи могут быть либо решены непосредственно космонавтами, либо сняты повышением надежности и резервированием подсистем КА и развитием степени автоматизации этих подсистем, например, научной аппаратуры или механизмов разворачивания и реконфигурации. Для каждого КА очевидно требуется обоснование

целесообразности создания и реализации РТО. При этом должны приниматься во внимание ряд критериев, в том числе следующие:

- частота, количество повторений этих операций;
- повышение эффективности функционирования КА, например, экономии топлива или затрат на разработку, создание и выведение на орбиту оборудования КА;
- затраты на разработку, создание, вывод на орбиту и эксплуатацию РТО и альтернативных средств автоматизации и резервирования подсистем КА;
- надежность и безопасность выполнения операций с помощью РТО и альтернативных средств.

Таблица 1

Объекты ПКИ и их базовые функции, для которых наиболее вероятно оправданность внедрения РТО

Космические аппараты ПКИ	Базовые функции	Потенциальные виды РТО
<i>Ближний космос (в пределах зоны, защищаемой магнитным полем Земли)</i>		
Международная космическая станция или орбитальная станция нового поколения	Автономный полет экипажа на околоземной орбите. Научно-прикладные исследования Реконфигурация станции	РТО оборудования снаружи КА, РТО ВКД,
Перспективный пилотируемый корабль для автономных полетов в околоземном пространстве	Доставка экипажей и грузов на околоземные орбитальные станции. Обслуживание на орбите автоматических космических аппаратов (КА) Удаление с орбиты вышедших из строя КА и космического мусора. Стыковка с некооперируемыми аппаратами, в том числе спасение экипажей. Сборка крупногабаритных конструкций (в том числе с выходом экипажа в открытый космос). Научные исследования и эксперименты	РТО оборудования снаружи КА, РТО ВКД, РТО взаимодействия между КА, РТО взаимодействия с некооперируемыми объектами,
<i>Луна и окололунное пространство</i>		
Лунная орбитальная станция	Обеспечение пребывания экипажа. Стыковка с КА	РТО оборудования снаружи КА, РТО ВКД,
Лунная база	Обеспечение пребывания экипажа более 3 суток	РТО напланетной деятельности
Лунная орбитальная станция	Обеспечение пребывания экипажа. Стыковка с КА	РТО оборудования снаружи КА, РТО ВКД,
Межпланетный буксир	Доставка с околоземной орбиты экспедиции или полезных грузов на орбиты удаленных космических объектов Разворачивание конструкций МБП	РТО оборудования снаружи КА, РТО ВКД,
<i>Марс и околомарсианское пространство</i>		
Марсианская орбитальная станция	Обеспечение пребывания экипажа. Стыковка с КА	РТО оборудования снаружи КА, РТО ВКД,
Марсианская база	Обеспечение пребывания экипажа	РТО напланетной деятельности
<i>Дальний космос</i>		
Перспективный пилотируемый транспортный корабль для астероидного пояса	Доставка экипажей и грузов на космические объекты (в частности астероиды) во внеземном пространстве, сближение и, например, взятие проб с космического объекта	РТО оборудования снаружи КА, РТО ВКД, РТО взаимодействия с космическими объектами
Автоматический аппарат-робот для контактного изучения космических объектов	Детальное изучение космических объектов, например, взятие и анализ проб	РТО взаимодействия с космическими объектами

Исследования с целью обоснования целесообразности РТО предполагают проработку принципиальных решений РТО и его использования в условиях конкретного КА, а также сбор и анализ экспертных оценок специалистов по вышеперечисленным критериям. В усеченном объеме подобная работа была проведена ЦНИИ РТК применительно к РТО МКС. Было установлено, что наивысшей относительной эффективностью (отношением многообразия выполняемых функций к сложности системы) отличаются мобильные антропоморфные робототехнические системы (рисунок 2).

Литература

1. Лопота В.А. Космонавтика в XXI веке, Вестник Российской академии наук, 2011, том 81, №9, с771-793.
2. B. Siciliano, O. Kyatib: Hanbook of Robotics. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008.

Л.Г. Горбов, В.М. Левшаков, В.Б. Соломатов
РОБОТИЗИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОМ СУДОСТРОЕНИИ /
L. Gorbov, V. Levshakov, V. Solomatov
ROBOTIC TECHNOLOGIES IN MODERN SHIPBUILDING

ГНЦ РФ ОАО «ЦТСС», Санкт-Петербург /
SSC RF JSC «SSTC», Saint-Petersburg,

В современном мире потребности и темп жизни человека стремительно возросли, и как следствие это не могло не отразиться на промышленности и производстве. Использование робототехники в производстве продукции всех видов стало необходимостью.

Сегодня значительные преобразования массового производства диктуются не только высокими темпами научно-технического прогресса, но и социальной необходимостью. Известно, что все неавтоматизированные технологические процессы обладают невысоким потенциалом из-за низкой интенсивности, отсутствия концентрации операций, их совмещения во времени. Гибкое автоматизированное производство, которое призвано обеспечить выпуск разнообразнейшей продукции, уже сейчас становится важной составляющей для успешной деятельности того или иного предприятия.

К такому производству относятся промышленные роботы, задачей которых является поднять эту структуру на качественно более высокий уровень.

Тысячи компаний по всему миру в настоящее время делают серьезный упор на использование роботов в своем производстве. Наблюдается тенденция увеличения парка роботов в современном промышленном производстве, которая обусловлена рядом объективных факторов. Как правило, это не только стремление к повышению производительности труда, но и насущная необходимость обеспечения стабильно высокого качества продукции.

Промышленные роботы могут применяться для решения самых разных задач. Основными сферами применения являются: электродуговая сварка, контактная сварка, покраска, механическая обработка, паллетирование, перемещение деталей и сборка

Как отмечают эксперты, именно в России спрос на промышленные роботы в ближайшие 10 лет может увеличиться до 1000%.

Вот почему, многие производители, начали открывать свои представительства в России и создавать в этом регионе системных интеграторов, способных реализовывать роботизированные проекты.

Применение современных промышленных роботов способствует:

- увеличению производительности оборудования;
- увеличению выпуска продукции;
- улучшению качества продукции;
- экономии материалов и энергии.

Значимость промышленных роботов высока. Они явились тем недостающим звеном, которое позволило объединять разрозненное технологическое оборудование в комплексные гибкие автоматизированные производственные системы машин и приборов.

В современном судостроении самой распространенной областью применения роботизированных технологических комплексов являются автоматизированные линии по изготовлению плоских секций (рисунок 1).

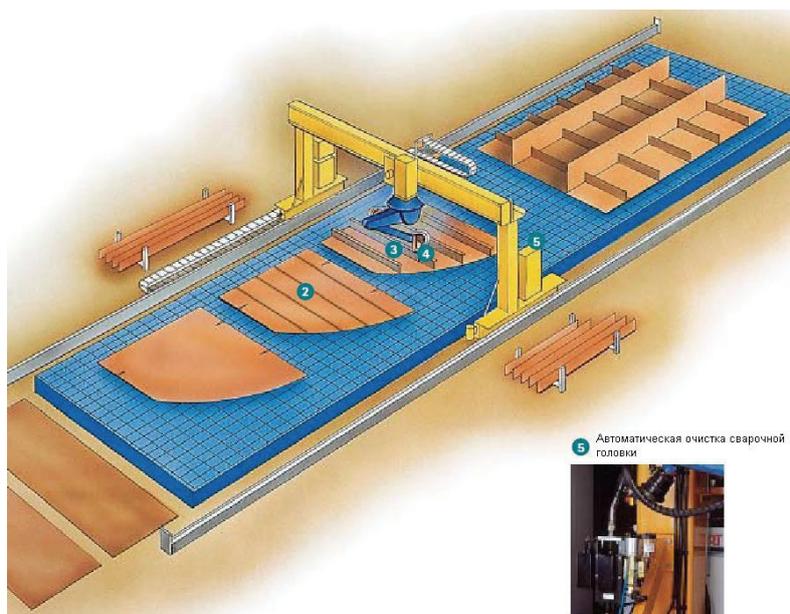


Рис. 1. Роботизированный технологический комплекс для изготовления плоских секций и панелей

Данные комплексы применяются для одно- или двусторонней приварки набора ячейковым способом (рисунок 2, 3).

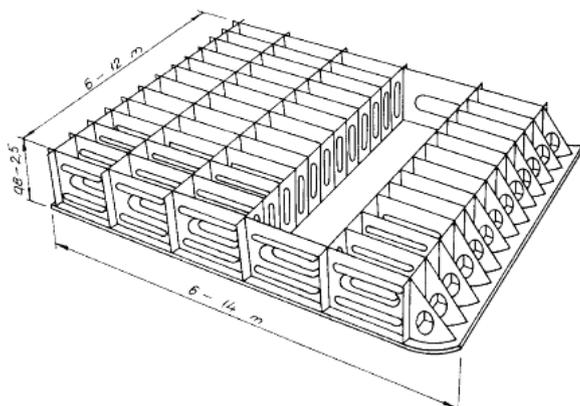


Рис.2. Типичная плоская секция корпуса судна

Сварочные операции составляют 28-30 % от объема всех работ в судостроении и на них приходится 38-40 % всего потребления энергии. Поэтому автоматизация и роботизация сварочного производства является одним из главных направлений по повышению производительности.

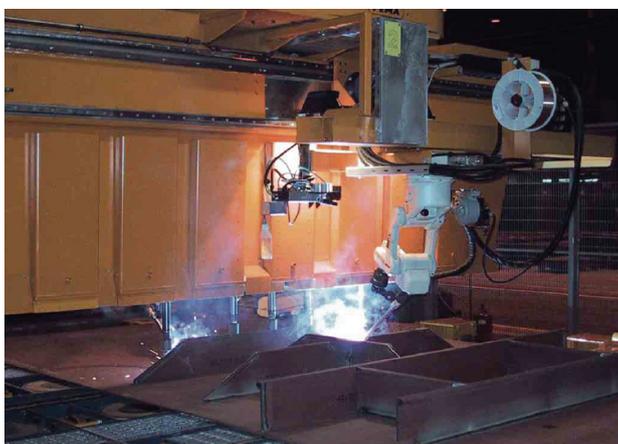


Рис. 3. Роботизированный комплекс в действии на заводе в г. Турку, Финляндия

Впервые промышленные сварочные роботы появились 70-х годах в Японии на верфях IHI и Kawasaki. Для сварки мелких деталей к середине 1980-х годов компания Harbercraft (Канада) применяла один из первых сварочных роботов. На графике (рисунок 4) показано распределение сварочных роботов в судостроении на 2007 г.:

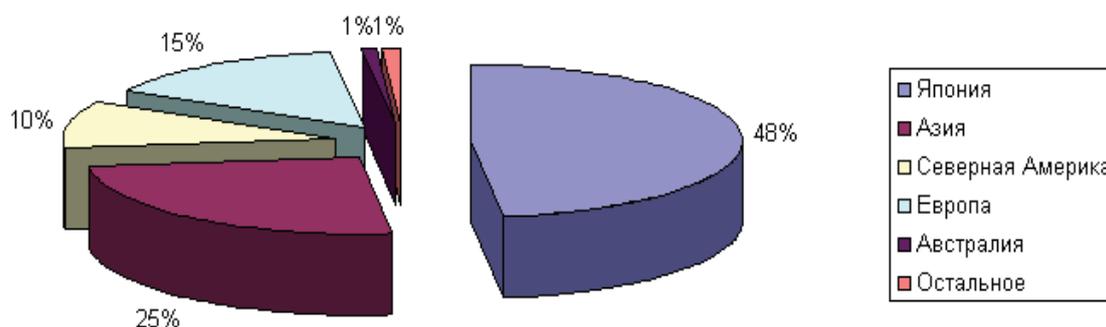


Рис. 4. Распределение сварочных роботов по частям света

Первыми, кто начал применять промышленные роботы в Европе, была группа компаний Aker yards, а именно верфь в г. Турку (Финляндия). Компания Rema (Финляндия) занимается изготовлением и внедрением роботизированных промышленных комплексов.

Однако сейчас Европейским лидером по применению роботов в судостроении является верфь Odense Steel Shipyard (Дания). Промышленные роботы там используются не только для изготовления плоских секций и панелей, но и также для дробеструйной обработки корпуса судна перед покраской, изготовления отдельных деталей и т.д. В основном покупается как недорогостоящее оборудование фирм Hitachi и Nigobo (Япония), так и Motoman (Швеция).

Многие судостроительные верфи занимаются не только внедрением, но и производством роботизированных промышленных комплексов. Так верфь Kranendonk (Нидерланды) успешно продает роботизированные системы по всему миру. Данная компания применяет РТК, как для изготовления плоских палубных секций, так и для двойных бортов.



Рис. 5. Роботизированный комплекс для изготовления двойных бортов

Крупнейшей компанией по внедрению промышленных роботов в Северной Америке является верфь в г. Филадельфия (США). Роботизированные технологические комплексы в основном построены на базе роботов фирмы АВВ (Германия). Промышленные роботы там также применяются и для дробеструйной обработки корпуса на построечном месте (рисунок 6).



Рис. 6. Примеры роботов, применяемых на верфи в Филадельфии (США)

Среди стран СНГ лидирующее место по применению промышленных роботов является Литва, а именно верфь «Балтия в г. Клайпеда». РТК фирмы Рета (Финляндия), установленные на данном предприятии, позволяют изготавливать секции шириной до 17 м (рисунок 7).



Рис. 7. РТК фирмы Рета (Финляндия) на верфи «Балтия» (Литва)

В Петербурге ОАО «Адмиралтейские верфи» приняло в эксплуатацию закупленную у германской фирмы IMG (Германия) роботизированную линию для первичной обработки металла – очистки и раскроя листового проката, раскрой профильного корпуса. В отличие от предприятий СНГ, имеющих подобные роботизированные линии, разработку управляющих программ осуществляли непосредственно специалисты Адмиралтейских верфей.

Все операции этой линии механизированы, а раскрой профиля плазмой выполняет робот, управляемый по заранее подготовленной программе. Линию обслуживают три оператора, которые заменили целую бригаду разметчиков и газорезчиков. При этом значительно повысилась точность изготовления деталей и качество раскроя. Как отметили на предприятии, на очереди - модернизация сборочно-сварочного производства по изготовлению секций для формирования корпусов судна. Для этого планируется закупить механизированные линии по изготовлению плоских секций и микропанелей.

Одним из популярных применений РТК является производство судовых трубопроводов (рисунок 8).



Рис. 8. Соединения трубопроводов, изготавливаемые с использованием промышленных роботов

Внедрением таких промышленных роботов активно занимаются верфи Mayer werft (Германия) и в г. Сплите (Хорватия). Для этих целей были разработаны 8-осные роликовые машины для контурного отрезания и сварки труб и фланцев. Данные механизмы могут применяться для трубопроводов всех диаметров. Роликовые машины (рисунок 9) легко интегрируются в поточные линии.



Рис. 9. Роликовая машина для сварки труб

На верфях Южной Кореи, Японии и США большое распространение получили комплексы с поворотным патроном (рисунок 10).

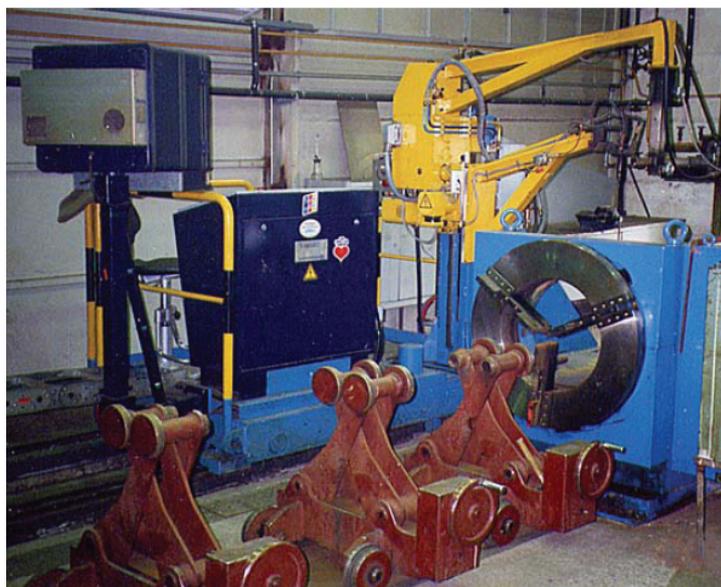


Рис. 10. Комплекс с поворотным патроном для сварки труб

Важной составной частью корпусов судов являются плоские узлы – микропанели. В общем случае - это открытые сварные конструкции, состоящие из плоского листа, к которому приварены в одном или двух направлениях ребра набора. Микропанели составляют основную часть объемных секций и блоков (бортовых и днищевых секций, переборок, цистерн, надстроек). Количество микропанелей в корпусе судов - химовозов составляет более 1000, а на круизных судах - более 10000 единиц.

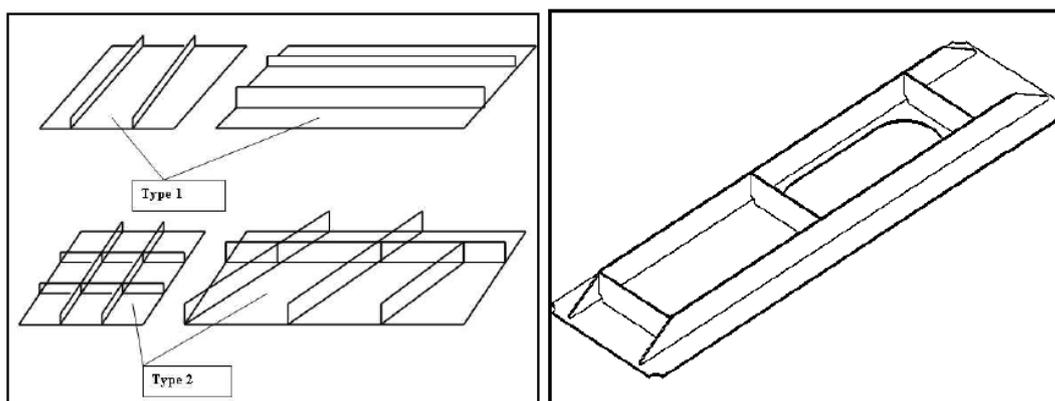


Рис. 11. Различные типы микро-панелей

Для решения задачи высокопроизводительного изготовления микропанелей с минимальными деформациями и гарантированным качеством сварки Центром технологии судостроения и судоремонта совместно с ООО «СМТТ» и IMG GmbH создана линия механизированной сборки и роботизированной сварки с лазерным сканированием и фотограмметрированием.

Линия обеспечивает изготовление микропанелей потактовым методом на двух рабочих позициях при максимальных размерах листа 3.2x12 м. и высоте набора до 0,5м. Позиции сборки и сварки в процессе работы комплекса будет взаимоменяться.

Главная особенность линии микропанелей - применение системы фотограмметрирования с двумя лазерами и камерами, которая обеспечила получение фактических размеров элементов в 3D, что позволяет после автоматической обработки результатов сканирования генерировать управляющую программу перемещения сварочного робота для сварки в нижнем и вертикальном положениях. Камеры с лазерами расположены на каретке сварочного портала и направлены под углом в противоположные стороны по движению портала, что позволяет полностью отсканировать положение набора независимо от его ориентации на листе и по отношению к направлению движения портала, в том числе и таких деталей как тавры, полосульбы, уголкового профиля.

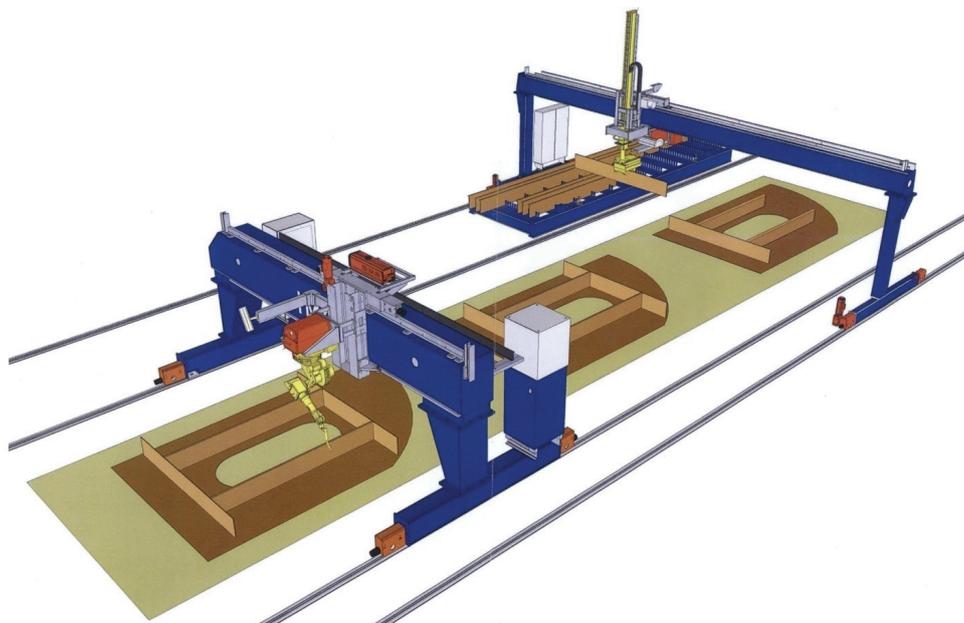


Рис. 12. Линия механизированной сборки и роботизированной сварки микропанелей

Линия включает в себя:

- портал для установки профилей, обеспечивающий установку, обжатие и прихватку деталей.
- сварочный портал с роботом, выполняющим сварку плавящейся проволокой в защитном газе, и системой фотограмметрирования и обработки результатов.
- плиту для сборки и сварки микропанелей
- кассету с профилями.

Порталы перемещаются по напольному рельсовому пути.

На портале для установки профилей расположены:

- каретка, перемещающаяся по балке портала,
- манипулятор с захватным устройством, установленный на каретке,
- электромагнитное устройство для обжатия набора к полотнищу,
- вспомогательная электроталь,
- комплект сварочного оборудования электродуговой полуавтоматической сварки в защитном газе,
- система управления порталом,

ширина портала – 9 м.

На сварочном портале расположены:

- каретка, перемещающаяся по балке портала,
- сварочный робот, система фотограмметрирования с двумя камерами и система вентиляции расположенные на каретке,
- комплект сварочного оборудования с водяным охлаждением горелки,
- система управления,
- количество степеней подвижности робота – 6,
- общее число степеней подвижности – 8,
- ширина портала – 4,4 м.

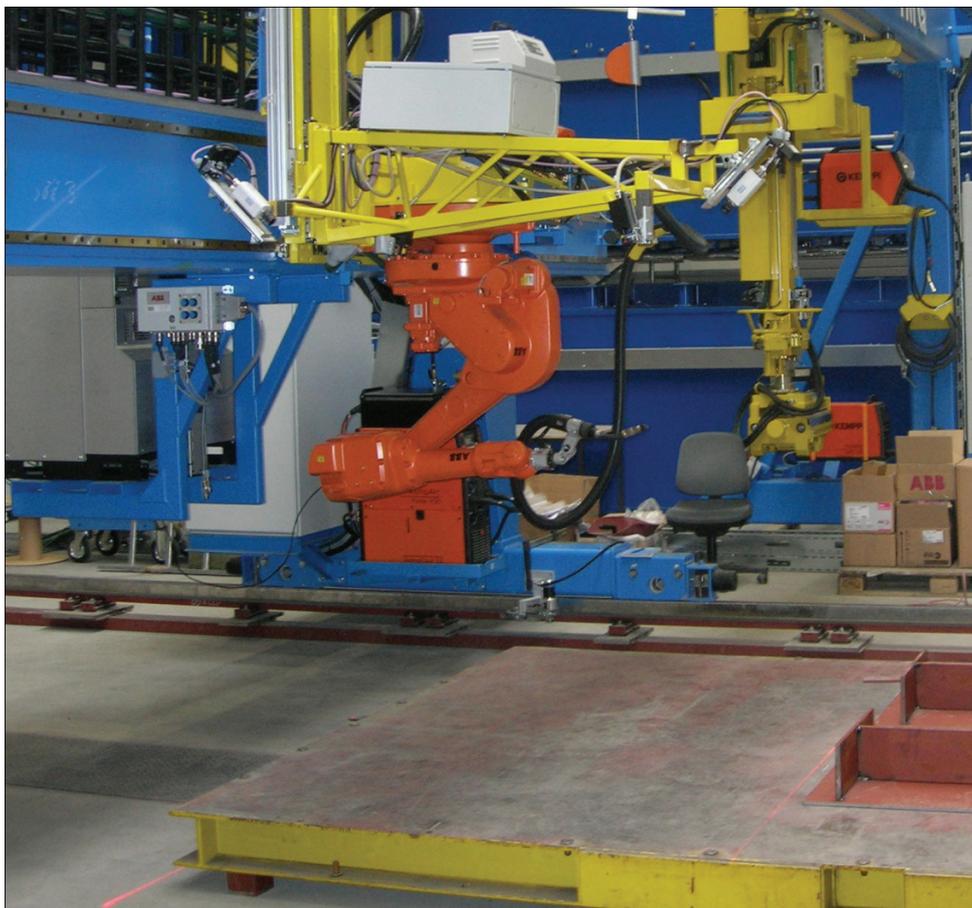


Рис. 13. Сканирование собранных узлов

Система управления обеспечивает работу линии в автоматическом и полуавтоматическом режимах. В системах управления предусмотрены необходимые блокировки и автоматические выключатели, обеспечивающие проведение работ в соответствии с технологическим циклом и безопасность их выполнения.

Процесс изготовления микропанелей (плоских узлов), а именно, таких узлов как флоры, продольные рёбра жёсткости, стрингеры, скуловые кницы, лёгкие несущие переборки надстроек и машинного отделения и аналогичные узлы производится в следующем порядке. С участков резки листы, окантованные в размер, зачищенные и размеченные, подаются на линию. Профили, загруженные в соответствующей последовательности в кассеты с гребнеобразными стойками уже на участке резки, подаются в них на линию. Листы укладываются на плите как можно плотнее друг к другу. В кассете профили скомплектованы по рабочим заданиям и передаются на рабочий стенд. Манипулятор для установки и прихватки, входящий в состав портала для установки и прихватки набора, извлекает профиль из кассеты, расположенной рядом с данной позицией. Манипулятор позиционирует и прижимает профили в любом направлении (вдоль, поперек, под углом). Все передвижения (перемещение портала, манипулятора, подъем и опускание профиля манипулятором) производятся с помощью электроприводов. Для управления предусмотрен джойстик в виде колеса управления и пульт управления на манипуляторе.

Сварочным аппаратом MAG, находящимся на портале производится прихватка вручную.

Для приварки профилей применяется сварочный робот, оснащённый фотограмметрическим сенсором. Камера, установленная на портале робота, производит сканирование микропанелей с прихваченным набором на площади 12 x 3,2 м.

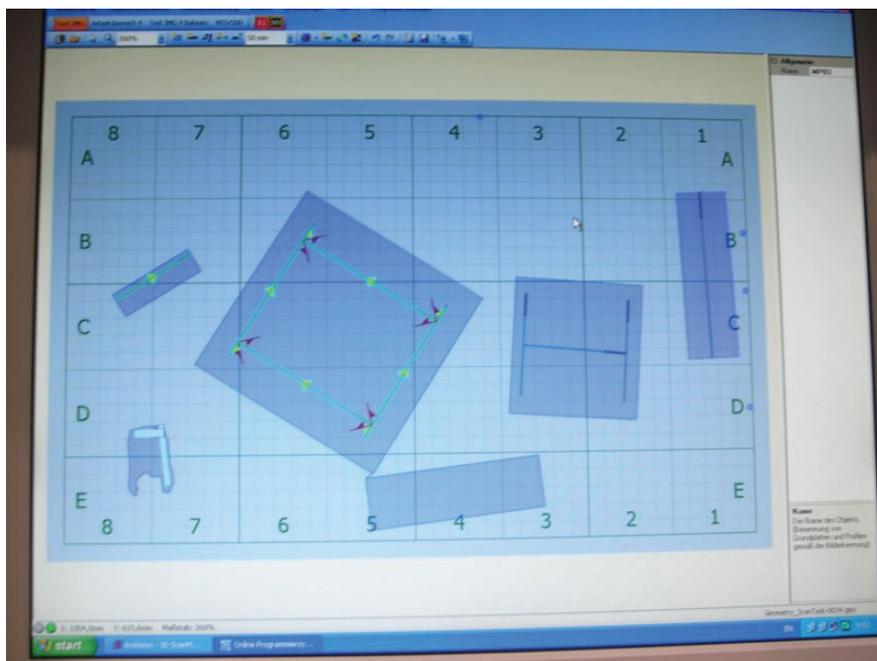


Рис. 14. Контроль результатов сканирования

Основный принцип работы сварочного портала:

- Обход рабочей зоны 12 x 3,2 м, на которой уложены микропанели (листы с прихваченными профилями) и сканирование структуры с помощью системы двойной камеры (продолжительность макс. 10 мин)
- Обработка данных по отсканированной структуре на компьютере, загрузка программ сварки (продолжительность приблизительно 5 мин)
- Оценка оператором результатов с корректировкой при необходимости
- Автоматическая сварка горизонтальных продольных и поперечных швов, в том числе и вертикальных соединений набора между собой на всех отсканированных узлах.

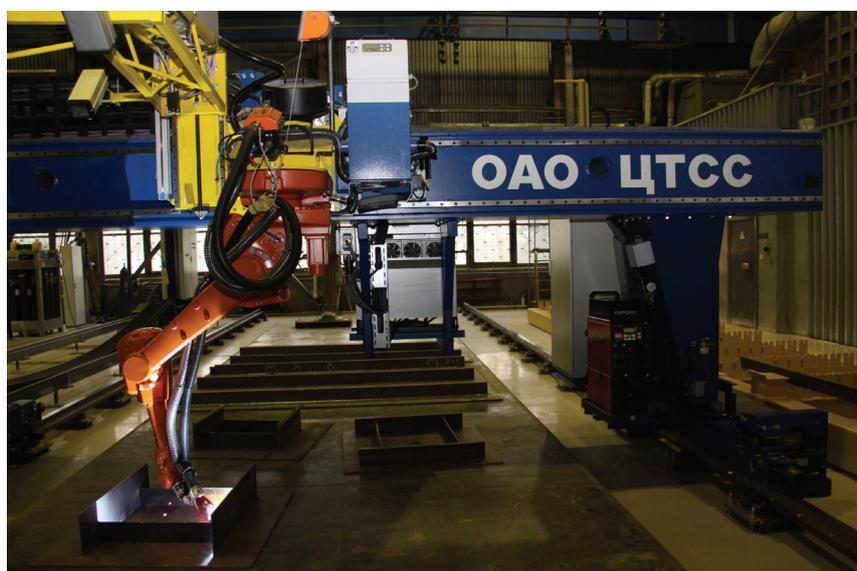


Рис. 15. Выполнение сварки

Во время производства сварки тот же оператор на следующем рабочем месте производит установку профилей.

Линия оборудована ограждением для защиты зоны передвижения робота и защиты от лазерного излучения при сканировании. На воротах устанавливается сигнализация, останавливающая работу при проходе человека в опасную зону.

Вентиляционная система, установленная на сварочном портале, с отсосом, расположенным на сварочной горелке, позволяет фильтровать максимально возможный объем вредных веществ.

Линия установлена на опытной площадке ОАО «ЦТСС» на территории судостроительного завода «Северная верфь».

Подводя итог сказанному, необходимо заметить, что современный этап развития производства в России характеризуется его комплексной автоматизацией. За последние десятилетия автоматизация основных технологических операций достигла такого уровня, что вспомогательные операции, связанные с транспортировкой и складированием, разгрузкой и загрузкой технологического оборудования, выполняемых вручную, либо с помощью существующих средств механизации, являются тормозом, как в повышении производительности труда, так и в дальнейшем совершенствовании технологии. Промышленные роботы являются тем недостающим звеном, появление которого позволяет объединять средства производства предприятия в единый автоматизированный комплекс.

А.К. Филимонов
ПОДВОДНАЯ РОБОТОТЕХНИКА /
A. Filimonov
SUBMARINE ROBOTICS

СПбГМТУ, Санкт-Петербург /
State Marine Technical University, Saint-Petersburg
fmp@smtu.ru

Геополитические изменения, произошедшие в конце XX века в мире привели к стратегическим масштабным изменениям во многих аспектах жизни человечества. Глобализация, формирующая единое общемировое экономико-информационное пространство приобрела статус доминанты мирового развития. Явно прогрессирует борьба за ресурсы, растет угроза нового этапа борьбы за передел сфер влияния, усиливается угроза безопасности и экологии. Все это предопределяет актуальность развития современных перспективных средств исследований Мирового океана и его защиты в национальных и общемировых масштабах. Кардинальному пересмотру подверглись все доктрины, в том числе и морские, ведущих государств мира. Смена доктрин привела к тому, что на первый план развития технических средств вышла стратегия роботизации как в гражданской, так и в военной сферах. В результате смены морских доктрин ключевым техническим элементом подводной робототехники в настоящее время признаны мобильные подводные роботы (МПР) [1, 3, 8, 10-13]. МПР рассматриваются как часть подводных робототехнических средств (ПРТС) и компонент всесредной (море, суша, атмосфера, ближний космос) сетецентрической системы робототизированных средств (рис.1) [2].

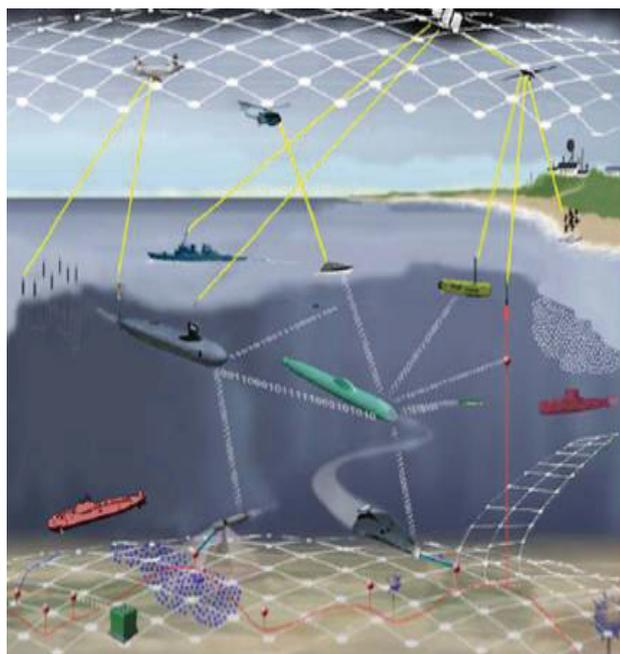


Рис.1. Сетецентрическое пространство системы робототизированных средств

МПР представляют собой самоходные автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА), способные к автономной работе в море с целью самостоятельного выполнения различных миссий [1, 4, 10-13].

Огромная протяженность морской Российской границы, её большой арктический сектор, отсутствие там инфраструктуры, высокий энергетический потенциал морского и арктического шельфа – все эти факторы определяют МПР как эффективное средство решения многих энергетических и Военно-морских задач. На рис.2 представлена перспективная масштабная карта освоения месторождения континентального шельфа РФ до 2030 г. На рис.2 так же представлены прогнозные оценки по добыче нефти и газа с месторождений шельфа РФ.

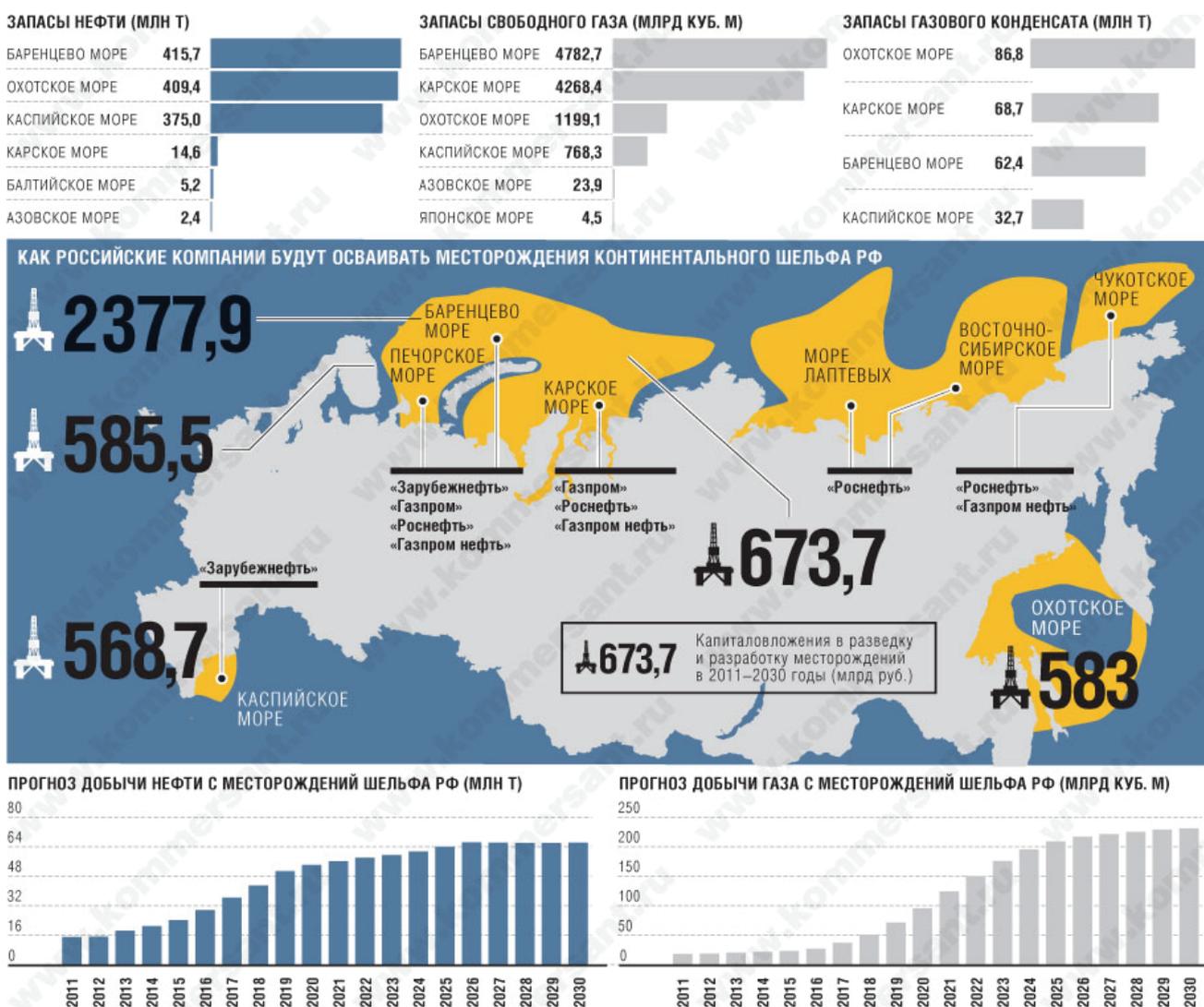


Рис.2. Карта освоения месторождений шельфа РФ

В связи с неизбежным истощением земных недр (по прогнозам, к 2011г. Россия достигнет 100%-ного уровня использования разведанных на суше месторождений) продолжается обострение борьбы за ресурсы, что делает вероятными объектами агрессии практически все прибрежные государства. Уже в ближайшее время 200-мильные экономические зоны станут предметом захвата наиболее сильных морских держав Мира. Рассматриваются возможные варианты раздела акватории Северного Ледовитого океана. На рис.3 представлена схема (по данным ГУ навигации и океанографии Минобороны РФ) возможного раздела арктического шельфа. Пунктиром показаны границы морского шельфа, на которую претендует Россия (1,2 млн. кв. км). Имеющийся, более чем, тридцатилетний мировой опыт использования АНПА для работы в ледовой обстановке, показал их уникальные возможности. Возрастающий интерес к освоению арктического шельфа, экономическая и научная целесообразность определяют необходимость для РФ иметь подводные аппараты ледового класса [1,9].

Освоение морского шельфа для России – стратегическая важная задача, это главный резерв развития нефтегазового комплекса России в XXI веке.

Решающие аргументы в пользу применения МПР в сфере исследований Мирового океана, в том числе и континентального шельфа РФ это во-первых, мобильность МПР, определяющая возможность обслуживания зон больших площадей, во – вторых, минимальная степень участия человека – в силу высокого риска человека во многих экстремальных подводных операциях.

Основными аналогами МПР являются привязные телеуправляемые подводные аппараты, торпедное оружие, обитаемые подводные аппараты, беспилотные летательные аппараты, гидробионты.

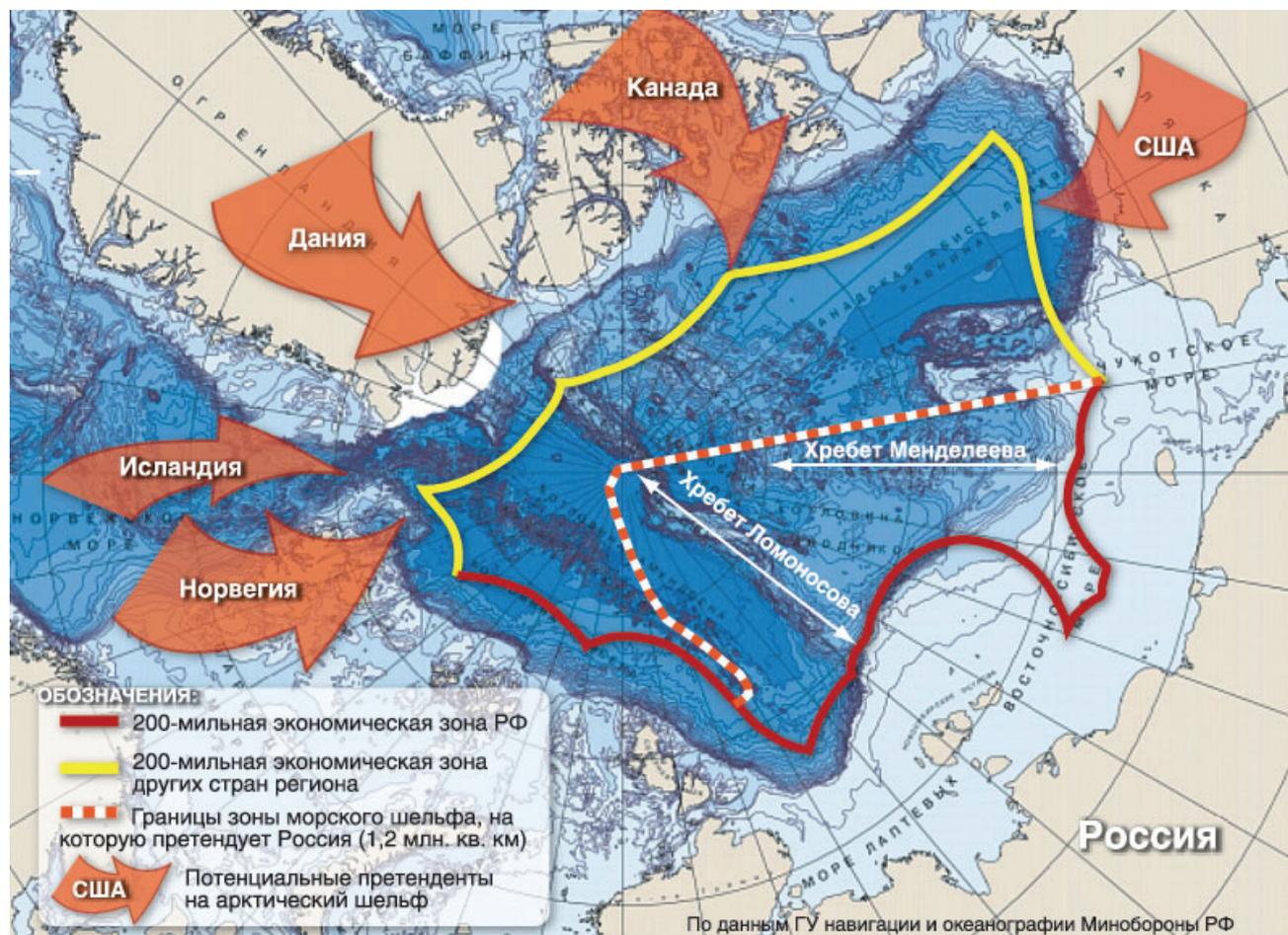


Рис.3. Варианты раздела акватории Северного Ледовитого океана

Основные актуальные факторы, влияющие на создание и развитие МПР [1,3-13]:

- задачи океанографии и гидрофизики (морской картографии, томографии верхнего слоя морского дна, исследования водных экосистем, мониторинга морской среды, параметров верхнего слоя океана и нижнего слоя атмосферы, поверхностных, среднеглубинных и глубоководных течений, температуры, плотности, солёности, скорости распространения звука, наличия и состава фито и зоопланктона и т.д.);
- проблемы морской геологоразведки (поиск полезных ископаемых, разведка местности для строительства морских буровых установок, укладки подводных нефтепроводов и газопроводов и их инспектирование и т.д.);
- задачи вооруженной борьбы на море (минные, противоминные, противолодочные разведки, освещение подводной обстановки, слежения, охраны, доставки специальных грузов, связи и навигация в сетевых узлах и т.д.);
- проблема освещения обстановки в Арктике;
- проблемы экологии;
- задачи поиска и спасения пострадавших на море, ликвидации последствий техногенных катастроф и аварий, охраны подводных сооружений, акваторий портов, гаваней от несанкционированного проникновения;
- задачи индустрии подводного туризма, спорта и дайвинга.

Бурный рост интереса к МПР определяется следующими их свойствами [1, 3-13]:

- автономность (энергетическая и информационная);
- минимальное «связывающее» воздействие на носитель;
- Скрытность в силу низкого уровня собственных физических полей;
- способность к интеллектуальному поведению, т.е. к самостоятельной интерпретации сенсорной информации и принятию адекватных решений в непредсказуемой обстановке;
- возможность осуществления координированных групповых действий;
- возможность сбора и хранения больших информационных массивов;
- способность обнаруживать препятствия и уклоняться от столкновения с ними;
- возможность эффективного функционирования подо льдом и на мелководье;
- модульность и простота реконфигурации под различные миссии;
- возможность надежного автоконтроля и самодиагностики;
- способность к активному взаимодействию с другими средствами информационного освещения обстановки на море, на суше, в атмосфере и в космосе в интересах сетецентрических операций и т.д.

Весь этот комплекс важнейших свойств позволяет рассчитывать на активное использование МПР при решении широкого круга научных, коммерческих и военных задач.

Распределение МПР по областям применения в зарубежных фирмах на 2011 г. представлено на рис. 4 [13]

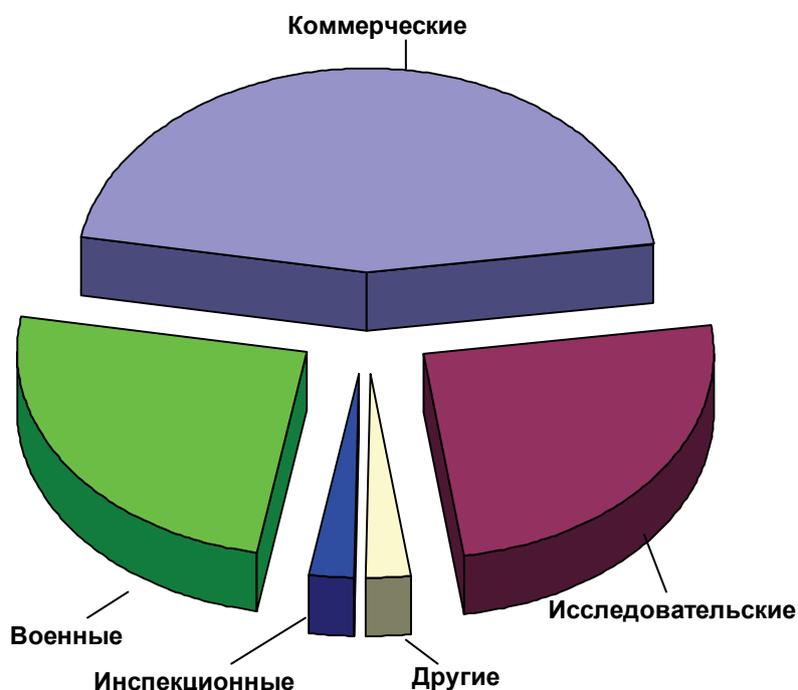


Рис.4. Распределение МПР по областям применения на 2011 г.

Общеизвестна огромная номенклатура МПР, созданных за рубежом [1-9, 11-13].

МПР существенно различаются по своим массогабаритам, глубинам погружения и целевому назначению.

Морфология МПР также чрезвычайно многообразна, даже если рассмотреть всего три морфологических признака [13]:

- Среда функционирования: поверхностные, приповерхностные, мелководные, глубоководные, донные;
- Способ управления: телеуправление по ВОЛС, телеуправление по ГА- каналу, супервизорное управление по макрокомандам, автономное контекстное управление;
- тип энергосистемы: электрические ЭСУ с ХИТ, тепловые аэробные ЭСУ, тепловые анаэробные ЭСУ, гравистатические, солнечные батареи, использование градиента температур термоклина, радиоизотопные.

Основные тактико-технические характеристики МПР подробно рассмотрены в монографиях, учебных пособиях и многочисленных публикациях, в том числе ведущими профессорами СПб ГМТУ в области подводной робототехники [1-13].

МПР это классический пример двойных технологий. Современные западные МПР имеют разнообразную конфигурацию, в том числе и торпедообразную рис.5.

Соответствие между торпедами и МПР показано на рис. 6 на примере шведской торпеды ТП2000 концерна SAAB. Внешне МПР ничем не отличаются от торпед.



Рис.5. Торпедообразные МПР

Изделие ТР-2000 (Швеция)



МПР АУВ62 (Швеция)



Рис.6. Мобильные подводные роботы

Модульные конструкции отсеков МПР показаны на рис. 7. На рис.7 набор приведен малогабаритный исландский МПР Gavia (калибр 120 мм, макс. длина 2,6 м). Как видно, модульные конструкции позволяют создать 3 вида МПР различного назначения только за счет реконфигурации модулей.



Рис. 7. Модульная конструкция МПР

В настоящее время в России признанным лидером в создании МПР является Институт проблем морских технологий (ИПМТ) ДВО РАН (г. Владивосток). Основное направление разработок ИПМТ - это создание тяжелых глубоководных (до 6000 м) МПР рис.8.



Рис. 8. Российско-китайский автономный НПА «CR-02»

Главными проблемами в разработках перспективных МПР были и остаются следующие [1, 3-13]:

- энергетическая автономность;
- энергосиловые установки и вспомогательные системы;
- системы управления и навигации;
- подводная связь, средства радиосвязи, радиоразведка и радиолокация;
- элементная база для построения ключевых систем МПР и обеспечивающей подводной инфраструктуры;
- гидроакустические средства МПР;
- неакустические средства обнаружения;
- специальные материалы и покрытия;
- технологии базирования МПР;
- системы сервисного обслуживания и испытательные полигоны для МПР;
- системы подготовки специалистов и тренажерной базы.

Очевидно, что в сложившихся условиях, единственно возможным способом прорыва для создания перспективных отечественных МПР является научный, а не технико-производственный, то есть необходимо опережение в идеях и технических решениях. Такой прорыв может быть реализован только при наличии высококвалифицированных научно-технических кадров и обеспечении условий для их работы.

В настоящее время проблема кадров в России приобретает «фундаментальный» характер, так как это не только проблема подготовки специалистов, а это и проблема кадров для судостроения, оборонно-промышленного комплекса, заказчика, так и для высшей школы. Решение этой проблемы возможно только на верхнем уровне власти.

Для создания отечественных МПР, прежде всего необходимо преодолеть традиционные межведомственные рамки, мешающие объединению усилий и не позволяющие существенно сократить затраты на разработки и производство модульных МПР.

Важнейшее место среди этих проблем в сфере нашей компетенции и ответственности мы видим в организации адекватной системы подготовки высококвалифицированных кадров по проектированию, производству и эксплуатации подводных робототехнических систем.

Для создания конкурентно способной подводной робототехники необходимо прежде всего сохранить эффективные существующие технологии и интенсивно развивать перспективные, создать результативную производственную базу, а также создать адекватную систему подготовки кадров, базирующуюся на реальной интеграции науки, производства и высшей школы.

Литература

1. Автономные подводные роботы. Системы и технологии/ Под. общ. ред. М.Д. Агеева. М.: Наука. 2005.

2. Mars S. Stewart, John Pavlos. A Means to Networked Persistent Undersea Surveillance (U). General Dynamics Electric Boat, University of Washington. 2006.
3. Г.Ю. Илларионов, К.С. Сиденко, В.В. Сидоренков. Подводные роботы в минной войне. Калининград: ОАО «Янтарный сказ». 2008
4. Необитаемые подводные аппараты военного назначения/ Под. ред. М.Д. Агеева. Владивосток: Дальнаука. 2005.
5. Гизитдинова М.Р. Планерные автономные необитаемые аппараты ВМС зарубежных стран. Современное состояние и перспективы развития// Морской сборник. 2005. №7. С.59-65.
6. Кузьмицкий М.А., Гизитдинова М.Р., Боженков Ю.А. Перспективы и проблемы создания многоцелевых модульных подводных роботов// Доклад на выездном заседании Совета по гидрофизике СПбНЦ РАН. Тр. ФМП СПбГМТУ. СПб: ЦНИИ «Гидроприбор». 2005
7. Гизитдинова М.Р. Самоходные автономные необитаемые подводные аппараты – прорыв в подводных технологиях// Морская радиоэлектроника. 2005. №4(14)
8. Сиденко К.С., Илларионов Г.Ю. Автономные подводные роботы в войнах будущего// Арсенал. Военно – промышленное обозрение. 2008. №2 С.86-93.
9. Боженков Ю.А. Использование автономных необитаемых подводных аппаратов для исследования Арктики и Антарктики. Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2011, том4 №3.
10. Буриличев А.А., Илларионов Г.Ю., Прошкин С.Г. О научно – технологическом обеспечении проблемы создания сбалансированного флота боевых подводных роботов// Арсенал. Военно-промышленное обозрение. 2010. №2
11. Гизитдинова М.Р., Кузьмицкий М.А. Использование мобильных подводных роботов в решении современных проблем в мировом океане// Сборник научных трудов «Фундаментальная и прикладная гидрофизика». 2009. №4(6)
12. Гизитдинова М.Р., Кузьмицкий М.А. Мобильные подводные роботы в современной океанографии и гидрофизике// Сборник научных трудов «Фундаментальная и прикладная гидрофизика». 2010. №1(7)
13. Кузьмицкий А.М., Гизитдинова М.Р. Мобильные подводные роботы в решении задач ВМФ. Современные технологии и перспективы. Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2011, том 4 №3.

А.Н. Звягинцев

**ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ ПОДВОДНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ ВМФ, ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ
МОРСКИХ СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ /**

A. Zvyagintsev

**APPLICATION OF NAVY UNDERWATER ROBOTIC MEANS WHEN FULFILLING SEA GOING
RESCUE OPERATIONS**

40 ГНИИ МО РФ, г. Ломоносов /

40th State Research Institute

Ministry of Defense of the Russian Federation, Lomonosov

deep-sea@list.ru

Развитие находящихся на вооружении ВМФ средств подводной робототехники при выполнении поиска, обследования и подъема затонувших объектов происходит по мере прогресса в области выполнения морских спасательных операций и в соответствии с поставленными перед ВМФ задачами.

В последние годы в мире происходит настоящая техническая революция в области выполнения глубоководных работ, связанная с бурным развитием робототехники. Для более успешного и качественного проведения спасательных операций с применением средств робототехники необходимо наличие судов с системой динамического позиционирования, способных удерживаться над местом работ без использования якорей и рейдового оборудования.

В настоящее время для проведения поиска, обследования и подъема затонувших объектов применяются как обитаемые, так и необитаемые телеуправляемые подводные аппараты. Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты подразделяются на:

- ТНПА обзорного типа (допоиск и обследование аварийных (затонувших) объектов, поддержка работы водолазов);
- ТНПА обзорного типа с возможностью подключения дополнительного оборудования;

- Рабочие ТНПА (аварийно-спасательные и подводно-технические работы).

На вооружении ВМФ РФ состоят следующие ТНПА:

1. Рабочий телеуправляемый подводный аппарат «Веном» (Рис.1).



Рис.1. РТПА «Веном»

РТПА «Веном» предназначен для:

- выполнения допоиска подводных объектов в ограниченном районе;
- обследования контактов, полученных поисковыми силами флота при поиске затонувших и аварийных, лежащих на грунте, объектов;
- опознания и обследования подводных объектов;
- выполнения подводно-технических работ (ПТР) в объеме возможностей манипуляторного устройства;
- для доставки на грунт (подъем на поверхность воды) грузов массой до 250 кг;
- документирования видео и гидроакустической информации.

2. Телеуправляемый необитаемый подводный аппарат «Тайгер» (Рис.2).



Рис.2. ТНПА «Тайгер»

ТНПА «Тайгер» предназначен для:

- выполнения допоиска подводных объектов в ограниченном районе;
- обследования контактов, полученных поисковыми силами флота при поиске затонувших и аварийных, лежащих на грунте, объектов;
- выполнения подводно-технических работ (ПТР) в объеме возможностей манипуляторного устройства;

для доставки на грунт (подъем на поверхность воды) грузов массой до 25 кг;
документирования видео и гидроакустической информации.

3. Телеуправляемый необитаемый подводный аппарат «Фалкон» (Рис.3).



Рис.3. ТНПА «Фалкон»

ТНПА «Фалкон» предназначен для:

- обнаружение подводных объектов с помощью гидролокатора кругового обзора;
- выполнения осмотровых, обследовательских подводных работ;
- передачу цветного или черно-белого видеоизображения на судно-носитель, с регистрацией его на видеомagneтофон.

4. Телеуправляемый необитаемый подводный аппарат «Обзор-150» (Рис.4).



Рис.4. ТНПА «Обзор -150»

ТНПА «Обзор -150» предназначен:

- обнаружение подводных объектов с помощью гидролокатора кругового обзора;
- для выполнения осмотровых, обследовательских подводных работ;
- передачу цветного или черно-белого видеоизображения на судно-носитель, с регистрацией его на видеомagneтофон.

5. Поисково-обследовательский комплекс «Кальмар».

Комплекс предназначен для:

- проведения гидролокационного поиска аварийных и затонувших объектов на глубинах до 600 метров по заданной схеме маневрирования;
- определения абсолютных и относительных координат обнаруженных целей с отображением их на электронном планшете поиска;
- обеспечения высокоточного маневрирования сил поиска в соответствии с заданной схемой поиска и привязкой к глобальной системе позиционирования GPS;
- осуществления безопасного взаимного позиционирования телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов и обитаемых глубоководных аппаратов с отображением их местоположения и трассы движения на электронном планшете или карте;
- допояска и визуального обследования подводных объектов с передачей цветного и черно-белого видеоизображения на судно-носитель и регистрацией его на видеомagneтофон и жесткие носители информации;
- обозначения обнаруженных и обследованных подводных объектов гидроакустическими маяками-ответчиками для последующего проведения подводно-технических работ.

6. Мобильный авиатранспортабельный комплекс для оказания помощи аварийной подводной лодке, лежащей на грунте, на базе рабочего телеуправляемого необитаемого подводного аппарата «Пантера Плюс» (Рис.5).

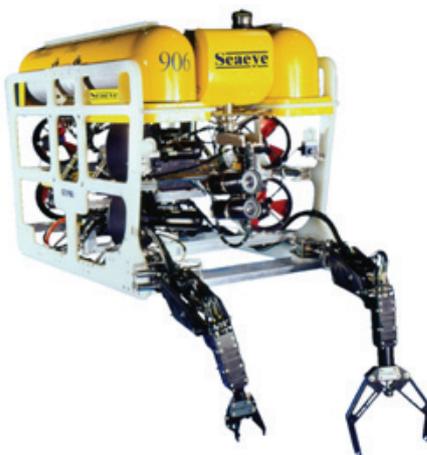


Рис.5. РТПА «Пантера Плюс»

Рабочий телеуправляемый необитаемый подводный аппарат предназначен для проведения допоска и обследования аварийных и затонувших объектов, выполнения широкого спектра подводно-технических работ, как самостоятельно, так и совместно с водолазами и (или) обитаемыми подводными аппаратами на глубинах до 1000 м.

В период подготовки к проведению межведомственных испытаний комплекта устройств и механизмов подъема и транспортировки грузов (МВИ КУМПТГ) нового судна пр. 20180 «Звездочка» в 2010 году специалистами 40 ГНИИ МО РФ был приобретен опыт подъема малогабаритных затонувших объектов в морских условиях. Для поиска этих объектов был использован автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА) «Гавия», способный с минимальными затратами времени обследовать обширные районы дна акватории с помощью многолучевого эхолота, найти и идентифицировать затонувшие малогабаритные объекты.

АНПА «Гавия» построен в Исландии на предприятии «Хафмюнд», специализирующемся на изготовлении малогабаритных многоцелевых автономных аппаратов.

АНПА «Гавия» состоит из нескольких отдельных цилиндрических модулей (рис. 6), которые собраны и соединены вместе с использованием уникального соединения Quick Lock, образуя единый прочный корпус. Модули соединены с помощью стандартных круглых военных разъемов. Каждый модуль представляет собой самостоятельное устройство, с которым можно работать вне аппарата, заряжать и получать доступ к данным и диагностике. Внешний доступ к внутренней сети аппарата предоставляется по беспроводной локальной сети (WLAN), по спутниковому телефону «Иридиум» и по акустическому (через воду) каналу. В дополнение имеется прямое соединение через сетевой кабель устройства Ethernet для быстрой выгрузки данных по окончании работы аппарата под водой по заданной программе (миссии) со скоростью 100 Мбит/с.



Рис.6. Общий вид АНПА «Гавия»

Спуск АНПА «Гавия» производится с маломерного плавсредства вручную. Достаточно опустить АНПА в воду и направить его в сторону от борта. Далее он сам погружается по глиссанде и выходит в точку начала выполнения миссии. Испытания показали, что при работе с высокооборотного судна спуск АНПА может производиться с использованием рабочей шлюпки, которую достаточно спустить на воду с обслуживающим персоналом на борту без отсоединения от спускоподъемного устройства. Судно при этом находится в дрейфе или, что предпочтительно, стоит в режиме динамического позиционирования, прикрывая рабочую шлюпку своим бортом от волнения. По

окончании миссии АНПА «Гавия» всплывает точно в заданной точке. Во избежание всплытия аппарата под корпус судна-носителя точку окончания миссии выбирают на расстоянии около 10 кбт.

Обнаружение всплывшего АНПА осуществляется благодаря работе установленных на нем мощных проблесковых огней красного, синего и белого цвета. Кроме того, АНПА сообщает на судно-носитель свои координаты по беспроводной связи.

Работы, выполненные с помощью ТНПА:

– с помощью АНПА «Гавия» проводились работы по поиску донной мины – изделия МТПК-1УТ, донного маяка-ответчика (прибор 15К) с глубины 220 м и потерянный вследствие обрыва якорной цепи судовой якорь судна пр. 20180 с глубины 57 м. в Мотовском заливе Баренцева моря. АНПА располагался на судне-носителе сбс «Звездочка».

– при обследовании и подъеме дизель-электрохода «Булгария» в июле 2011 года применялся ТНПА «Фалкон»

– обследование и уничтожение элементов 1 отсека К-141(июль 2002 г., ТНПА «Тайгер» СФ).

– допоиск вертолета Ка-27ПС, Японское море и подъем тел членов экипажа (март 2003 г., ТНПА «Тайгер» ТОФ).

– допоиск и обследование пл К-159 (август 2003 г., ТНПА «Тайгер» СФ).

– участие в международном учении по оказанию помощи и спасанию экипажа аварийной пл «Сорбет Роял-2005» (июнь 2005 г., ТНПА «Тайгер» ЧФ).

– оказание помощи и спасание экипажа СГА АС-28 (август 2005 г., ТНПА «Тайгер», РТПА «Веном» ОКВС и РТПА «Скорпио-45» ВМС Великобритании)

– поисковые работы по поиску бортовых самописцев самолёта А-320 Армянских авиалиний (май 2006 г., ПОК «Кальмар»)

– участие в показательных учениях Северного, Черноморского и Балтийского флотов по оказанию помощи экипажу аварийной подводной лодки (июнь 2005 г., ТНПА «Тайгер», РТПА «Веном» СФ, ТНПА «Тайгер» ЧФ, РТПА «Пантера Плюс» 328 ЭАСО, ТНПА «Тайгер» БФ).

– участие в международном учении по спасанию экипажей аварийных подводных лодок «Болд Монарх-2008» (июнь 2008 г., РТПА «Веном», ТНПА «Тайгер» СФ).

– поисковые работы в Татарском проливе на Тихоокеанском флоте в 2009 году.

Вывод:

В настоящее время средства подводной робототехники находят все большее применение при выполнении морских спасательных операций. Особенно актуально использование телеуправляемых и автономных необитаемых подводных аппаратов при выполнении работ по допоиску, обследованию и обеспечению подъема затонувших объектов. Подразделения ВМФ обладают современными средствами подводной робототехники, которые позволяют в полном объеме выполнять поставленные задачи в области поисково-спасательного обеспечения.

В.В. Зеленцов, С.В. Медвецкий, П.В. Космачев, В.А. Коваленко, В.Б. Кудряшов,

П.В. Лаптев, В.В. Лукьянчиков

СОВРЕМЕННЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ /

V. Zelentsov, S Medvetcky, P. Kosmachev, V. Kovalenko, V. Kudryashov, P. Laptev, V. Lukyanchikov

MODERN ROBOTIC COMPLEXES OF SPECIAL APPLICATION

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва /

Bauman State Technical University, Moscow

mail@mail.robotmobot.ru

Специальные робототехнические комплексы предназначены для проведения работ в местах, где присутствие человека не желательно, либо опасно для жизни. Кроме того, все большее значение приобретают боевые робототехнические комплексы.

В НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана при техническом сопровождении научно-исследовательских подразделений ФСБ России разработаны и изготовлены многофункциональные мобильные робототехнические комплексы, которые образуют ряд роботов сверхлегкого и легкого классов: МРК "Вездеход ТМ3", МРК "Вездеход ТМ5", МРК "Варан", МРК "Витязь", МРК "Кобра РК", МРК "Кобра АК", МРК "Гном" и МРК "Мангуст". МРК "Вездеход ТМ3", МРК "Вездеход ТМ5" разработаны совместно с ОАО "КЭМЗ", где и освоено их серийное производство.

Типовой ряд охватывает мобильные роботы, имеющие массу от 6 до 200 кг. Роботы могут работать как в режиме дистанционного управления, так и имеют элементы автономного управления. Роботы выполнены на электромеханических приводах с питанием от аккумуляторных батарей.

К настоящему времени в НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана разработаны новые виды МРК предназначенные для серийного выпуска. Это, прежде всего МРК второго поколения легкого класса «Вебрь» и МРК сверхлегкого класса «Варяг».

Второе поколение взрыво-технических робототехнических комплексов отличает высокая проходимость, большая зона обслуживания манипулятора, полностью цифровая распределенная система управления на основе бортовой сети CAN, мехатронный принцип построения на основе функционально законченных узлов и модулей.

Шасси МРК «Вебрь» выполнено на основе колесно-шагающих модулей, включающих в себя следящие силовые электромеханические привода с векторным управлением на основе 3-х фазных безколлекторных двигателей постоянного тока с постоянными магнитами, и механизмы управляющие типом движения.

Использование такого шасси позволяет преодолевать МРК не только стандартные препятствия, но и двигаться по лестничным маршам, льду и рыхлому снегу.

Манипуляторы новых МРК построены на базе следящих электромеханических приводов, и имеют режимы совместного управления несколькими степенями и автоматического или полуавтоматического складывания.

Все следящие приводы МРК «Вебрь» разработаны на современной микроконтроллерной основе, имеют интерфейс CAN и построены на основе подчиненного управления (включая токовый контур), что позволяет в реальном времени получать информацию о величине тока в двигателе, скорости вращения и положении выходного звена.

Робототехнические комплексы, разработанные в НИИСМ, по своему составу являются полнофункциональными изделиями, включающими в себя дистанционно–управляемый робот, основной и оперативно–технологический пульта управления, антенный пост, необходимые комплекты ЗИП и сменного оборудования, чехлы и контейнеры.

Кроме того, за последнее время были разработаны МРК для проведения анти-террористических операций. К ним относятся мобильные роботы "Кобра АК" и "Кобра АК-М".

В докладе приводятся основные технические решения, использованные при создании робототехнических комплексов и основные технические характеристики роботов. Особое внимание уделяется последним разработкам МРК "Варяг" и МРК "Вебрь". Рассматривается также концепция построения и технические параметры учебного тренажера-симулятора "Версия 2" предназначенного для изучения МРК "Вездеход ТМ3", "Вездеход-ТМ5", "Варан" и "Варяг".

Yvan Baudoin, Geert De Cubber, Eric Colon, Daniela Doroftei, Sid Ahmed Berrabah
ROBOTICS ASSISTANCE BY RISKY INTERVENTIONS: NEEDS AND REALISTIC SOLUTIONS/
Иван Бодуан, Гирт Де Куббер, Эрик Колон, Даниэла Дорофтеи, Сид Ахмед Беррабах
РОБОТОТЕХНИКА ПОМОГАЕТ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОПАСНЫХ ОПЕРАЦИЙ: ЗАДАЧИ И РЕАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ

*Royal Military Academy, Brussel, Belgium/
Королевская военная академия, Брюссель, Бельгия
yvan.baudoin@skynet.be*

1. Introduction

According to the International Advanced Robotics Program (IARP– www.iarp-robotics.org), the Advanced Robots, while somewhat difficult to define precisely, have one or more of the following characteristics: to be able to sense and adapt to their environment , to be mobile , to operate in harsh, demanding or dangerous conditions or environments, to operate in non-manufacturing applications such as space, underwater, nuclear, tunnels, agriculture, medical and healthcare, civil engineering and construction, intelligent manufacturing, fire fighting and emergency rescue operations, services, domestic applications and personal robotics.

Navigating intelligently in an unstructured unknown environment while accomplishing useful tasks is not a trivial problem and many aspects have not been completely solved by the scientific community. A complex mission cannot be simply solved by assembling disparate components and hoping that they will seamlessly cooperate to achieve the mission.

Two risky applications have been considered in the Robotics activities of the RMA: the Fire-fighting operations when dangerous products may affect the safe work of fire-fighters, through the participation to a European project called ‘View-Finder’ (<https://www.view-finder-project.eu>), the CBRN-E threats (including the de-mining operations on fields where AP-mines or sub-munitions have been laid or buried).

2. Objectives and requirements

2.1. CBRN-E

The scenario of a terror attack using mass destruction and non conventional warheads is today a major concern of Europe. A device including CBRN-E (Chemical, Biological, Radiological, Nuclear agents and Explosives) agents may be found before its activation. It is widely accepted that such a scenario will be possible in the near future. In such a scenario it may happen that the device is not yet activated and Special Forces are required to give an immediate response. Most of these devices will contain only explosive warheads, but some chemical projectiles, which were left during and after WWI are still around in Middle Europe countries. The current technology of neutralization of munitions is based on remote manual operation, which is a very demanding and dangerous activity, since the human operator is assumed to remember technical details of thousands of possible treats. The innovative technologies should thus include a computer based device localization and identification, the development of an intelligent Command, Communication and Control station, where new sensors and human supervised autonomous control enables a distant intelligent robot to perform its task with maximum available knowledge; precise manipulation and world wide technical support in order to maximize the probabilities to successfully complete the task to neutralize a terrifying device. Some described activities are realized with the volunteered support of the Belgian relevant expert units (DOVO and DLD).

The next figure illustrates the missions devoted to the DOVO (Defense Unit for EOD Explosive ordnance disposal, IEDD, Improvised explosive device detection), including humanitarian de-mining operations, over the world:



2.2. Fire-fighting

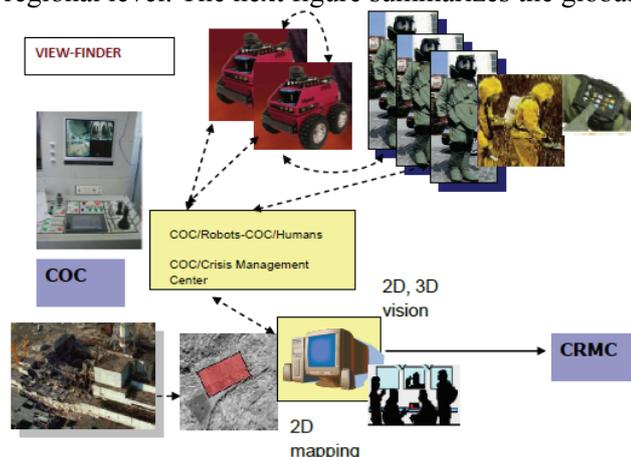
The objective of the ‘View-Finder’ project is to develop and use advanced robotics systems, equipped with a wide array of sensors and cameras, to explore a crisis ground in order to understand and reconstruct the investigated scene and thus to improve the decision making. To reach its goals, the project should define and develop an open, flexible and generic information tool which will allow the decision makers and the emergency workers in the field to take the right decisions in an efficient and effective way.

The entire View-Finder system should be a complete semi-autonomous organism, composed of two on place high level conceptual entities communicating with each other: the robots and the Control Operation Centre (COC).

The key appliances of the system are the robots which are designed to navigate on an individual or cooperative but semi-autonomously base within a crisis area. The purpose is to gather chemical and visual data of a zone which might be inaccessible for men. The COC is the local operations centre, located nearby the emergency ground, and can be considered as a decentralized command post of the permanent crisis centre. It is staffed with crisis managers and technicians and combines : (1) a Base Station (BS) The BS is the main control station from which operators, which are specialists in robot control, manage the robots by giving them high-level instructions. By doing this, they monitor the intervention of the robots. This means that they can renew task assignments or detail tasks of an individual robot.

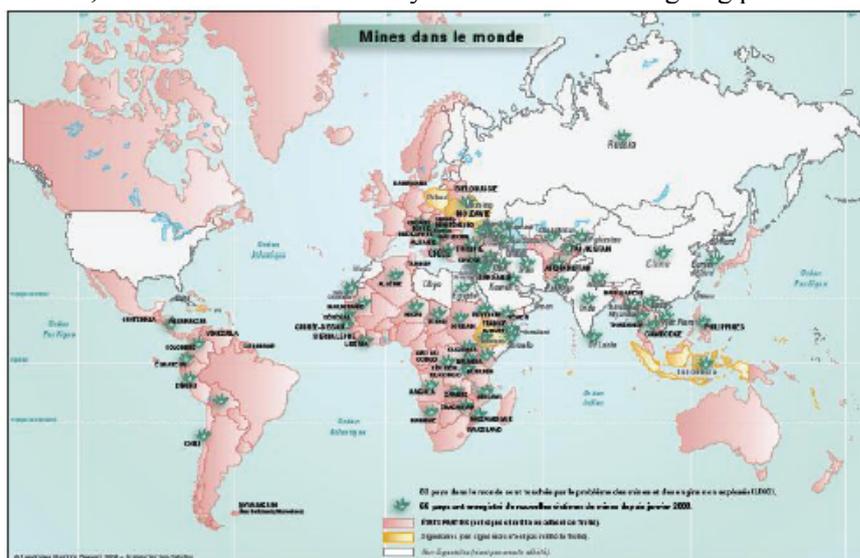
Besides the monitoring duty, the operators will also be trained to interpret the raw data gathered from the sensors, which they will send to the COC; (2) a Crisis Management Information System (CMIS) The

CMIS is the nerve centre of the COC. It is a local access point of information to the crisis coordination services in the COC, enabling real-time coordination of the View-Finder robot data with higher level information and 3 crisis coordination decisions, coming from the Permanent Coordination Centre, which can be found on a national or either regional level. The next figure summarizes the global system:



2.3. Humanitarian De-mining

The mines have been used for the first time during the American Civil War in the United States (1861-1865). Antitank (ATK) mines were later ameliorated and laid on the battlefields of the First World War: the mine-clearing operations didn't pose major problems with those visible or easy-to-detect ATK-mines, reason why Anti-personal mines have been conceived and systematically used on the ATK minefields during the Second World War: such mines prevented the enemy from easy de-mining of the defence system. But the Anti-personal mines are today more and more used as offensive weapons and for sowing the terror among the civilian population of a country affected by guerrilla war: the marking of the minefield does no more exist and the Anti-personal mines, often buried in the ground, remain active after the war: about 60 millions AP-mines infest today 70 countries all over the world, two-third of them in Africa and South-East Asia... AP mines of the Second World War still exist in all the countries of Europe... 45 countries are today assisted by the above mentioned European Assistance, namely Afghanistan, Albania, Angola, Armenia, Azerbaijan, Belarus, Burundi, Cambodia, Chile, Colombia, Croatia, Cyprus, DRC, Ecuador, Eritrea, Ethiopia, Georgia, Guinea-Bissau, Honduras, Indonesia, Iraq, Jordan, Kosovo, Kyrgyzstan, Laos, Lebanon, Mozambique, Myanmar, Nepal, Nicaragua, Peru, Russia, Senegal, Serbia, Somalia, Sri Lanka, Sudan, Tajikistan, Tunisia, Uganda, Ukraine, Venezuela, Vietnam, Yemen. This list obviously evolves with new signing parties



Two definitions coexist: according to the military standards, an AP-mine is a pyrotechnic instrument developed for being activated by an involuntary action of the enemy in order to set him out-of-fighting. According to the Civil Right, an AP-mine is some object placed on or under the ground or any surface, conceived for exploding by the simple fact of the presence, the proximity or the contact of a person or a vehicle. On a general way, two models of mines exist: the blasting mines and the fragmenting ones: more than 700 known types of mines have been produced in about 55 countries, varying each from other by the

explosive-load, the activation mean, the action-range, the effects they have on the human body, etc. The next Figure shows a sample of AP mines



Since 1975, the mines have killed more than one million people, essentially civilian people and children: about 70 victims per day or 26.000 victims per year, about 300.000 severely disabled children. The people affected by this plague are these ones who less support the medical, social and economical consequences: the ICRC (International Committee of the Red Cross) estimates that 2/3 of the surviving victims must get into debt for life, a life expense reduced to 40 to 50 year: they will need about 20 prostheses and will pay about 120 euros each, that in countries where the individual mean income varies from 10 to 25 euros per month: crutches are often the only tool they may pay for walking

2.4. Requirements

The requirements defined in the above projects require many advanced capabilities. The robot has to autonomously travel between assigned waypoints while collecting information with a gas or a CBRN-E detection sensor. While the goal appears simple it is not and actually requires following capabilities:

2.4.1. CBRN-E and Fire-Fighting Assistance:

Reliable self location estimation

The estimation of the robot position is realized by a Visual Simultaneous Location and Mapping system that integrates data from several sensors: GPS, Inertial Navigation System, odometer and images from a monocular camera. This solution provides accuracy and reliability by combining information from different sources.

Detection and avoidance of obstacles

The environment perception mainly relies on artificial vision. Several concurrent processing are based on images:

- Motion augmented stereo-vision that provides superior results compared to the classical method
- Terrain Traversability estimation to discriminate passable and non passable ground
- Fast automatic human victim detection.
- Possible neutralization, destruction or removal of a suspected package

Mixed control

The robot can be remotely controlled by an operator (normal procedure) or be tasked to automatically move between waypoints. The Behavior based control architecture integrates both control modes with automatic navigation and vision modules.

Integration of distributed processes

All the previous capabilities have been implemented with the CORBA based framework CoRoBA developed at the Royal Military Academy. Communication between processes running on board of the robot or on the Base Station is simplified by the architecture of this framework that has been explicitly tailored to Robotics applications [1]

Virtual environment for training and simulation

Operator's skill can be trained in a virtual environment that reproduces typical intervention scenario. A second advantage concerns mission debriefing and analyses. Offline processing of environment data collected during the missions allows the automatic reconstruction of the environment and the motions of a mission. This 3D reconstruction approach is based on dense structure from motion recovery from images. The 3D model can be imported in a 3D simulator for testing alternative procedures.

Disaster Management Action Plan and crisis management information system

In emergencies, crisis managers and emergency workers are very often faced with the information - paradox". Whilst information tends to be scarce in the early stages of a crisis, the responsible and intervening personnel will be overloaded with information during the latter stages. This state of duality can lead to

information not being appropriately considered and analyzed, to poor distribution and integration of information, and consequently, to the risk of poor decision making.

Therefore, it is very important that, during each stage of a crisis, all involved managers and emergency workers dispose of the correct information at the right moment, so they can intervene in an efficient and effective manner. Consequently, one of the major challenges is adequate dissemination of information; top-down as much as bottom-up. [2]

2.4.2. Humanitarian de-mining

Several workshops, a.o. organised by the European Network CLAWAR (Climbing and Walking Robots and associated Technologies, now became the CLAWAR Association Ltd) and the IARP (International Advanced Robotics Programme) allowed discussions on the possible R&D activities for solving the problem(s): robotic systems are not (yet) felt today as the most promising solutions, due to their high cost, the use and maintenance difficulties, the varying (daily changing) terrain conditions, etc. However, specific tasks could be entrusted to mechanical mine disposal systems (or, if efficient, roboticized sensor-carriers):

1) the cutting of the vegetation : this is a mechanical (Tele-operated or not) assistance that doesn't need high level research activities, but adaptation of existing mobile cutters: one may consult the repertory of the GICHD

2) the mine-clearance of large agricultural areas: a detailed and recommended study has been managed by Håvard Bach, Head of Operational Methods Section (GICHD, 2004).

3) the detection tasks in very dense and dangerous areas (woody areas, mountain,..that constitute about 53 % of the infested areas) : such tasks could imply the realisation of specific robots, for instance multi-legged robots, a difficult long-term challenge

4) the delineation of the borders of a suspected area : task that could be entrusted to aerial tools : the EU encouraged several R&D projects focusing on this task

5) the systematic scanning of a zone : priority to the manual de-mining with enhanced multi-sensor-heads, but also assistance by mobile robotics systems on request (safety)

6) the inspection of an area after manual de-mining or mechanical clearance

More than or about 53 % of the minefields are un-structured (terrain) minefields in uneasy accessible areas: they are located in the South-East Asian Countries (Laos, Cambodia) and in South and Central Africa. Some of them are also located near destroyed villages or cities in European Countries (Kosovo, Bosnia) . Focusing on this kind of minefields (and thus avoiding the use of simple commercial vehicles (only road access or easy terrain) and avoiding the pure mechanical mine-clearance efficient in the other cases), we may underline some first advantages of light-weight modular low-cost robots:

1) improvement of the safety in very dense minefields or fields containing a high percentage of iron (1/3 of the areas treated in Cambodia, for instance): a precise scanning, according to well-drilled motion-procedures, will allow the mapping (terrain modelling AND mine localisation) of large areas with the same (or better) efficiency (than this one of the Human de-miners) but improved safety. Dogs (and drawbacks of their use) may also be replaced by RMV (remote controled vehicles): the standard de-mining procedures would be applied with smaller intervalles between the scanned corridors (speed increase). The next picture illustrates the actual standard manual scanning procedure



KPC Kosovo: parallel scanning with metal-detector



Corridor (1m large) Dulje Pas Area - Kosovo



Area delineation Dulje Pas - Kosovo

2) **improvement of the ‘productivity’ of Human De-miners** (example of better productivity: larger areas inspected with same number of H.D) Indeed, due to their (relative) inexperience, fatigue, lack of attention and fear, Human de-miners are progressing very slow (less than 100 m² in difficult areas) Replacing them by a sliding robot moving step by step (or another kind of robot according to the local constraints) could allow the reinforcement of other teams of Human De-miners, necessary where no any robot may access to)

3) **progressive implementation of High-Level/Low-Level Scanning procedures.** As long as aerial detections don’t give precise and reliable information, the combination of aerial detection information and terrestrial scanning remain necessary: it is nevertheless excluded to ask human de-miners to take into account with the ‘aerial maps’ for changing their scanning drills (corridor per corridor) while a mobile robot (or better, several mobile robots) could ‘navigate’ according to well-known HL/LL strategies (path-planning methodes). Such navigations could increase the efficiency of the detection tasks.

4) **multi-Tooling of a mobile robot:** even if a performing hand-held multi-sensors could increase the efficiency of the detection by decreasing the FAR (false alarm ratio), no doubt that the same de-miner cannot detect, mark and neutralize the mine at the same time: the ‘manipulation of several tools’ in a dangerous surface has already lead to accidents (loss of equilibrium, lack of protection during the pose of markers, etc.): a multi-tool arm may equip a robot allowing the cutting, the scanning, the laying of a marker or the spreading of a chemical neutralizer

5) **multi-robotics, multiple locomotion means:** in a same area, one can envisage the possibility to combine several kinds of robots according to the terrain: multi-legged, wheeled and tracked, working under supervision of Controllers while Human de-miners could focus on the unreachable areas.

6) **development of DUAL USE systems:** one of the problems of the HUDEM technologies lies in the fact that the development of specific systems (robots) are not industrially rentable: the development of techniques combining the sensory AND the robotics may be extrapolated to several applications and thus enhance the industrial interest. Examples are:

- Systematic inspection of dangerous areas after earthquakes
- Systematic inspection of dangerous areas after Nuclear/Chemical accidents
- Space applications (Mars Rover...)
- Survey of forests and prevention of Fires
- Military Robotics (including the Mine-clearing Ops during Peace-keeping/holding missions)

Those technical challenges have defined the Research and Development activities of our Robotics Lab of the department of Mechanical Engineering. It was first necessary to correctly try to define the basic requirements of such developments (par 7). However, before designing mobile robots, a survey of the mechanical mine-clearers was also felt as necessary and our IARP workshops combined scientific lectures and on-the-field demonstrations. As an example, demonstrations have been organised by our Japanese colleagues during the 6th IARP Workshop in Tokyo, 2005 8

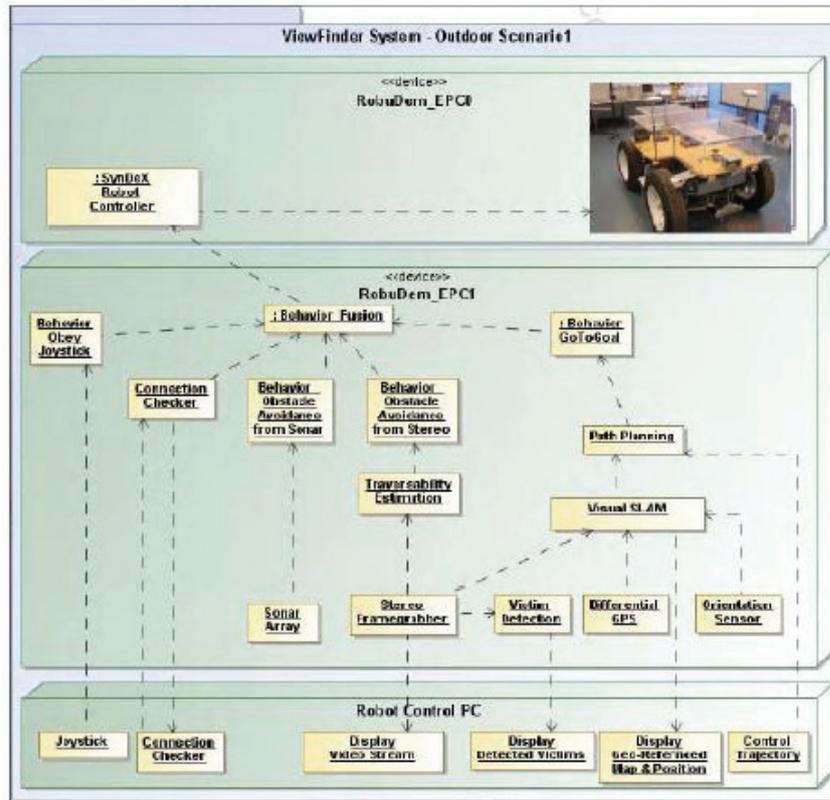
3. Behaviour based Robot control (View-finder Project)

The next figure illustrates the general robot control architecture [3]. The ROBUDEM robot used in this setup features 2 on-board processing stations, one for low-level motor control (SYNDEX Robot Controller), and another one for all the high-level functions. A remote robot control PC is used to control the robot and to visualize the robot measurements (color images, victim data) from a safe distance. All data transfer between modules occurs via TCP and UDP-based connections, relying on the CORBA and COROBA [1] protocols. The wireless link from the on-board high-level PC to the remote robot control PC is set up via a Wi-Fi connection.

The robot is equipped with four main sensing abilities: a stereo vision system, a GPS system, an orientation sensor and a sonar array. All the modalities discussed above are encompassed in a behavior based framework. We will now discuss the structure of this global control architecture, depicted in the Figure, by explaining the different components from left to right.

To begin, the remote human operator disposes of a joystick controller, which enables him to steer the robot, when in Tele-operation mode. For safety reasons, the wireless connection of the robot to its base station is continuously polled by a connection checker. As such, the robot is ordered to stop or to return to the base station when the wireless connection has been lost.

The information coming from the sonar array is used by a fuzzy-logic based obstacle avoidance behavior which steers the robot away from obstacles detected by the ultrasonic sensors.



The information from the stereo vision system is used threefold:

1. The color images are sent over the wireless link, such that the human operator receives at all time a visual cue of the environment. This is absolutely necessary when the robot is operating under tele-operation mode.
2. The (left) color image is sent to a victim detection module. This module incorporates a vision-based human victim detector (adapted Viola-Jones algorithm [4]) The victim detection module will report any detected human victims back to the human operator at the remote control station.
3. The calculated stereo disparity image is sent to a terrain Traversability estimation module. This module incorporates a stereo-based terrain Traversability analysis algorithm, generating a map of obstacles. From the obstacle map, a behavior is constructed to steer the robot away from these obstacles. [5]

A Visual Simultaneous Localization and Mapping processor takes as input information coming from different sensors: odometry, GPS, orientation sensor, prior map data (if present) and a color camera. From this information, the V-SLAM module builds a map of the environment while localizing itself in that map. This geo-referenced spatial information is sent to the remote station and is also used by a path planning module. From the robot control station, the human operator is able to compile a list of waypoints for the robot. The path planning module compares this list of waypoints with the robot position and calculates a trajectory to steer the robot to the goal positions in the list. The first point on this trajectory list is sent to a GoToGoal behavior module, which aims to steer the robot to this point, as such executing the trajectory defined by the path planner.

A Behavior Fusion processor takes as input the objective functions of the different behaviors and fuses this information to come to one consistent and globally optimal command to be executed by the robot. These objective functions are multi-dimensional functions which reflect the preference of each behavior for each type of possible actions.

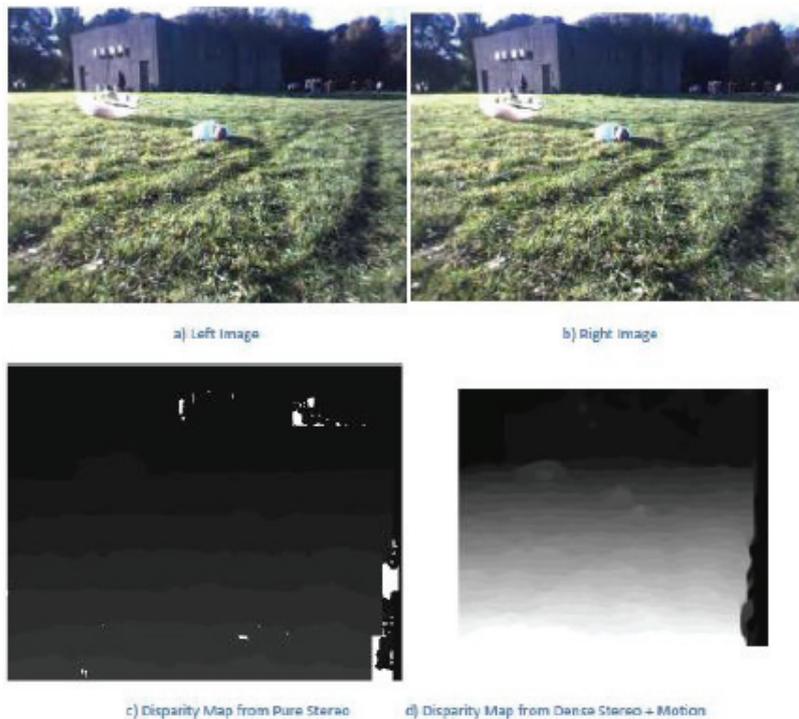
The presented behavior-based control methodology was implemented on the robot, using the COROBA [1] software architecture platform. The experimental validation of the presented technique was performed by doing field tests, evaluating the performance of all subsystems and of the robotic system as a whole. The next figure shows the ROBUDEM robot during one of these field tests (post- aircraft- crash management – see Wikipedia video View-Finder)



4. Dense Motion augmented stereo-vision (View-Finder project)

The next figure shows the results of our developed dense motion-augmented stereo estimation algorithm [5]. By comparing the disparity estimation result of the developed methodology, as presented by Figure (d) to the result of the classical stereo approach, without the presented augmentations, it becomes immediately evident that the proposed methodology outputs superior results compared to the classical method. The disparity map as estimated by our method presents no disturbing holes, the depth gradient of the ground plane is well-visible, the 2 obstacles on the ground can also be easily discerned on the disparity map, and even the building, which is very far away, can be distinguished on the disparity map of Figure (b). On the disparity map from pure stereo, as presented by Figure (c), on the other hand, there is only a very limited depth resolution, many holes are present in the disparity map, and only the big obstacle on the left can really be distinguished. It is thus clear that the presented methodology outputs disparity maps which are not only visually better, but also better suited for post processing, e.g. for terrain Traversability estimation.

The processing time required to estimate a dense depth map using the presented methodology is about 1 second, which is still reasonable for near-real time applications and it is to be expected that in the near future, 10 with the constant increase in processing power, the calculation time will go down substantially, allowing full real-time operation.



5. CBRN-E Project

Our project, derived from the results of the View-Finder one, also suggests developing a specially designed neutralization robot with mobility and manipulation capabilities that is controlled from a remote supervisor station. This robot will be able to identify suspicious terrorist devices in urban environments

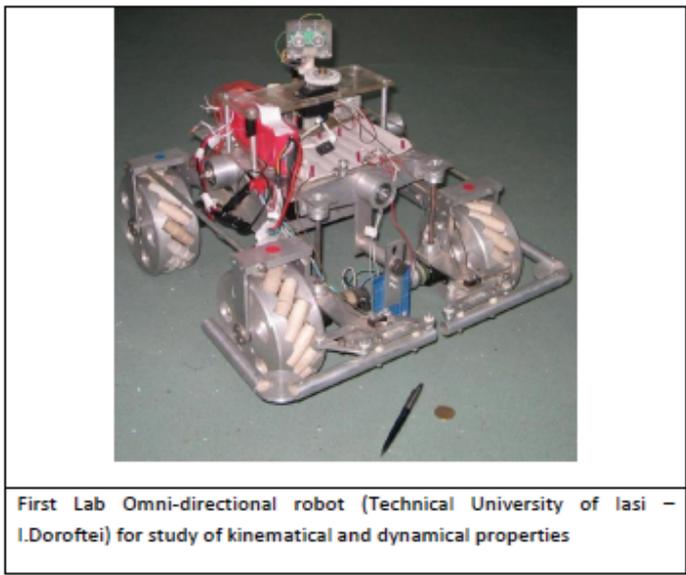
(streets, squares, gardens, train/metro stations, airports, etc). It is assumed that neutralization will be required in an urban scenario that may include some typical urban Traversability difficulties like stairs, slopes, debris, and similar objects [6]. However, it may require operating also in environments like power plants, storage tanks areas, etc. We ideally opt for an omni-directional robot [7]

This robotics system should include:

- a. Sensors for IED with CBR(N)-E content.
- b. Mobile platform carrying onboard sensor packages, robotic systems (manipulators, rovers), localization [8] and communication subsystems [1].
- c. Manipulators for data gathering and neutralizing effects in the Red Zone.
- d. (Mini)-Rovers that carry samples from the RED (danger) to the GREEN (safe) zone.
- e. The Command and Control station.

All these subsystems will continue to be subject to extensive research activities. The sensors packages for IED with CBRN-E content are major tools for neutralization of terrorist devices. They will reside inside a mechanical device which provides appropriate protection, have fast locking/unlocking connectors, and will be in a well defined position that is easy to reach by the operators. They will be handled by the operators to investigate the suspicious target. More sensors will be used to assess the overall neutralization task, to improve overall detection capabilities, to launch alarms, to control the robot subsystems and to monitor the whole system behavior. Project partners (DOVO and DLD) have extensive experience in sensors for IED with CBR(N)-E.

The **mobile robot platform (MRP)** performs a major innovative neutralization task: it will permit remote IED and it will provide a safe envelope for the sensory heads and all other onboard equipments. All the samples of volatiles and dust particles, which were gathered by the special tools with the help of the operators, will be inserted into small containers and delivered to the green zone by means of the small rovers to be analyzed in a mobile lab. In general, onboard analysis will be avoided because this will increase the complexity and size of the MRP. Nevertheless, there will be “first alarm” sensors and even more complex ones (for example some biological, radiological and radioactive meters) when their size, technical characteristics and associated cost will allow it. The mobile robot platform will be able to move in urban environment covering all the required working positions. It will enable the operators to fulfill their tasks using manipulators capable of reaching their targets of interest. DGPS will allow fine positioning of the MRP [8]. A sufficient power will be necessary to all onboard subsystems and will allow greater autonomy at maximum performance than similar current systems. A third major subsystem comprises a **dual manipulator system** for gathering data and to perform neutralizing effects in the Red Zone. Each manipulator will be designed to handle the sensor payloads plus other necessary tools for demolition of the device (laser, plasma or mechanical cutting, spraying nozzle for decontamination, grippers, etc.). Both Tele-operation and robotic modes (including playback of recorded sequences) could be used. Handling and reach capability of manipulators will be decided according to the weight of payloads and to the operational requirements and specifications. State-of-the-art force feedback capabilities will be incorporated to facilitate remote interaction and careful manipulation around sensible targets. Materials (first approach indicates stainless steel) and design (example using pressurized inert gas inside) of manipulators will allow external decontamination and re-usability of most components.



The fourth major subsystem of the proposed methodology consists in using **two small rovers (PIONEER types)**. Their mission is to transfer samples from the red to the green zone across the Contamination Reduction Area (CRA). This will prevent the MRP to go back and forth between the red and the green areas. This optimizes its use and saves vital time. We shall consider use of at least two rovers to allow one of them to operate in the red zone while the other is transporting samples or is being decontaminated. Rovers will be powered by small size, low energy consumption batteries. For the project purposes, adaptation of existing rovers with the required new characteristics can be a good strategy. Remote control from the Command and Control Station will simplify its operation.

6. Robotics for Humanitarian de-mining Projects (1997-2007)

It is necessary to identify which are low key technologies and which are the higher ones, in order to take into account the development time scales required to bring to maturity the newer technologies - some of these may be up to ten years away from maturity.

The reliability of the equipment to detect and neutralise mines will need to be specified in Quality Assurance (QA) terms e.g 99.9% clearance guarantee. The European Joint Research Centre in Italy has first published some quantified standards against which application trials should be measured. The ITEP (International Test and Evaluation Program – www.itep.ws) pursues today the same objective through dedicated tasks.

Measurement and pinpointing accuracy will need to be defined. It is suggested that the limit on this as a benchmark could be a quarter of the diameter of the smallest AP mine, say 10-15mm resolution. As a result the robot will need to be able to carry a marking work package and a means of communicating its position in the minefield. Accuracy of +/- 1 cm would be ideal.

The environment will play a large part in determining the attributes or characteristics of the Robotics equipment. In fact it is unlikely that a multi-purpose, single machine will be developed that will cope with all forms of environment. The environmental issues fall into various categories and equipment operation will need to be defined as desirable or mandatory under these conditions. Main environmental characteristics that need to be taken into account are:

- Weather eg temperature, snow, ice, frost, rain, wind, humidity .
- Terrain, e.g., urban - street, inside buildings; rural - desert, rocky, heavy vegetation, possible water scenarios.

Payload assessment must take into account two factors, expectations based on current engineering capability and those desired for the future, although the latter may be quite impractical at the present time. However, from knowledge of the various sensor systems being considered, a payload in the range 5-15kg is likely.

Various mechanism types are being considered. There is a need to concentrate on scenarios where tracked and wheeled vehicles will be unable to carry out the de-mining task. The likely configuration will therefore be a light-weight, articulated legged walker able to clamber over rough terrain, cross ditches, walk through heavy vegetation without disturbing it and hidden trip wires, climb steep slopes, etc. It will also have sufficient degrees of freedom of its body with respect to its legs to deliver sensor work packages and marking devices, probably on a boom or manipulator to difficult to access positions, accurately.

The actuation method is unclear. Electric motor driven joints seems the most likely although pneumatics should not be ruled out. Either way, the power requirements of the vehicle are likely to exceed significantly those of the work package. Use of an umbilical, although possible, will seriously degrade the operational scope of the vehicle so suitable on-board power devices may be required. The weight of battery packs or motors for producing compressed air is significant and a balance between functionality and mission length may be hard to achieve. Soft pneumatic muscle actuators may provide some solution since, weight-for-weight, they are able to provide much higher power for lower pressure than pneumatic cylinders. In the short term, the use of an umbilical may be necessary whilst suitable on-board power technology is found

Motion control will need to be highly sophisticated. General motion in difficult terrain will need advanced adaptive gait control such as is being developed at present in various research centres. Closely controlled motion will be required to deliver sensor packages to accurate positions when detection is in progress. The motion of the vehicle will demand by far the highest power requirements. Whilst some scenarios will allow the use of an umbilical, many will need more autonomy so an on-board power supply will be needed. Thus efficiency of motion will be most important, requiring advanced control algorithms. On the other hand, speed is unlikely to be paramount since detection will take time and will probably limit forward motion.

The modes of operation need to be specified. Most requirements will have a man-in-the-loop operation and there will be a direct line of sight operation at a safe distance. This safe distance will have to be

specified and as will the method of ensuring that the safety restraints are carried out correctly. Typically, current methods for remote control from close in up to 1-2 km distance use Tele-operation.

Examples of the advantages of Tele-operation are that the task can be carried out by a single operator and that camera positions are easily selectable using a microwave link or fibre-optic for a line of sight video transmission from the machine to the remote command station. To carry out complex tasks, the numbers of cameras needed and their positions will have to be considered. It is likely that at least two fixed or one rotational camera will need to be fitted to the vehicle to give all round viewing during operation. Operator control units can be fitted to display single or multi-image options. The communication link might be a 1.4 GHz video link as used in the systems for Grand Prix F1 racing. Fibre optic links that offer high bandwidth can be used but the trailing of cables can be a problem over long distances. A communications link to carry control and sensor feedback signals will also be required.

In summary, machines to carry out de-mining activities in place of human de-miners are generally likely to be wheeled or tracked. However, there is a possibility that in certain terrain, walkers will add value. There is little likelihood that pure climbers will be required. Assuming that the friction of its feet to the ground is sufficient to provide the traction required, then provided the vehicle has the motive power to operate on steep inclines by modification of its gait, then a walker is sufficient. Such machines are likely to be light in weight. The control and communications system is likely to be of a nature which will facilitate the addition of higher order functionality such as sensor fusion, HMI, navigation, etc.

The walker will need to carry several kg of work packages; a selection from vision cameras, IR cameras, GPR, UWBR, metal detectors, chemical sensors and other more advanced detectors. Some may need to be held on a boom arm or manipulator. The machine will need to be able to traverse rough ground without operator intervention so a high degree of gait “intelligence” is required. Since ground conditions will vary considerably within mission, it will need to be able to sense ground condition and adjust its gait in-mission. It will need to be able to hold detectors in a pre-determined relationship to the ground contour and to control delicate prodding movements.

The complete system will need to integrate the vehicle control and navigation systems with a data fusion system that will discriminate, to a high degree of confidence, between mine and ‘no-mine’ conditions.

Some such machines may need to be specified so that they can operate fully submerged in shallow seawater.

6.1. Our realistic solutions.

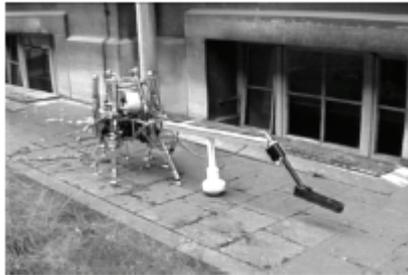
Conventional vehicle-mounted mine detector systems employ an array of sensors elements to achieve a detection swath typically 2~4m wide maximum . Some systems employ more than one type of sensor technology. These systems, while being very useful are often expensive, unsafe, complex and inflexible. The IARP workshops have on the contrary shown that the use of Robotics Systems (Remote controlled vehicles) could improve the safety and the clearance efficiency and that they may be considered as promising tools. However, the development of a Robotics System (RS) implies the design, the reliability and the cost-effectiveness of its modular components: those ones appear in next figures . (Nonami, 2005) (Fukushima, 2005) (Fukuda, 2005), (Doroftei, 2007).



SLIDING ROBOT: a first strategy we suggested to start with consisted into the use of a step-by-step motion of a multi-legged electro-pneumatic sliding robot equipped with a 3D scanning device; namely a metal-detector : the robot AMRU-4 was designed and demonstrated in 1997 on a dummy minefield laid at the RMA.

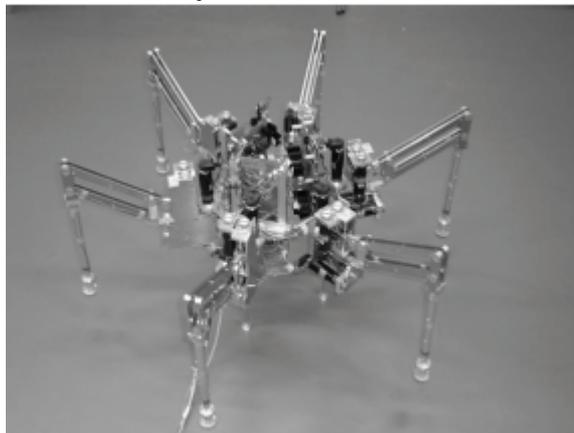


LEGGED ROBOT: the major drawback of this first sliding robot lies in the fact that it may not be used on irregular terrains. As a consequence, I decided to build an electrical six-legged robot. The first prototype was also ready by 1997, but again actuated by pneumatic linear and rotative cylinders and thus constrained by a feeding umbilicus (AMRU-2).



We then decided to build an electrical six-legged robot, AMRU-5.

Building a walking robot requires more expertise than a simple programming. The robot designers must own a compendium of basic skills from fields such as mechanical engineering, electrical engineering, computer science, automatic control and artificial intelligence. On the other hand, they must be able to identify the real needs, to create original ideas, to provide feasible designs, to consider environmental effects, and to come up with reliable devices, products, systems with expected performance and with reasonable costs. The main aim of these designers is to develop a machine that would satisfy at best the needs, would be economic, and would have the best technical and operational characteristics.



Very often, it is hard to reach requirements at the first attempt. Therefore, an iterative procedure has been continuously applied on our tentative design with the intention to reach these requirements.

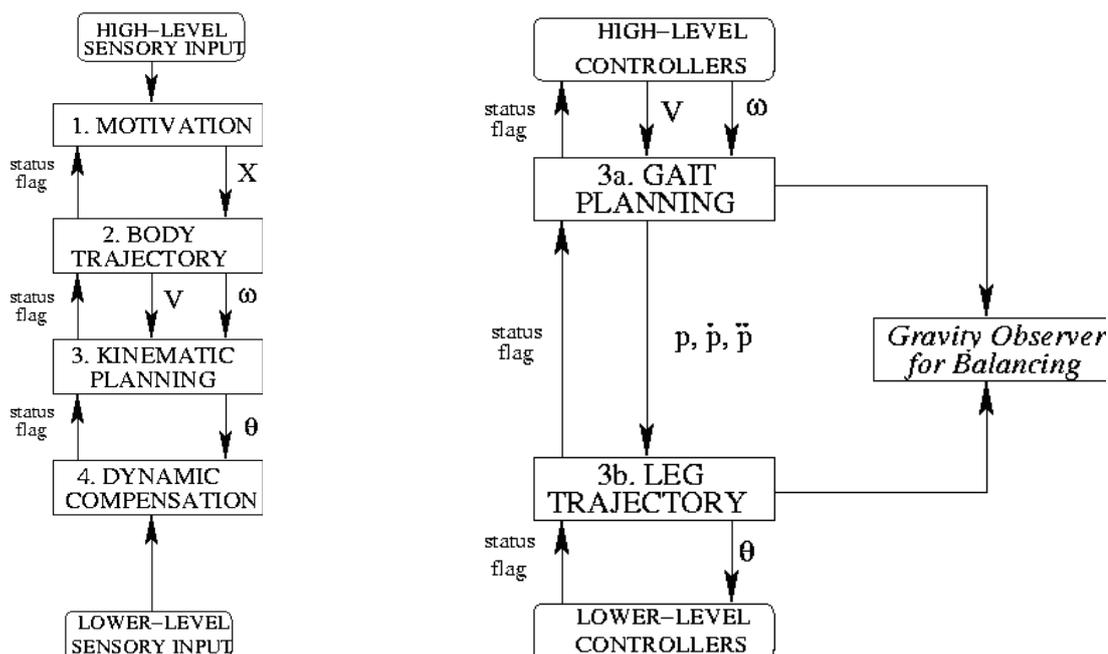
Many walking robots are controlled using the hierarchical approach or a part of it except on robots where:

A simple control (“bang-bang” or on-off control) is implemented and all possible sequences of the states of the robots are determined in advance. This was the case of the first previous described

AMRU-4 and AMRU-2

Alternative or advanced approaches are implemented such as the hybrid architecture (obtained by introducing reactive behaviors in a hierarchical approach).

Almost all proposed architectures based on the hierarchical control are the same. They differ in terms but the idea remains the same. We have considered the architecture shown in next Figure proposed by M.J. Randall and A.G. Pipe [10].



The first and the highest level is the *motivation*. For a walking robot used in mine clearance, for example, the motivation could be “find a mine” by means of high level sensors such as metal detector, Ground Penetrating Radar (GPR), video images, etc.

The second level is the *body route generation*. When the goal to attain is known, this level must establish an appropriate body centred trajectory. This is done by converting the high level command (find a mine, for example) into a velocity vector V and an angular velocity vector ω , for the body centred frame.

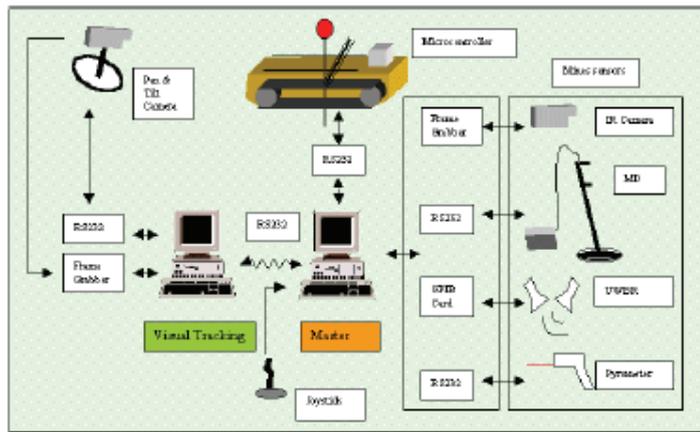
The third level is the *kinematic planning* which involves two sub-levels namely the *gait planning* and the *leg trajectory generation* shown in Figure 6. The gait is a walking pattern and it can be defined by phase differences between the legs during their motion. At this level, the phases between the legs are determined, and also the stroke of the legs endpoint, are determined.

At the fourth and the lowest level, named *dynamic compensation*, the target joint space vectors are turned into actuator signals. This level minimizes errors between the target vectors and the actual position of the joints.

TRACKED ROBOT: Beside the design of a multi-legged robot, we also started with the adaptation of an existing but ‘obsolete’ tracked EOD robot of the DOVO. First by equipping its manipulator with a frontal scanning metal-detector system controlled from an electric servomotor, then by designing a lateral 3D scanner controlled from 3 servomotors: the technical characteristics may be found in the repertory of the annexe 4 (HUNTER).



The next scheme illustrates the whole architecture of the Hunter. The HMI, called CORODE has been developed by Dr Eric Colon, and later extended to a COROBA framework [1]



WHEELED ROBOT: a next vehicle has been developed, equipped with three independent driving/steering wheels for to obtain a very large mobility and modularity. The design of the TRIDEM has been entrusted to a researcher of the Free University of Brussels, while the control has been achieved by Dr Ir JC Habumuremyi.; 17 the robot is intended to be used for the ‘Quality Assurance’ of a de-mining task. After the mine-clearance, a last detection task could confirm the total absence of remaining Explosive devices.



COMMERCIAL WHEELED ROBOT: finally we opted for the se of a commercial platform (called ROBUDEM)

The ROBUDEM is a commercial platform delivered by the French Company ROBOSOFT and adapted by our UGV Centre:

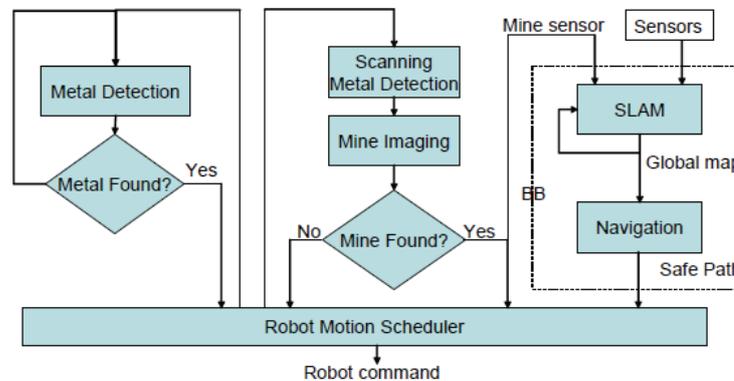
- First with a 3D scanning system for Humanitarian mine detection tasks (next picture) (project HUDEM)
- Then with a set of sensors (DGPS, Inertial sensor, Stereo camera, Ultrasonic sensors and chemical sensor) for the robotics assistance to Fire-fighting services (project VIEW-FINDER)

The ROBUDEM has four wheels that are individually actuated by electrical motors. The two axes are steerable and are actuated by two linear electrical motors via an Ackerman mechanism. The following figures show the real robot and its 3D model.

<p>The ROBUCAR of ROBOSOFT</p>	<p>The adapted ROBUDEM and its lateral scanner (D.Doroftei, 2007)</p>	<p>The MODEL as simulation tool in the COROSIM software (E.Colon, 2005)</p>

The control architecture describes the strategy to combine the three main capabilities of an intelligent mobile agent: sensing, reasoning (intelligence) and actuation. These three capabilities have to be integrated in a coherent framework in order for the mobile agent to perform a certain task adequately.

The working principle of the proposed control architecture is sketched on Figure 17. There are three distinctive modules to be discriminated: Navigation (on the right side), Mine Detection - Scanning (in the middle) and Metal Detection (on the left side). These three processes are controlled by a watchdog, the robot motion scheduler, which manages the execution of each module and decides on the commands to be sent to the robot actuators. This robot motion scheduler is explained more in detail in [11]



7. Conclusions

From the analysis of the realized [9] and proposed technical solutions, other related tasks that need intervention in a hazardous area may be envisaged (earthquake, Vulcan eruptions, Nuclear Explosion, SEVESO Accident, etc). This paper is a summary: readers interested by details may consult the View-Finder Website or our <http://mecatron.rma.ac.be> and, obviously, the references

8. Acknowledgments:

To the Belgian MoD which funded the HUDEM project from 1997 to 2003, the EC FW6 Contract which funded the VIEW-FINDER project, my direct colleagues (mentioned as co-authors, but authors of the R&D results summarized in the paper), my colleagues from the IARP (www.iarp-robotics.org)

References

1. E.Colon, H Sahli : CoRoBA, an Open Framework for Multi-Sensor Robotic Systems Integration – CIRA2005, June, Helsinki, Finland
2. H. De Smet, C. Pinzon, J. Leysen, Y. Baudoin (RMA), J. Gancet (SAS), and J. Penders (SHU), The Disaster Management Action Plan proof-of-concept of a Key Management Tool for Emergency Situations. in IARP/EURON RISE'2009, 12-14 Jan 2009, Brussels, Belgium
3. Geert De Cubber, Daniela Doroftei, Sid Ahmed Berrabah, Hichem Sahli: Combining Dense structure from Motion and Visual SLAM in a Behavior-based Robot Control Architecture, International journal of Advanced Robotics Systems , (March 2010, Vol 6, n°1)
4. P. Viola and M. Jones. Robust Real-time Object Detection. In Intl. Workshop on Statistical and Computational Theories of Vision, July 2001.
5. On-line and Off-line 3D Reconstruction for Crisis Management Applications, G.De Cubber (RMA, Belgium), Fourth International Workshop on Robotics for risky interventions and Environmental Surveillance-Maintenance, RISE'2010– Sheffield, UK, January 2010.
6. Stereo-based Terrain Traversability Analysis for Robot Navigation, G. De Cubber (RMA, Belgium), Daniela Doroftei (RMA, Belgium), L. Nalpantidis, G. C. Sirakoulis, A. Gasteratos, Third International Workshop on Robotics for risky interventions and Environmental Surveillance-Maintenance, RISE'2009- Brussels, Belgium, January 2009.
7. Ioan Doroftei (TUI), Y.Baudoin (RMA): Design and Control of a Omnidirectional Robot, International Journal Robotica and Management Vol 14, n°1, June 2009 – ISSN1453-2069, p21-26
8. Sid Ahmed Berrabah (RMA, Belgium), Y.Baudoin (RMA, Belgium): Data Association for Robot Localization in Satellite Images, International Journal of Advanced Robotics (Vol 6, N°1, March 2010)
9. RMA Scientific Report of the View-Finder Project, RMA, 2010, on request (yvan.baudoin@rma.ac.be)
10. Randall M.J., P i p e A.G., An Intelligent Control Architecture and Its Application to Walking Robots, Proceedings of International Workshop on Advanced Robotics and Intelligent Machines, Salford, UK, 1997, ISSN 1363-2698

11. Doroftei D, Colon E, Baudoin Y, Sahli, H 'Development of a behaviour-based control and software architecture for a visually guided mine detection European Journal of Automated Systems (JESA), Volume 43/3—2009, pp. 295-314.

Е.С. Брискин, В.Е. Павловский
К ИСТОРИИ РАЗРАБОТОК ШАГАЮЩИХ МАШИН /
E. Briskin, V. Pavlovsky
ABOUT HISTORY OF WALKING MACHINES INVESTIGATIONS

ВолгГТУ, Волгоград; ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, Москва /
Volgograd State Technical University, Volgograd;
Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russian Academy of Sciences, Moscow
vlpavl@mail.ru

Задача изучения и синтеза локомоций – это прежде всего задача создания машин и устройств, способных перемещаться в естественных условиях, по бездорожью, либо вообще использующих нетрадиционные движители.

В таких задачах шагающие машины важны и актуальны, особенно как средство решения проблемы передвижения по бездорожью и, вообще, по местности со сложным рельефом. Объясняется это следующими обстоятельствами. Утверждается, что более половины земной поверхности недоступно для традиционных транспортных средств - колесных, либо гусеничных. Но во многие недоступные места легко добираются шагающие животные. Проблема здесь заключается в характере точки опоры. Колесо лишь частично решает проблему передвижения, т.к. для его эффективного использования нужна гладкая опорная поверхность. Шагающее устройство в состоянии само выбирать точки контакта ноги с поверхностью и учитывать ее неровности. При наличии гладкой твердой дорожной поверхности колесо, безусловно, служит основой наиболее эффективных средств передвижения. Когда же дело касается естественной земной поверхности, которая, как правило, содержит неровности, колесо во многих случаях оказывается бесполезным и здесь может оказаться применимым шагающее устройство.

Отметим, что, как указывается в ряде источников, в настоящее время создано множество простых устройств, которые на первый взгляд кажутся шагающими, но на самом деле переставляют ноги чисто механически, не используя потенциальных возможностей регулируемого взаимодействия с опорной поверхностью. Чтобы шагать "по-настоящему", нужно располагать подробными данными о среде передвижения. Машины, способные шагать именно в таком смысле, появились лишь после того, как для проведения множества необходимых измерений и процедур принятия соответствующих решений стали широко использоваться компьютеры, связанные с мобильной машиной, вначале проводными связями, или, позднее, когда системы управления реализовывались на основе радиосвязи работа с управляющим компьютером, - беспроводными. А затем появились бортовые системы, сделавшие шагающие аппараты автономными

Рассмотрим некоторые моменты истории создания многоногих шагающих аппаратов.

1. Предтеча. 130 лет назад.

Одним из первых задач анализа перемещения стопоходящих животных и устройств занялся известный русский математик и механик П.Л.Чебышев. Он в 1878 году разработал образец так называемой стопоходящей машины, ее схема показана на рис.1. Машина была построена на так называемых лямбда-механизмах Чебышева и была чисто механическим устройством - примером его выдающихся работ по теории механизмов. Машина Чебышева показала принципиальную осуществимость шагающего устройства.

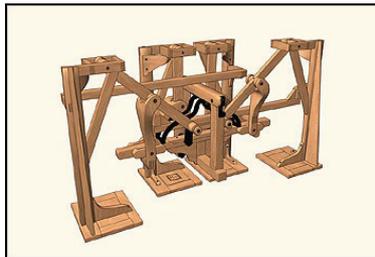


Рис.1. Стопоходящая машина П.Л.Чебышева

Исследования по созданию шагающих роботов имеют в современной России давнюю историю, насчитывающую более 40 лет. В СССР эксперименты по шагающим машинам начались на рубеже 70-х годов XX века. Это были приоритетные пионерские работы, в тот период шли аналогичные исследования только в США, но отечественные исследования опережали аналогичные зарубежные работы. Организатором и вдохновителем этих работ в СССР был академик (тогда еще член-корреспондент АН СССР) Д.Е.Охоцимский. Примерно в одно и то же время - в период 1972-1975 гг. - были созданы макеты многоногих шагающих машин в Институте прикладной математики Академии Наук (руководитель – профессор Д.Е.Охоцимский), в МГУ в Институте механики (руководитель профессор Е.А.Деянин) а несколько ранее - в Институте машиноведения Академии Наук (руководители – академик И.И.Артоболевский, профессора А.П.Бессонов и Н.В.Умнов).

2. Первые пионерские проекты в СССР.

На рис.2 показан макет шагающей машины, разработанный в Институте машиноведения Академии наук СССР.

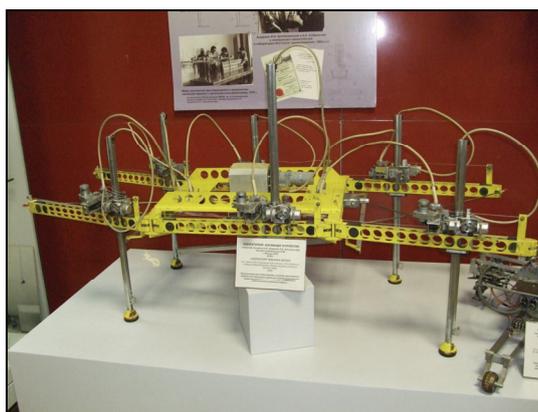


Рис.2. Шагающая машина ИМАШ РАН

В этой машине был использован оригинальный принцип организации ходьбы. Машина имеет 4 ноги с так называемыми ортогональными приводами. Его преимущества состоят в более простых расчетных схемах синтеза движения ног и корпуса аппарата.

Ниже на рис.3 показаны макеты шестиногих шагающих машин, созданные в Институте прикладной математики АН СССР. Слева показан первый образец, созданный в содружестве ИПМ им.М.В.Келдыша АН СССР и Ленинградского механического института (ЛМИ), справа - второй образец, созданный несколько позднее при сотрудничестве ИПМ им.М.В.Келдыша АН СССР и Ленинградского института ВНИИТРАНСМАШ.

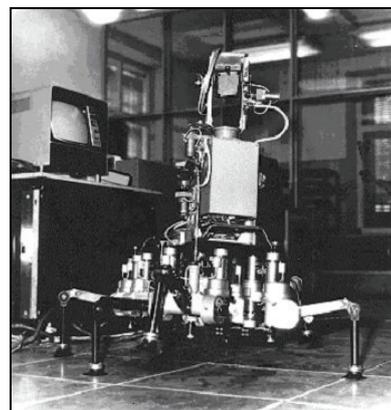
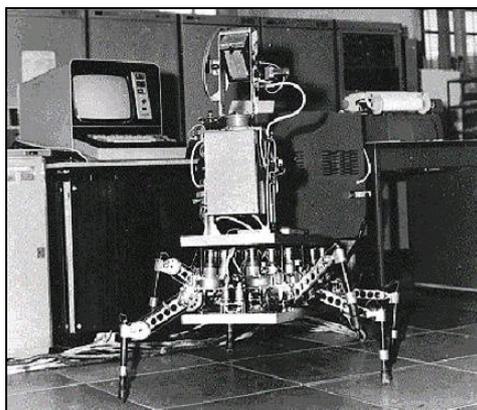


Рис.3. Шагающие роботы ИПМ им. М.В. Келдыша АН СССР. Фотографии 1975 г.

Отметим, что эти аппараты имели так называемые инсектоморфные ноги, каждая из которых имела по три степени подвижности (три степени свободы). На рис.3 оба аппарата показаны в варианте с оснащением лазерным дальномерным устройством - Лазерным Измерителем Расстояний ЛИР. С

помощью ЛИР роботы осматривали поверхность передвижения и затем управляющая роботами мини-ЭВМ принимала решения о движении. Наличие шести ног позволяло решить принципиальную задачу устойчивости движения робота - робот мог передвигаться статически устойчивой походкой, если в каждый момент времени в опоре находилось не менее трех ног. Именно это обстоятельство определило интерес к многоногим машинам.

Позднее на базе этих разработок совместно ИПМ им.М.В.Келдыша АН СССР и ВНИИТРАНСМАШ в 1975 г. был создан большой натурный макет шестиногой машины НМША (Натурный Макет Шагающего Аппарата), которая была способна нести человека-оператора. Масса машины 750 кг. Скорость движения 0,7 км/ч, грузоподъемность 50 кг, дорожный просвет 1,5 м. Машина показана на фотографиях на рис.4.

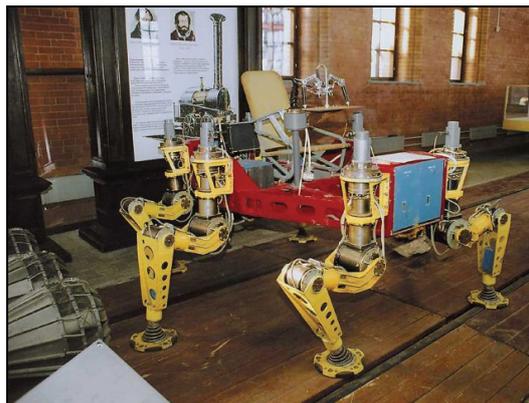
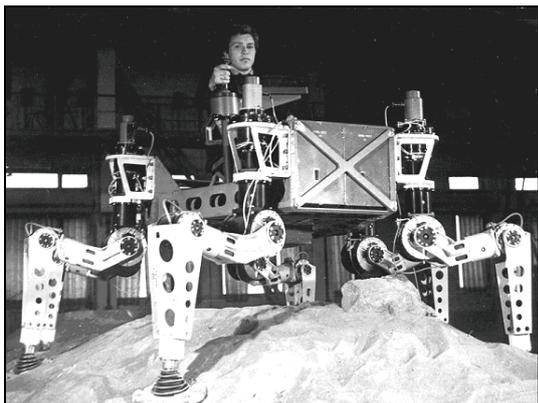


Рис. 4. Макет НМША

Указанные исследования продолжаются в настоящее время, на рис.5 показан третий макет робота, создаваемый как модификация предыдущих в ИПМ им.М.В.Келдыша РАН. На роботе реализована оригинальная бортовая микропроцессорная система управления, построенная как бортовая компьютерная управляющая сеть. Робот оснащен необходимым набором сенсоров.



Рис.5. Шагающий робот ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Фотографии 2009 г.

Работы по исследованию шестиногих аппаратов продолжаются и в Институте Механики МГУ. Они ведутся на основе модернизации самого первого проекта этого института, в котором создавался робот МАША (МАшина ШАгающая).

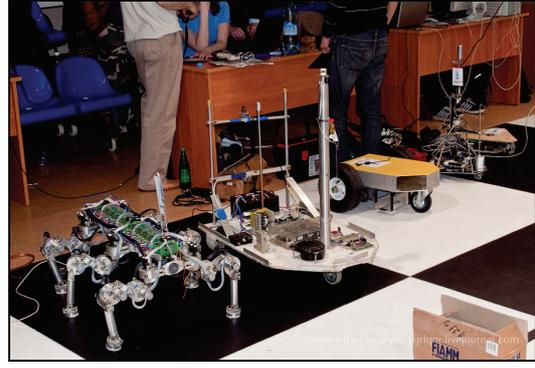


Рис.6. Робот Института Механики МГУ. Первая (1975 г.) и современная версии

На рис.6 показана первая (слева) и современная (справа) версии робота МАША, на второй фотографии аппарат показан на переднем плане. Робот также имеет шесть инсектоморфных ног и снабжен необходимым набором сенсоров.

3. Зарубежные результаты.

Перечислим некоторые примеры. На рис.7 приведена одна из первых разработок в США. Авторы – профессора Frank и McGhee.

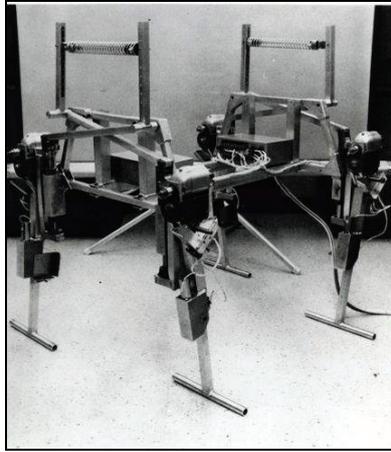


Рис.7. 1968 г. Phoney-Poney. Калифорнийская лошадь

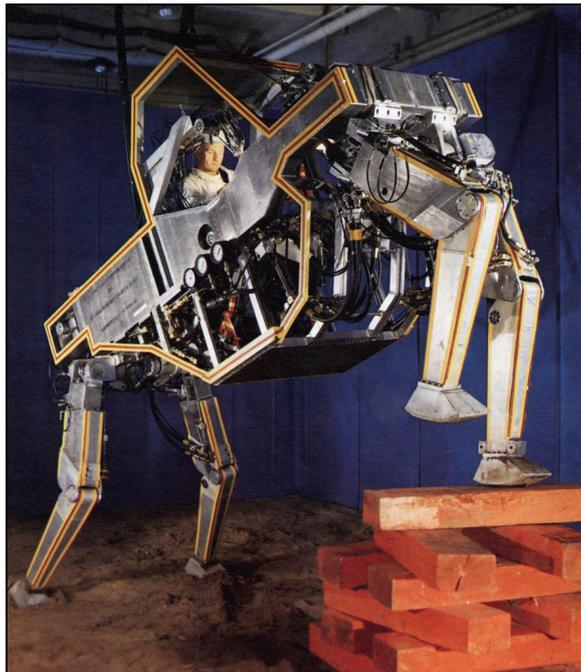


Рис.8. 1969 г. GE Walking Truck. Ralph Mosher. США

На рис.8 - тяжелая шагающая машина General Electric, США. Управление ею было построено по копирующей схеме, но человек, ведущий ее и руками и ногами, выдерживал всего порядка десяти минут. Такой сложной была система управления, требующая огромного напряжения внимания и сил. По этим результатам был сделан однозначный вывод: управление аппаратом необходимо переложить на компьютер. Все последующие аппараты строились как роботы с компьютерным управлением, реализующим больший или меньший объем функций управления в супервизорном или автономном режимах.

На последующих фотографиях на рис.9-14 - разработки семидесятых годов XX века, более поздние и современные аппараты западных лабораторий.

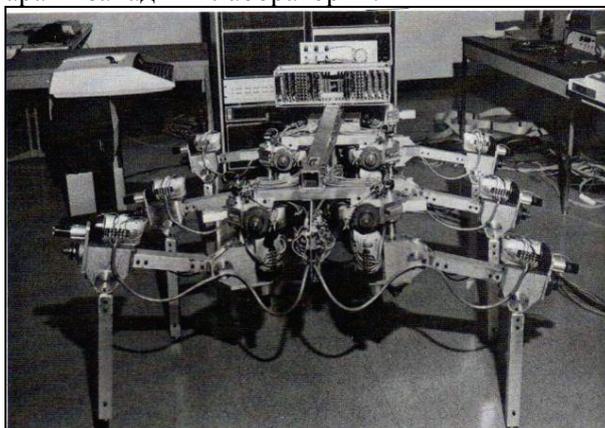


Рис.9. 1976 г. Шестиногий робот. Университет Огайо. McGhee. США



Рис.10. 1984 – 1991 гг. ASV. Шестиногий аппарат. Университет Огайо. США



Рис.11. Plustech Oy. Финляндия

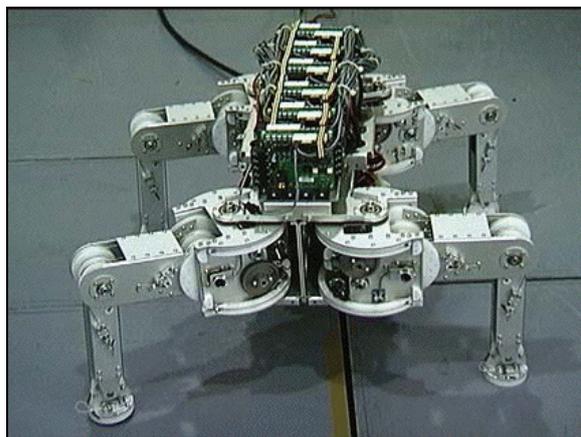
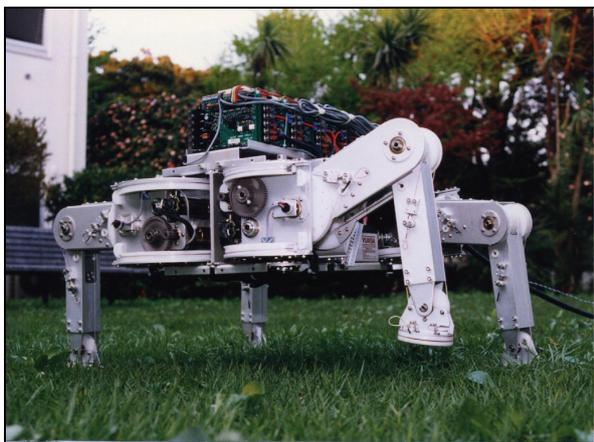


Рис.12. Titan 8. Япония



Рис.13. Lauron 3, Lauron 4. Германия

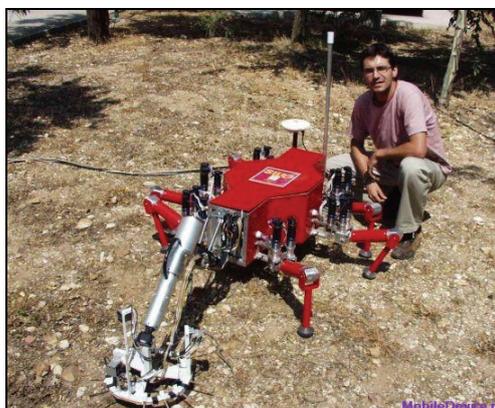


Рис.14. Silo 4 (четырёхногий) и Silo 6 (шестиногий). Испания

4. Современные шагающие машины России.

Существенно иное направление имеют работы по многоногим шагающим роботам в России в Волгоградском государственном техническом университете (ВолгГТУ). Здесь создаются машины с так называемыми цикловыми механизмами шагания и машины с оригинальными ортогональными приводами движителей. Примером таких разработок может служить шагающая машина "Восьминог", показанная на рис.15. В этой разработке механизмы шагания также построены на идее лямбда-механизмов Чебышева, поэтому цикл шагания фактически создается механическим устройством ноги. Возможно, это несколько ограничивает адаптационные возможности машины, но ее бесспорным преимуществом является значительная простота системы управления и весьма высокая опорная проходимость машины. Машина способна двигаться и работать на очень слабых грунтах, как показывает правый рисунок на рис.15.



Рис.15. Машина "Восьминог" ВолгГТУ. Волгоград

Еще одно направление работ ВолгГТУ – машины с ортогональными шагающими движителями. На рис.16 показан малый макет восьминогного робота с ортогональными приводами (характерный размер машины – 1 м). Двигатель организован как два субмодуля с четырьмя опорами каждый и для реализации поворота машины эти субмодули могут поворачиваться друг относительно друга.



Рис.16. Робот с ортогонально-поворотным движителем. ВолгГТУ. Волгоград

Система управления для этой машины разрабатывается в ИПМ им. М.В. Келдыша РАН.

Как развитие этих исследований в ВолгГТУ выполняется проект по созданию большой шагающей машины с 4-мя спаренными ортогонально-поворотными движителями общим весом 2 т и грузоподъемностью до 1 т (рис.17). В настоящее время завершено изготовление машины, начаты интенсивные работы по программированию ее системы управления.



Рис.17. Шагающая машина "Ортоног". Волгоград

5. Заключение.

В заключение следуя [1,2] сделаем следующее резюме. Шагающий способ представляет основной интерес для движения по заранее неподготовленной местности с препятствиями. Традиционные колесные и гусеничные транспортные машины оставляют за собой непрерывную колею, тратя на это значительно большую энергию, чем в случае передвижения шагами, когда взаимодействие с грунтом происходит только в местах упора стопы. Помимо этого шагающий способ передвижения обладает и большей проходимостью на пересеченной местности вплоть до возможности передвигаться прыжками, преодолевать препятствия и т.п. При шагающем способе меньше разрушается грунт, что, например, важно в тундре. При движении же по достаточно гладким и подготовленным поверхностям этот способ уступает колесному в экономичности, скорости передвижения и простоте управления.

Говоря о проблемах, решение которых не завершено, укажем следующие. Одной из проблем, которой уделяется существенное внимание при проектировании мобильных шагающих аппаратов, является уменьшение необходимой мощности источников питания и сокращение затрат энергии. Другими словами, необходимо повысить к.п.д. многоногих механизмов, т.е. уменьшить потребляемую мощность и повысить развиваемую мощность. В самом деле, если учесть, что в общем случае каждая из конечностей имеет две-три степени подвижности и управление каждой из степеней сопряжено с определенными затратами энергии, то очевидно, что сравнение шагающих и колесных транспортных средств по к.п.д. будет далеко не в пользу первых. В связи с этим, по-видимому, главная цель, к достижению которой должны стремиться исследователи сегодня, заключается в создании экспериментальных шагающих аппаратов, способных на практике продемонстрировать сочетание высоких функциональных возможностей с достаточно большой развиваемой мощностью при сниженных затратах энергии.

Потребности в мобильных роботах специального назначения, например в роботах для обслуживания ядерных реакторов, на стройках, или для тушения пожаров и выполнения технических работ на пожарах, будут возрастать. Важным перспективным направлением является создание машин для северных регионов. Отдельное важнейшее направление – создание новых перспективных планетных роверов. Следует добавить, что, по всей вероятности, эти потребности будут удовлетворяться, прежде всего, за счет шагающих аппаратов с шестью конечностями.

В докладе представлен обзор дан более подробно. Анализируются основные технические данные и особенности шагающих роботов.

Литература

1. Е.И.Юревич. Основы робототехники. Учебник для ВТУЗов. Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1985.
2. Электронный ресурс: [http://en.wikipedia.org/wiki/Walker_\(machine\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Walker_(machine))

Р.М. Юсупов, А.В. Тимофеев

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ И МУЛЬТИАГЕНТНОЙ НАВИГАЦИИ В ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ РОБОТОТЕХНИКЕ/

R. Yusupov, A. Timofeev

DEVELOPMENT FOR THEORY OF INTELLIGENT SYSTEMS FOR MOTION CONTROL AND MULTI-AGENT NAVIGATION IN EXTREME ROBOTICS

СПИИРАН, Санкт-Петербург /

Saint-Petersburg Institute for Informatics and Automation (Russian Academy of Sciences)

spiiran@iiias.spb.su, tav@iiias.spb.su

Введение

В последние годы в России и за рубежом значительное внимание уделяется исследованию проблем интеллектуализации локальных систем управления роботов и разработке стратегий мультиагентной навигации и управления движением сложных робототехнических систем (РТС) т.е. группы (коллектива) роботов, объединенных общей (глобальной) целью. В связи с бурным развитием систем навигации и управления движением мехатронных роботов как подвижных агентов с элементами искусственного интеллекта и необходимостью организации их коллективной работы возникла потребность создания основ теории мультиагентных робототехнических систем (МАРС). Такие МАРС объединяют группу агентов-роботов (например, мобильных роботов или беспилотных

летательных аппаратов) для достижения общей (глобальной) цели в динамической среде с препятствиями или запретными зонами и возможным противодействием.

Фундаментальные и поисковые исследования в области адаптивного и интеллектуального управления роботами и РТС активно проводились в России в ряде научных школ (МГТУ, СПИИРАН, СПбГУ, МГУ, МИРЭА, НИИ МВС, ЦНИИ РТК, ИПМ РАН и др.), начиная с 60-х годов XX века. Важная роль в становлении и развитии этих исследований принадлежит академикам И.М.Макарову, Д.Е.Охочимскому, Е.П.Попову, Г.С.Поспелову и Ф.Л.Черноусько, членам-корреспондентам РАН В.А.Якубовичу, Р.М.Юсупову, В.А.Лопоте, Г.Г.Сербрякову, Е.Д.Теряеву и И.А.Каляеву, а также профессорам Е.И.Юревичу, В.М.Лохину, А.В.Тимофееву и др.

Проблемы и методы адаптивной навигации и интеллектуального управления движением роботов, а также задачи группового управления РТС обсуждались на ряде Международных и Российских конференций, проведённых в последние десятилетия в России, в том числе на 2-х Международных конференциях “Мехатроника и робототехника”, 15-и конференциях “Экстремальная робототехника”, 7-и конференциях “Мехатроника, автоматизация, управление”, 6-и конференциях “Управление и информационные технологии” и 3-ех Мультиконференциях по проблемам управления.

Параллельно в России проводились поисковые исследования и опытно-конструкторские разработки по созданию интегрированных систем навигации и управления движением объектов различного типа и назначения (в основном для экстремальных сред и частично неопределённых условий эксплуатации подвижных объектов и роботов). Достижения специалистов из России и зарубежный опыт в этой области обсуждались на 18-ти Международных конференциях по интегрированным навигационным системам, организованных ЦНИИ «Электроприбор», и на XXXII-х научных сессиях Международной академии навигации и управления движением, президентом которой является академик В.Г. Пешехонов.

Первый международный проект по исследованию МАРС на тему “Multi-Agent Robot Systems for Industrial Applications in the Transport Domain” был выполнен в 1997–1999 годах по Европейской программе COPERNICUS. Координатором этого проекта был Prof., Dr.–Ing. U.Rembold (University of Karlsruhe, Department of Computer Science, Institute for Process Control and Robotics, Germany), а его участниками –

Saint-Petersburg Institute for Informatics and Automation of Russian Academy of Sciences (Russia), Unite de Recherche INRIA Rhone–Alpes (France), Technical University of Budapest (Hungary), Technical University of Poznan (Poland), Belorussian State University (Belarus), Ufa State Aviation Technical University (Russia), Daimler-Benz AG (Germany), Beta Computer Automation GMBH (Germany).

Развиваемые в настоящей работе новые информационные и телекоммуникационные технологии и интеллектуальные системы навигации и управления движением для МАРС в значительной степени базируются на оригинальных научных результатах поисковых и ориентированных фундаментальных исследований, полученных в последние годы при поддержке грантов Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), РФФИ и ГФЕН Китая, программ Президиума РАН и государственных заказов Министерства образования и науки РФ.

Основные этапы развития теории и научные результаты авторов можно представить следующим образом:

- теория чувствительности и самонастраивающиеся системы [1]’;
- теория адаптивного управления программным движением [2–11];
- принципы интеллектуализации систем адаптивного управления [12–15];
- методы функциональной диагностики и распознавания образов [16–19];
- методы мультиагентной навигации и интеллектуального анализа информационных потоков [20–23].

В докладе обсуждаются основные этапы развития теории интеллектуализации и интеграции систем адаптивного управления движением и мультиагентной навигации мехатронных роботов в экстремальных условиях и средах. При этом излагаются только те научные результаты, которые непосредственно получены авторами [1–23].

Приложения предложенной теории тесно связаны с экстремальной робототехникой, а именно с космической робототехникой (луноход с бортовым манипулятором с шаговыми приводами, космический манипулятор для орбитальной станции), нейрохирургическими манипуляторами и роботами, подводными роботами и антитеррористическими роботами (одноосные двухколёсные роботы для разведки и разминирования местности).

1. Глобальная управляемость и оптимизация программных движений робототехнических систем

Рассмотрим некоторую робототехническую систему (РТС) S , состоящую из m роботов $r_i, i = 1, 2, \dots, m$. Обычно роботы и РТС функционируют в динамической среде E с препятствиями или запретными зонами $O_j \in E, j = 1, 2, \dots, q$. В роли динамических препятствий для одних роботов r_i из РТС S могут выступать другие роботы $r_j, j \neq i$.

РТС будем называть гомогенной, если она состоит из однотипных роботов (например, только из манипуляционных роботов). Сложную РТС будем называть гетерогенной, если она включает в себя несколько разнотипных роботов (например, манипуляционных и мобильных роботов) или разных гомогенных РТС меньшего масштаба, т.е. гомогенных РТС.

Архитектура гомогенных и гетерогенных РТС по существу является сетевой и территориально распределённой, т.е. включает в себя множество роботов, взаимодействующих между собой с помощью физических, сенсорных (информационных), управляющих и коммуникационных каналов прямой и обратной связи. Поэтому возникает потребность в разработке новых принципов сетевой организации, управления движением, навигации, обработки и передачи информации в сложных РТС в динамической окружающей среде с препятствиями или запретными зонами.

Необходимость в сетевом управлении и групповой навигации возникла прежде всего в глобальных инфотелекоммуникационных сетях (например, в Internet), в робототехнике и гибких автоматизированных производственных системах, а также в сложных автоматизированных системах вооружений (например, в стереоцентрических и мульти-агентных сетях оборонного назначения).

В сложных гомогенных и гетерогенных РТС под действием вектора управляющих воздействий

$$u(t) = \{u_i(t)\}_{i=1}^m, t \in [t_0, t_T], \quad (1)$$

каждый робот $r_i(u_i)$ может выполнить некоторый набор локальных технологических операций $l_j(r_i), j = 1, 2, \dots, p, p \geq m$, на заданном интервале времени $T = t_T - t_0$. В результате выполнения этих локально управляемых операций изменяются состояния как самой РТС $S(t)$, так и окружающей её среды $E(t)$.

Предположим, что эволюцию РТС $S(t)$ и окружающей среды $E(t)$ под действием вектора управления $u(t)$ формально можно описать дифференциальными уравнениями вида

$$\dot{S} = F(S, u, E), \quad S(t_0) = S_0, \quad (2)$$

$$\dot{E} = \Phi(S, E), \quad E(t_0) = E_0, \quad (3)$$

где F и Φ – некоторые операторы, а S_0 и E_0 – начальные состояния РТС и среды.

Общим (комплексным) динамическим состоянием РТС S и окружающую её среды E в текущий момент времени t будем называть вектор-функцию вида

$$x(t) = \begin{bmatrix} S(t) \\ E(t) \end{bmatrix}, t \in [t_0, t_T]. \quad (4)$$

Обычно на вектор группового управления (1) и состояний РТС и среды (4) наложены ограничения вида

$$u(t) \in Q_u \in R^m, \quad (5)$$

$$f(x(t)) \leq 0, t \in [t_0, t_T]. \quad (6)$$

Глобальная (общая) цель управления РТС заключается в том, чтобы синтезировать такой закон группового управления локальными технологическими операциями роботов $L = \{l_i(r)\}_{i=1}^p$, чтобы перевести РТС S и окружающую её среду E из заданного начального состояния в желаемое конечное (целевое) состояние, т.е. в процессе групповой навигации и управления должны быть выполнены граничные условия вида

$$x(t_0) = x_0, x(t_T) = x_T, \quad (7)$$

с учётом заданных ограничений на вектор управлений (5) и вектор состояний (6).

РТС (2) будем называть глобально управляемой в динамической среде (3), если существует закон группового управления (вообще говоря, зависящий от текущего состояния РТС и среды) вида

$$u_p(t) = U(t, x(t)) \in Q_u, t \in [t_0, t_T], \quad (8)$$

обеспечивающий выполнение граничных условий (7) с учетом ограничений (5) и (6). Соответствующее этому групповому уравнению (8) движение $x_p(t), t \in [t_0, t_T]$, будем называть программным движением (ПД) РТС $S(t)$ в динамической среде $E(t)$ с препятствиями или запретными зонами.

Среди множества групповых управлений (8) и ПД РТС можно выделить наилучшее (оптимальное) управление и соответствующее ему ПД. Для этого зададим некоторый интегральный функционал качества групповых (мультиагентных) ПД вида

$$K(x_p) = \int_{t_0}^{t_T} \psi(x_p(t), \dot{x}_p(t)) dt. \quad (9)$$

Тогда оптимальным ПД $x_p^{opt}(t), t \in [t_0, t_T]$, и соответствующим ему оптимальным групповым управлением $u_p^{opt}(t)$ будем называть то ПД и закон управления РТС, при которых достигается экстремум функционала качества (9), т.е.

$$K(x_p^{opt}) = \min K(x_p), t \in [t_0, t_T]. \quad (10)$$

Следует отметить, что критерии глобальной управляемости мехатронных роботов с нелинейной динамикой сформулированы в [11,16]. Методы аналитического синтеза и оптимизации ПД мехатронных роботов, обеспечивающие выполнение граничных условий (7) с учётом заданных ограничений на векторы управлений (7) и состояний (8) при наличии препятствий предложены в [3,5,7–11].

2. Устойчивость, стабилизация, декомпозиция и синхронизация программных движений роботов

Предположим, что программное движение (ПД) РТС $x_p(t), t \in [t_0, t_T]$, и соответствующий ему закон программного управления (8), удовлетворяющие граничным условиям (7) и ограничениям (5) и (6), существуют. Тогда ПД называется практически (или асимптотически) устойчивым по отношению к начальным возмущениям $e(t_0) = x_0 - x_p(t_0)$ (или, возможно, к другим возмущениям), если существует закон группового (мультиагентного) управления роботами (8) такой, что в замкнутой этим управлением РТС и окружающей её динамической среде выполняются условия вида

$$\|e(t)\| - \|x_p(t) - x(t, u)\| \leq \varepsilon, \quad t \geq t_p \geq t_0, \quad (11)$$

где $\varepsilon \geq 0$ – параметр, определяющий желаемую точность осуществления ПД, а $T_p = t_p - t_0$ – время переходного процесса. Очевидно, что для достижения цели управления (11) должно выполняться условие

$$t_p \leq t_T. \quad (12)$$

Закон группового (мультиагентного) управления РТС (8), обеспечивающий выполнение целевых условий (10), (11), будем называть стабилизирующим. Этот закон управления является декомпозирующим, если целевые условия выполняются независимо для каждого робота из РТС, т.е. $e_i(t)$ не зависит от $e_j(t), j \neq i$. Это означает, что локальное управление каждым роботом r_i осуществляется независимо от локального управления другими роботами $r_j, j \neq i$, с компенсацией возможных перекрёстных динамических связей между роботами РТС.

В некоторых случаях (например, на конвейерах) от закона группового управления требуется обеспечить полную или частичную синхронизацию движений различных роботов из РТС. В этих случаях целевые условия (11) приобретают вид

$$\|e_{ij}(t)\| - \|x_{p,i}(t) - x_j(t, u_j)\| \leq \varepsilon_{ij}, \quad i \neq j, \quad t \geq t_{p,ij}. \quad (13)$$

Возникают также задачи группового (мультиагентного) управления роботами, связанные с достижением консенсуса (consensus), когда каждый робот из РТС стремится, чтобы его ПД было близко к ПД своих соседей, или рандеву (rendezvous), когда все роботы и РТС должны попасть в заданное состояние в заданный момент $T = t_T - t_0$.

Следует отметить, что для локальных систем навигации и управления движением мехатронных роботов с нелинейной динамикой законы стабилизирующего, модального (спектрального) и декомпозирующего управления были предложены ранее в [4,5,9–11,16–18].

3. Четыре поколения систем навигации и управления движением роботов

В работах [6,10,17] была предложена классификация локальных систем навигации и управления движением (СНУД) роботов на четыре класса (поколения):

- 1) программные СНУД;
- 2) адаптивные СНУД;
- 3) интеллектуальные СНУД;
- 4) нейросетевые СНУД.

Программные СНУД роботов основаны на классических принципах программного или оптимального управления движением, если модель динамики роботов или РТС (2) полностью известна, а среда (или связанные с ней возмущения) известны и неизменны, т.е. в модели динамики среды

$$\dot{E} = 0, E = S, t \in [t_0, t_T] \quad (14)$$

Адаптивные СНУД базируются на современных принципах робастного или адаптивного управления, когда модель динамики РТС (2) и среды E (или связанных с ней возмущений) (3) частично неизвестны. В этом случае программные СНУД дополняются специальными средствами адаптации или идентификации факторов неопределённости или нестационарности, к числу которых можно отнести неизвестные возмущения или препятствия [3–5, 9–11, 17].

Интеллектуальные СНУД дополняются не только средствами адаптации, но и некоторыми элементами (алгоритмами) искусственного интеллекта (например, способностью распознавать речевые команды или идентифицировать неизвестные препятствия). Как правило, эти элементы искусственного интеллекта описываются логическими, алгебраическими и нечёткими алгоритмами. Поэтому они могут быть программно реализованы на традиционных микропроцессорах и компьютерах [9–18].

Нейросетевые СНУД основываются на обучении, самоорганизации и распараллеливании процессов обработки информации, навигации и управления на нейронных сетях или нейрокомпьютерах [10, 22]. В этом заключается их основное отличие и преимущество по сравнению с СНУД роботов первых трёх поколений.

4. Стратегии централизованного, децентрализованного и мульти-агентного управления робототехническими системами

Важно отметить, что роботы редко используются изолированно. Обычно они входят в состав РТС и предназначены для группового (коллективного) выполнения некоторой сложной общей (глобальной) задачи, которую каждый робот самостоятельно (автономно) решить не может.

Сложная гетерогенная РТС может включать в себя десятки или сотни роботов или гомогенных РТС, функционирующих в динамической среде с препятствиями. В связи с этим важное значение приобретают проблемы системного (сетевого) анализа и синтеза интегрированных систем групповой навигации, управления движением и обработки сенсорной информации. Однако проектирование и создание интегрированных систем невозможно без организации и координации взаимодействия роботов в РТС с помощью коммуникационной сети [19–23].

Математической моделью такой, вообще говоря, динамической коммуникационной сети РТС может служить коммуникационный граф вида

$$G(t) = \{R(t), C(t), W(t)\}, t \in [t_0, t_T] \quad (15)$$

где R – множество узлов, соответствующих локальным системам навигации, управления движением и обработки информации роботов $r_i, i = 1, 2, \dots, n$, C – множество каналов связи между ними, а W – множество весов (например, длина или пропускная способность) каналов связи.

В процессе решения общей (глобальной) задачи структура и параметры РТС могут изменяться (например, некоторые роботы или каналы связи между ними могут выйти из строя). Тогда будут изменяться структура (топология узлов и каналов связи) или параметры (веса) коммуникационного графа (15). Этот граф характеризует информационное взаимодействие между роботами r_i из РТС $S(t)$. Поэтому его структура тесно связана со стратегией группового управления ПД роботов и РТС (8), обеспечивающей достижение общей (глобальной) цели управления.

Первоначально (начиная с 60-х годов XX века) стратегии группового управления роботами в РТС разделялись на два класса:

- стратегии централизованного (глобального) управления РТС из общего командного центра;
- стратегии децентрализованного управления, основанные на локальном управлении каждым роботом из РТС.

Преимущества стратегии централизованного (глобального) управления РТС заключаются в простоте иерархической организации и программно-аппаратной реализации систем группового (в том числе оптимального) управления. Однако её недостатки проявляются в низкой живучести (надежности) и возможности искажений и временных задержек при передаче команд программного управления от верхнего уровня иерархии к нижнему.

Преимущества стратегии децентрализованного (локального) управления роботами из РТС заключаются в высокой локальной производительности (малом времени принятия локальных решений) и параллелизме локального управления роботами, а также в повышенной живучести

(надёжности) РТС. В тоже время ей свойственны такие недостатки, как повышенные требования к надёжности узлов и каналов информационной связи между роботами и невысокое качество группового управления РТС, т.к. даже из локальной оптимальности управления отдельными роботами, вообще говоря, не следует глобальная оптимальность управления РТС в целом.

Сравнительный анализ преимуществ и недостатков традиционных стратегий централизованного и децентрализованного управления территориально распределённых РТС привёл к необходимости разработки (начиная с 90-х годов XX века) новой гибридной (смешанной) стратегии мульти-агентного управления РТС на современном уровне развития робототехники, мехатроники и инфотелекоммуникационных технологий [19–23]. Этот уровень развития характеризуется всё более широким внедрением роботов с интеллектуальным и нейросетевым управлением, глобальных систем навигации типа ГЛОНАСС и (или) GPS и инфотелекоммуникационных систем типа Internet и Grid.

5. Принципы интеграции систем навигации и управления движением в мульти-агентных робототехнических системах

В современной робототехнике и мехатронике, а также в информационных технологиях навигации и теории управления движением, существует ряд проблем, связанных с проектированием, созданием и интеграцией систем адаптивной (локальной) и мульти-агентной (групповой) навигации, функциональной диагностики и интеллектуального управления движением мобильных роботов в динамической среде с известными или неизвестными препятствиями. Некоторые из этих проблем, а также перспективные подходы и новые методы их решения рассмотрены в [10–23]. Рассмотрим принципы проектирования интегрированных систем мульти-агентной навигации и интеллектуального управления движением мобильных роботов и РТС.

Мобильный робот рассматривается как интеллектуальный подвижный мехатронный агент, имеющий на борту [6,10]:

- сенсорную систему датчиков внутренней и внешней информации;
- интеллектуальную систему навигации и управления движением;
- двигательную систему с традиционным (например, гусеничным или четырёхколёсным) или нетрадиционным (например, с одноосным двухколёсным или ползающим, т.е. перемещающимся по поверхностям произвольной ориентации) шасси;
- коммуникационную систему для информационного взаимодействия с человеком-оператором и другими роботами-агентами.

Важными задачами при создании мобильных мехатронных роботов как подвижных агентов МАРС является интеллектуализация бортовых интегрированных систем навигации и управления движением, обеспечивающая возможность автоматического планирования и оптимизации движений для обхода известных или неизвестных препятствий, адаптации к динамическим факторам неопределённости (например, к возмущениям и неизвестным подвижным препятствиям) и к возможным дефектам или отказам, распознавания образов (например, стерео-изображений препятствий), моделирования и анализа сложных 3-D сцен и диагностики состояний мобильного робота-агента в реальном масштабе времени [9–23].

Новые актуальные проблемы возникают при групповом (коллективном) использовании мобильных мехатронных роботов-агентов в составе МАРС для решения общей (глобальной) задачи. Группа (коллектив) мобильных мехатронных роботов-агентов, объединённых общей (глобальной) целью и функционирующая в едином информационном и коммуникационном пространстве на базе соответствующих стандартов, команд и форматов передачи потоков данных, называется мобильной МАРС.

Ключевыми проблемами при создании интегрированных систем навигации и управления движением мобильных МАРС являются [19–23]:

- декомпозиция общей (глобальной) задачи, возлагаемой на группу (коллектив) мобильных роботов, на ряд локальных задач для каждого робота-агента,
- мульти-агентное (групповое) планирование маршрутов движения и навигация мобильных роботов-агентов в динамической среде с известными или неизвестными препятствиями,
- функциональная диагностика и отказоустойчивое управление движением мобильных роботов-агентов,
- интеллектуализация и интеграция систем навигации и управления движением на базе бортовых средств распознавания сложных образов (мульти-изображений, речевых команд и т.п.) и мобильных навигаторов (спутниковые системы ГЛОНАСС и GPS и т.п.) в составе мобильных МАРС.

Важными задачами являются также организация интеллектуального человеко-машинного интерфейса и комплексирование перспективных решений этих проблем для создания

интегрированных систем мульти-агентной навигации и интеллектуального управления движением мобильных роботов как агентов МАРС в экстремальных условиях и средах.

Заключение

Актуальность проведённых исследований связана с повышенным интересом во всём мире к интеллектуальным мехатронным роботам как подвижным агентам и мобильным МАРС ввиду их способности автоматически функционировать под контролем человека как в традиционных отраслях производства (машиностроение, приборостроение, микроэлектроника и т.п.), так и в нетрадиционных областях и экстремальных средах (космическая и подводная робототехника, атомная энергетика, ликвидация техногенных аварий и террористических угроз и т.п.). Следует отметить, что круг задач, решаемых мехатронными роботами-агентами и мобильными МАРС, непрерывно расширяется и усложняется (необходимость эффективно работать в экстремальных средах в условиях неопределённости или противодействия при наличии препятствий или запретных зон и т.п.).

Большую научную значимость и актуальность имеют поисковые исследования в области создания интегрированных систем мульти-агентной (групповой) навигации и интеллектуального управления движением мехатронных роботов-агентов и мобильных МАРС в динамических (изменяющихся) средах с препятствиями. Сегодня этим инновационным исследованиям и опытно-конструкторским разработкам во всём мире уделяется приоритетное внимание.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ № 09-08-00767-а "Моделирование поведения и анимация движений подвижных агентов" и РФФИ-ГФЕН Китая № 10-08-91159-ГФЕН-а "Исследование научных проблем интеллектуального управления магистральными транспортными средствами и мобильными роботами" и Программы № 13 "Проблемы создания национальной научной распределённой информационно-вычислительной среды на основе развития GRID-технологий и современных телекоммуникационных сетей" Президиума РАН.

Литература

1. Розенвассер Е.Н., Юсупов Р.М. Чувствительность систем управления. – М.: Наука, 1981.
2. Тимофеев А.В., Якубович В.А. Об одном классе адаптивных моделей человека-оператора в системах управления. – Автоматика, 1974, № 1.
3. Тимофеев А.В., Якубович В.А. Адаптивное управление программным движением роботоманипулятора. – Вопросы кибернетики. Адаптивные системы. – М.: АН СССР, 1976.
4. Тимофеев А.В. Оптимальные алгоритмы адаптивного управления программным движением и оценки времени адаптации. – В кн.: Синтез регуляторов в задачах адаптивного управления. – М.: АН СССР, 1977.
5. Тимофеев А.В. Принципы и алгоритмы построения адаптивных систем управления роботом. – Робототехника, 1977.
6. Тимофеев А.В. Роботы и искусственный интеллект. – М.: Наука, 1978.
7. Тимофеев А.В. Адаптивное управление робототехническими системами на базе микропроцессоров и микро-ЭВМ. – В кн.: Микропроцессорные системы управления в робототехнике (Под ред. Макарова И.М.) – М.: Наука, 1984.
8. Тимофеев А.В., Юревич Е.И., Макарычев В.П. Динамика управления роботом. – М.: Наука, 1984.
9. Тимофеев А.В. Адаптивное и интеллектуальное управление роботами. – Изв. вузов СССР. Приборостроение, 1988.
10. Тимофеев А.В. Адаптивные робототехнические комплексы. – Л.: Машиностроение, 1988.
11. Тимофеев А.В. Управляемость, стабилизируемость, наблюдаемость, идентифицируемость моделей роботов и проектирование адаптивных систем управления. - Международный журнал "Проблемы машиностроения и автоматизации", № 4, (34), 1990, с. 10-16.
12. Timofeev A.V., Yusupov R.M. Evolution of Intelligent Control in Adaptive Systems. - International Journal of Adaptive Control & Signal Processing, 1992, vol.6, pp. 193–200.
13. Тимофеев А.В., Юсупов Р.М. Интеллектуализация систем автоматического управления. - Известия АН. Техническая кибернетика, 1994, № 5.
14. Timofeev A.V. Intelligent Control and Operations Research for Multi-Agent Robot Systems- International Autonomous Systems. International Scientific Issue. – Karlsruhe, Ufa: USATU, 1998, pp.119-124.
15. Тимофеев А.В. Мульти-агентное и интеллектуальное управление сложными робототехническими системами. - Юбилейный сборник "Теоретические основы и прикладные задачи интеллектуальных информационных технологий", посвящённый 275-летию РАН и 20-летию СПИИ РАН-СПб.: СПИИРАН, 1999, с.71-81.
16. Тимофеев А.В. Управляемость, робастность и инвариантность обратимых динамических систем с нелинейной динамикой. – Доклады АН, 1988, т. 359, № 2, с. 171–174.

17. Тимофеев А.В. Управление роботами – Л.: Изд. ЛГУ, 1985, 217 с. [18]. Тимофеев А.В. Методы высококачественного управления, интеллектуализации и функциональной диагностики автоматических систем. – Мехатроника, автоматизация, управление, 2003, № 5.
18. Тимофеев А.В. Мульти-агентное управление коллективом роботов. - Проблемы информатизации, 2000, Выпуск 1, с. 70-77.
19. Timofeev A.V., He Hagen, Wu Tao. A New Method of Vision Based Obstacle Detection for Navigation and Motion Control of Mobile Robots. - Proceedings of 11-th Saint-Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems (Saint-Petersburg, May 24-26, 2004), vol. N1, pp.57–58.
20. Тимофеев А.В., Кай З., Хе Х. Навигация и управление движением роботов в неизвестной среде. – Гирроскопия и навигация № 3, 2004. № 2 (45), с. 13–24.
21. Тимофеев А.В. Мульти-агентные робототехнические системы и нейросетевые технологии. - Известия ЮФУ. Технические науки. Перспективные системы и задачи управления. 2010, №3, с. 20-23.
22. Тимофеев А.В., Юсупов Р.М. Принципы построения интегрированных систем мульти-агентной навигации и интеллектуального управления мехатронными роботами. - Information Technologies & Knowledge, ITNEA, 2011, vol. 5, Number 2, pp. 237–244.

Л.А. Станкевич, Е.И. Юревич
РАЗУМНЫЕ РОБОТЫ – БУДУЩЕЕ РОБОТОТЕХНИКИ /
L. Stankevich, E. Yurevich
INTELLIGENT ROBOTS AS FUTURE OF ROBOTICS

СПбГПУ; ГНУ ЦНИИ РТК, Санкт-Петербург /
Saint-Petersburg State Polytechnic University; RTC, Saint-Petersburg
Stankevich_lev@inbox.ru; yurevich@rtc.spbstu.ru

Введение

Из многих тенденций и направлений развития робототехники наиболее фундаментальной проблемой является необходимость совершенствования степени целесообразности, разумности поведения роботов.

Возможны два пути решение этой проблемы: (1) соответствующее совершенствование современных компьютерных средств и (2) техническое воспроизведение функционирования головного мозга человека. Оба направления возникли примерно одновременно. Первое началось с провозглашения идеи «универсального решателя задач» (General Problem Solver - GPS) и продолжилось созданием нового поколения компьютеров, включая японский проект ЭВМ 5-го поколения, направленный на развитие суперкомпьютеров, способных использовать методы искусственного интеллекта, основанные на базах знаний, для решения любых задач без программирования.

Второе направление началось с перцептрона Ф. Розенблата и развивается в рамках искусственного интеллекта путем создания на основе исследований физиологов и психологов технических аналогов структура мозга (нейронные сети, ассоциативная память) и отдельных его частей (мозжечок, гиппокамп, отделы коры мозга).

Несмотря на впечатляющие успехи первого направления, представляется сомнительным, что наряду с прогрессирующим ростом вычислительных возможностей компьютеров можно выйти на уровень интуитивного в основном подсознательного мышления человека, которое до сих пор остается «вещью в себе».

Что касается второго бионического направления, то его перспективность заключается в следующем. Несмотря на таинственность работы нашего мышления, нам понятно как оно возникло в процессе эволюционного развития человека. Поэтому представляется возможным попытаться повторить этот процесс на техническом аналоге живого существа в виде робота, обладающего необходимым для этого двухсторонним информационным и силовым взаимодействием с внешней средой. Создав такой аналог на том интеллектуальном уровне, который в настоящее время достигла робототехника, и, введя в него стимул (потребность) самоусовершенствования в ходе конкретной профессиональной деятельности (сварка, сборка, охраны и пр.), можно запустить процесс эволюционного развития этого робота, совершенствования его профессионального мышления.

Рассмотрение возможностей реализации этого направления начнем с анализа выполненных соответствующих исследований.

Первые исследования и разработки по созданию интеллектуальных роботов были выполнены в рамках указанного «компьютерного» направления, основанном на вербальной информации и использовании знаний. Сюда относятся так называемые интегральные роботы подобные «Шейки» (1966-1977 г.г., Стенфордский институт, США) и нашему «ЛПИ-3», затем гуманоидные и современные интеллектуальные роботы.

В научном плане новым результатом этих работ стало возникновение информационной когнитивной теории мозга и когнитивной робототехники. Их суть в развитии искусственного интеллекта в направлении создания систем, способных обучаться и накапливать знания в процессе функционирования, т.е. «умнеть».

Работы в области искусственного интеллекта роботов явились первым значительным шагом в техническом освоении разума человека, освоении его вербального (символьного) мышления левого полушария головного мозга, основанного на формализуемых знаниях.

Впереди была значительно более сложная проблема освоения образного мышления правого полушария головного мозга. Шагом в этом направлении можно считать исследования по когнитивному искусственному интеллекту. Известно, что основной объем мышления человека составляет образное в основном подсознательное мышление правого полушария, которое включает и творческое начало мышления (креативность). Техническое освоение этой части мышления можно считать третьим шагом в создании полноценного искусственного разума.

Фундаментальная проблема науки и техники в развитии человеческой цивилизации – создание искусственного разума – впервые обозначилась в работе [1] и была развита в последующих работах [4]. Современный уровень микро- и нанотехнологий позволяет считать эту задачу в отношении аппаратной реализации вполне реализуемой. Количество гипотетических компонентов искусственного разума, соответствующее численности нейронов в головном мозгу человека, уже сегодня могут уместиться в дипломате средних размеров.

Рассматриваемый бионический подход к созданию искусственного разума, очевидно, должен быть основан на создании искусственной нервной системы, подобной по функциям и поведению нервной системе человека. На рис. 1 показана гипотетическая структура системы управления разумного робота, сформированная на основании современных представлений о строении новой коры головного мозга человека. Система включает два информационных канала – канал освоенного вербального интеллектуального управления и канал, оперирующий образной информацией, являющейся основой творческих способностей человека. Оба канала как в живом организме действуют согласованно последовательно и параллельно, периодически передавая друг другу задачи в ходе их решения. Каждый канал имеет несколько (4-6) уровней последовательного обобщения входной информации с ее ассоциативным запоминанием, формированием моделей внешней среды, с ее анализом и принятием адекватных решений о поведении. Показанные на схеме функциональные блоки обоих каналов связаны по этим уровням. Внизу каждого блока указаны разработанные к настоящему времени методы их возможной реализации в области искусственного интеллекта, когнитивных и креативных систем. Пока эти реализации отработаны в основном только в вербальном варианте (построение гипотез, генерация моделей ситуаций, генетические и эволюционные алгоритмы и т.д.). Но креативные способности человека, определяемые правополушарным образным мышлением, остаются пока недоступными моделированию и техническому воспроизведению. Поэтому основным путем для их реализации должно стать эволюционное самоусовершенствование на базе представленной системы управления подобно тому, как это происходило в живой природе.

При формировании общей нейронной сети и составляющих ее функциональных локальных сетей могут оказаться полезными идеи и методы построения многоагентных сетей. В виде таких агентов могут быть реализованы и функции эволюционного самоусовершенствования.

Ассоциативность и самосовершенствование – два основополагающих качества естественного, а соответственно и искусственного разума. Последнее свойство воспроизводит процесс эволюционного развития живой природы. Однако сформированный в будущем в результате такого процесса искусственный разум, конечно, будет воспроизводить не полноценный разум человека, а только его часть, связанную с конкретным видом его профессиональной деятельности, т.е. это будет профессионально ориентированный искусственный разум. Соответственно и творческие способности будут реализованы только применительно к такому назначению имитацией необходимой при этом эмоциональной мотивации, как основы всякого творческого процесса. Важно заметить, что такой разумный робот будет, очевидно, свободен от проблемы «человеческого фактора». Это важное, а во многих случаях и определяющее дополнительное основание для замены человека таким роботом.

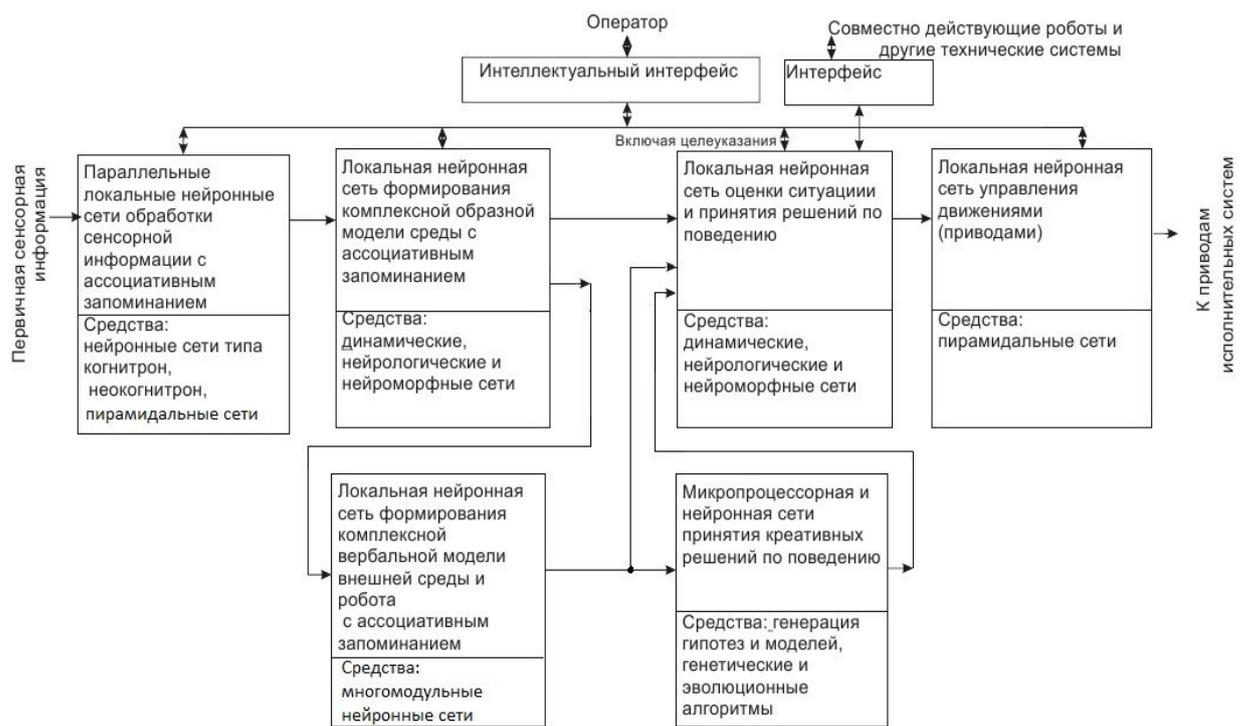


Рис. 1. Схема системы управления разумного робота

Проблема технической реализации процесса эволюционного самосовершенствования интенсивно изучается, в том числе и в теоретической робототехнике. Появились понятия «эволюционная робототехника», «искусственная эволюция». Эволюция разума робота предполагает его самосовершенствование и это длительный процесс развития робота. При этом естественно максимально используются знания об эволюционных закономерностях в живой природе и прежде всего в коре головного мозга человека и о роли при этом генетической информации.

Для реализации этого процесса нужны саморазвивающиеся компоненты типа онтогенных сетей нейроморфного типа. По существу они представляют собой новые типы искусственных нейронных сетей, в которых используются нейроны, отличающиеся от традиционных формальных нейронов большей близостью к естественным нейронам, включая, в частности, наличие своей ассоциативной памяти и способности к самоусовершенствованию. Такие сети подчиняются законам онтогенеза, т.е. их структура может расти в процессе эволюции.

Можно определить следующую последовательность реализации рассмотренной системы искусственного разума робота:

- создание нейронной структуры обработки образной сенсорной информации с ассоциативным распознаванием образов на новой элементной базе;
- реализация на такой же нейронной сети канала обработки вербальной информации с построением модели среды и принятия решений;
- объединение этих двух нейронных структур обработки образной и вербальной информации в совместно функционирующую единую многофункциональную информационную систему искусственного разума;
- разработка и реализация в этой системе алгоритмов самообучения и самосовершенствования.

В основе изложенной последовательности решения проблемы создания искусственного разума лежит, как отмечено, необходимость создания принципиально новой элементной базы в виде гетерогенной системы нового поколения искусственных клеток-нейронов существенно более близких естественным нейронам, чем современные формальные нейроны. Функции новых нейронов, их структура, как и структура и алгоритмы основанных на них нейронных сетей должны быть предварительно отработаны на компьютерных моделях. Однако их конечная реализация – это задача, очевидно, нанотехнологий.

Созданная таким образом система искусственного разума должна стать основой для разработок роботов различного назначения. Для этого помимо рассмотренных информационных систем неизбежно потребуются новые более совершенные манипуляционные и локомоционные исполнительные системы с соответствующими системами управления. Последние, очевидно, могут быть реализованы тоже в рамках общей нейронной структуры. Действительно, для разумных роботов

с их повышенными функциональными возможностями необходимы и соответствующие улучшенные исполнительные системы. Уже много лет в мире ведутся исследования по поиску принципиально новых приводов, по крайней мере не уступающих по своим характеристикам, включая и массогабаритные параметры, естественным мышцам (проблема искусственных мышц). Кардинальным путем ее решения является также создание новой элементной базы в виде элементарных двигательных микроэлементов из последовательно-параллельного соединения которых можно собирать искусственные мышцы структурно подобные естественным. Таким образом, такое решение этой проблемы сводится, как и проблема искусственного разума, к созданию гетерогенной системы искусственных двигательных клеток на общей нанотехнологической основе.

Все перечисленные выше этапы создания искусственного разума и разумных роботов должны быть предварительно исследованы и отработаны на существующей мини- и микроэлементной базе и вычислительной технике с созданием и отработкой моделей будущих разумных роботов.

Заметим, при этом, хотя выше предполагалось, что вся информационная система искусственного разума будет реализована на основе нейронной сети нового типа по аналогии с естественными нейронными системами, не исключается, что часть вербального канала может быть, по крайней мере, на первом этапе реализована в виде стандартной микропроцессорной сети, поскольку такое решение уже отработано и используется в современных технических системах.