

Раздел II. Управление, навигация и наведение

УДК 519.711

И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ КОНЦЕПЦИИ ПОСТРОЕНИЯ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Приводятся основные результаты работы по созданию мультиагентной робототехнической системы на базе интеллектуальных агентов, обосновывается математический аппарат и структура алгоритмов функционирования основных подсистем (человеко-машинный интерфейс, планирование действий агентов с учетом ограничений ресурсов, комплексной обработки информации). Эффективность предложенных решений подтверждается экспериментальными исследованиями.

Групповое управление; многоагентные системы; интеллектуальные роботы.

I.M. Makarov, V.M. Lohin, S.V. Manko, M.P. Romanov

THE MULTI-AGENT ROBOTIC SYSTEMS' CREATION CONCEPT: THE RESULTS AND THE EXPERIENCE IN BUILDING

The article show the main results of creating a multi-agent robotic systems, based on intelligent agents. The mathematical tools and main subsystems' (such as human-machine interface, planning agent's actions in case of resources shortage, complex information analysis) algorithms are justified. The suggested solutions efficacy is proved by experimental study.

Group control; multi-agent systems; intelligent robots.

Перспективы применения мультиагентных робототехнических систем (МАРС) охватывают широкий спектр прикладных областей, включая военное дело и специальные операции, поисково-спасательные и ремонтно-восстановительные работы, промышленное производство и гражданское строительство, освоение космического пространства, глубоководные изыскания и т.д.

Результаты поисковых научно-исследовательских работ, ведущихся в США и других развитых странах мира по созданию МАРС различных типов и назначения, начинают получать свое практическое воплощение не только в форме экспериментальных компьютерных моделей, но и в виде макетных, а в ряде случаев, и опытных образцов, которые успешно проходят тестовые испытания с постепенным переходом к стадии внедрения и последующей эксплуатации.

Весьма показательной является диаграмма, отражающая динамику повышения степени автономности наземных роботов военного назначения, разрабатываемых в США (рис. 1) [1].

Как видно, период разработки полуавтономных роботов по существу закончился на рубеже 2010 г. Если точнее, то следует говорить о завершении периода интеграции и комплексного тестирования всех основных подсистем таких роботов (включая оцувствление, навигацию, обучение и т.д.), целый ряд которых принят на вооружение армии США (рис. 2).

На период 2008–2014 гг. запланирована разработка и внедрение платформоцентрических автономных роботов наземного базирования, а на период 2014–2020 гг. – основных подсистем автономных роботов для работы в составе сетевых (мультиагентных) систем. Причем, к 2022 г. запланировано завершение работ по трем наиболее сложным проблемам: человеко-машинный интерфейс, планирование поведения и оцувствление (восприятие), под которым понимается не набор большого количества разнообразных датчиков, а система автоматического формирования модели окружающей среды. Полная интеграция всех подсистем и комплексные испытания предполагается завершить к 2024 г.

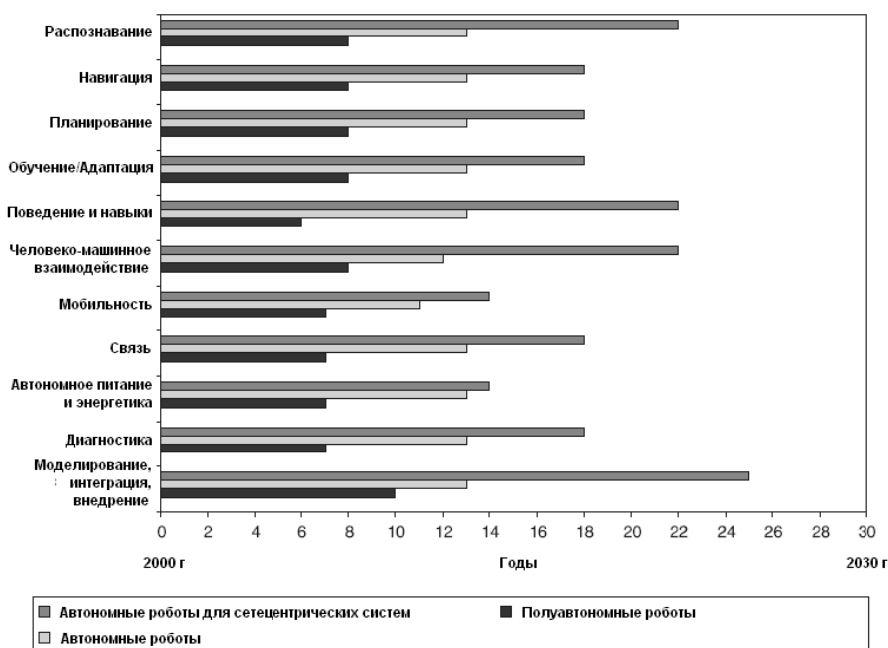


Рис. 1. Тенденции разработки роботов наземного базирования США

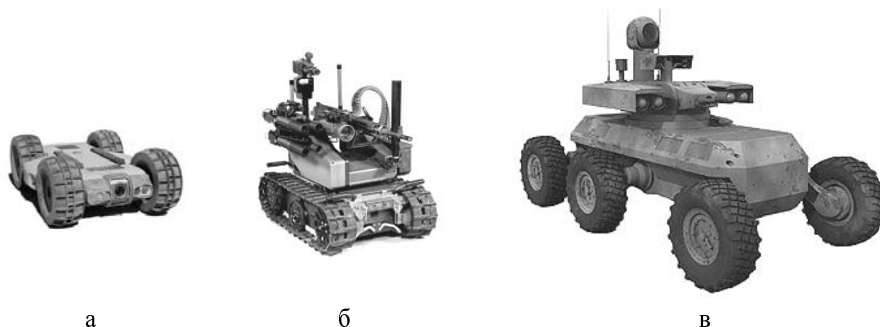


Рис. 2. Образцы робототехнических систем, принятых на вооружение армии США: а – «Dragon Runner» – полуавтономный мини-робот наблюдения и разведки; б – «Talon» – полуавтономный мини-робот для решения ударных, разведывательных и инженерно-обеспечивающих задач; в – Armed Robotic Vehicle XM1219 «Mule» – автономный робот среднего класса для решения ударных и разведывательных задач

Реальность воплощения такого плана подтверждается не только примерами создания конкретных образцов автономных роботов, но и примерами опытных образцов МАРС (рис. 3).

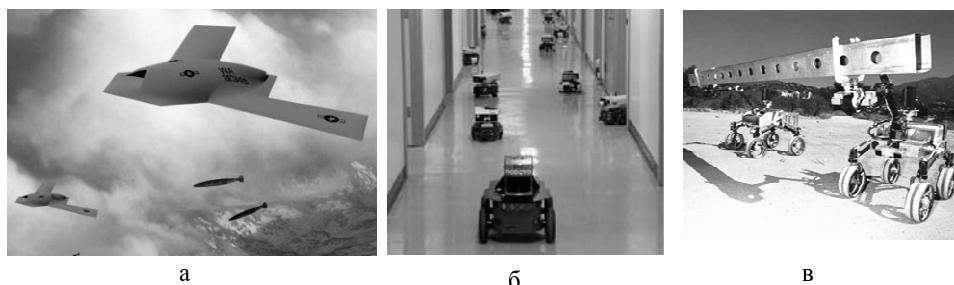


Рис. 3. Примеры опытных образцов МАРС: а – МАРС на базе ударных беспилотных летательных аппаратов X-45A (Boeing Integrated Defense Systems, USA); б – МАРС «Centibots» для картографирования помещений (SRI International (USA), Stanford University (USA), University of Washington (USA), ActivMedia (USA)); в – МАРС для переноса и монтажа крупногабаритных конструкций при строительстве инженерных сооружений на поверхности планет Солнечной системы на базе роботов-марсоходов (Jet Propulsion Laboratory, NASA, USA)

Следует подчеркнуть, что исследованию проблем и разработке технологий создания МАРС во всем мире уделяется приоритетное внимание, а реальные практические результаты, полученные, прежде всего, в США, ряде стран Европы и Японии, носят опережающий характер.

Даже на уровне поверхностного рассмотрения становится очевидным существование множества альтернативных подходов к построению МАРС. Такое положение вещей требует детального анализа возможных теоретических постановок задач группового управления роботами, а также адекватного выбора как математического аппарата для их решения, так и правильных технических путей для воплощения опытных образцов мультиагентных систем различных типов и назначения.

На сегодняшний день организация полномасштабных исследований по созданию МАРС в России может и должна осуществляться не только с точки зрения освоения передового зарубежного опыта, но и с позиций осмысления заделов, накопленных отечественной научной школой. В данной связи необходимо отметить, что результаты исследований и разработок, проводимых в этой области в течение многих лет в НИИ МВС ЮФУ (г. Таганрог), в МИРЭА (г. Москва), в СПИИ РАН (г. Санкт-Петербург), в ИПМ им. М.В. Келдыша (г. Москва) и ряде других научных центров страны, хотя и уступают по степени технологической завершенности достигнутым, например, в США, однако в теоретическом плане, по существу постановок и предлагаемых фундаментальных решений соответствуют современному мировому уровню.

Исходя из анализа специфики совместного решения сложных прикладных задач совокупностью исполнителей можно дать следующее определение МАРС: мультиагентной называется система, включающая в свой состав множество интеллектуальных агентов, объединяемых единством целей и функционирующих в едином информационном пространстве в соответствии с априорно выбранной архитектурой и схемой взаимодействия на основе единого стандарта команд и форматов передачи данных [2].

В соответствии с данным определением к фундаментальным основам построения МАРС необходимо отнести следующие ключевые принципы:

- ◆ единство целей функционирования агентов;

- ◆ адекватность интеллектуальных и функциональных возможностей агентов сложности решаемых задач;
- ◆ единство информационного пространства системы;
- ◆ детерминированность сетевой архитектуры, обеспечивающей поддержку единого информационного пространства системы;
- ◆ взаимная информационно-логическая совместимость агентов.

Основой концепции построения МАРС, развиваемой на кафедре «Проблемы управления» МИРЭА, является использование интеллектуальных роботов в качестве автономных агентов, способных обеспечить самостоятельное выполнение требуемых технологических операций или поставленных прикладных задач в реальных условиях, при воздействии различных факторов неопределенности и случайных возмущений внешней среды. В такой постановке проблема организации целесообразных взаимодействий между активными элементами в составе МАРС охватывает три важнейших составляющих:

- ◆ организацию развитого человекомашинного интерфейса, позволяющего обеспечить оперативную постановку общей прикладной задачи;
- ◆ планирование координированных действий агентов (исходя из анализа поставленной прикладной задачи, хода ее выполнения и имеющихся ресурсов) с последующим формированием и выдачей соответствующих заданий;
- ◆ обеспечение информационно-логического взаимодействия и совместимости агентов (как на уровне использования единых форматов представления и моделей обобщения данных, систем сообщений, команд и целеуказаний, так и на уровне технических каналов их передачи).

Имеющиеся результаты фундаментальных и прикладных исследований в области построения бортовых систем управления для наземных роботов мини- и микроклассов, малоразмерных беспилотных летательных аппаратов, малогабаритных подводных аппаратов (рис. 4) со всей убедительностью свидетельствуют об эффективности применения современных интеллектуальных технологий для обеспечения автономных режимов функционирования мобильных объектов различного вида базирования и назначения в условиях неопределенности [3].

В то же время примеры создания целого ряда конкретных образцов на практике доказали, что проблема разработки автономных роботов, оснащаемых интеллектуальной бортовой системой управления, может считаться принципиально разрешенной. Более того, стало очевидно, что даже интеллектуальная в малом бортовая система может обеспечить решение широкого спектра функциональных задач и достаточно высокий уровень адаптации агента к изменениям как параметров собственного состояния, так и внешней среды. Вместе с тем подключение контуров самообучения и прогноза может принципиально изменить надежность и качество функционирования автономного робота, обеспечивая на борту степень интеллектуальности в большом или целом [4]. Именно за счет реализации этих дополнительных способностей можно значительно увеличивать время эффективной самостоятельной работы агента с сохранением инвариантности к условиям неопределенности при решении общей прикладной задачи в составе МАРС.

Обобщение опыта, накопленного в МИРЭА в ходе проводимых исследований, позволило не только сформировать, но и апробировать конструктивные подходы к созданию ключевых подсистем МАРС (рис. 5):

- ◆ конструктивной основой для разработки интеллектуального человекомашинного интерфейса является аппарат фреймобразных структур, применение которого позволяет обеспечить оперативную постановку решаемой прикладной задачи на уровне макрокоманд [5];
- ◆ подсистема планирования действий и формирования заданий может быть построена на сочетании сценарного подхода (когда модели выполнения

различных прикладных задач представляются в виде древовидного графа, вершины которого соответствуют отдельным операциям или этапам, а дуги определяют их очередность) с его реализацией в виде набора взаимосвязанных конечных автоматов;

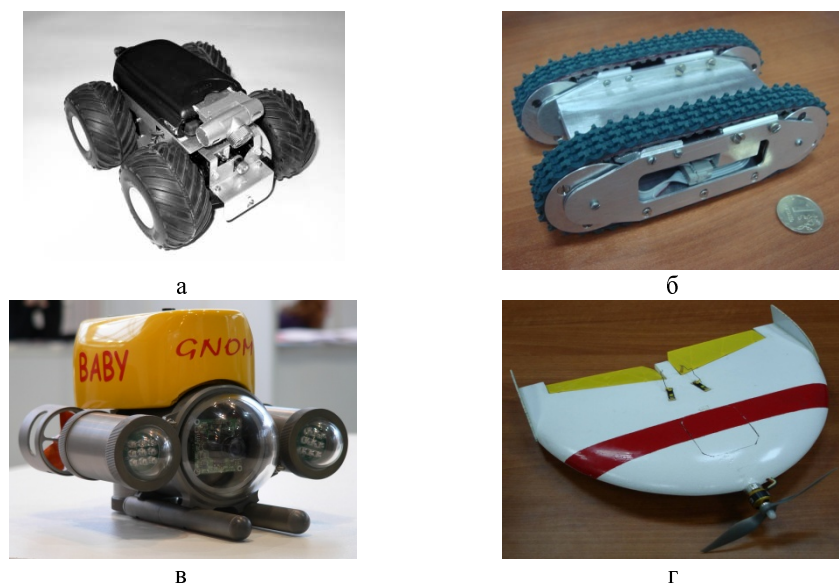


Рис. 4. Примеры опытных образцов автономных роботов с интеллектуальной бортовой системой управления, разработанных в МИРЭА: а – мобильные мини-роботы на колесном и б – гусеничном шасси; в – микроразмерный автономный подводный аппарат (совместная разработка с Институтом океанологии РАН им. П.П. Ширшова, г Москва); г – беспилотный летательный аппарат микрокласса

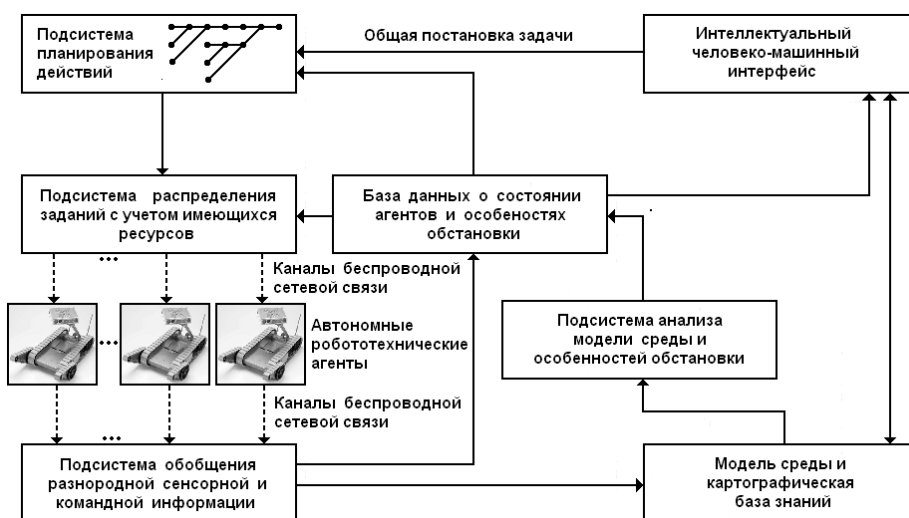


Рис. 5. Обобщенная функциональная структура MAPC

- ◆ при всем многообразии существующих альтернатив в организации подсистемы распределения заданий между исполнителями в настоящее время на первый план выходят простые, но эффективные алгоритмы многокритериальной оценки полезности, обеспечивающие решение задачи в реальном масштабе времени работы МАРС;
- ◆ что касается вопросов обобщения разнородной сенсорной информации, то необходимо отметить, что хотя данная тематика в ближайшее время будет представлять собой поле активной деятельности как для зарубежных, так и российских ученых, имеющиеся заделы позволяют создавать вполне работоспособные алгоритмы построения модели среды функционирования МАРС.

Согласно современным воззрениям, модель среды функционирования автономных роботов в общем случае должна иметь сложную внутреннюю структуру, включающую как минимум три уровня иерархии (рис. 6):

- ◆ интегрированных информационных полей, формируемых на основе интеграции однородных данных о пространственном или пространственно-временном распределении параметров среды (высот рельефа или сцены, интенсивности различного рода излучений и других величин, измеряемых роботом с помощью бортовых датчиков или передаваемых ему извне) и определяющих ее образ, представляемой в виде дополняющих друг друга различного рода карт местности, объемных моделей сцены и пр.;
- ◆ описания структуры среды с выделением объектов, явлений и событий, а также взаимосвязей между ними;
- ◆ действующих закономерностей общего и локального характера.

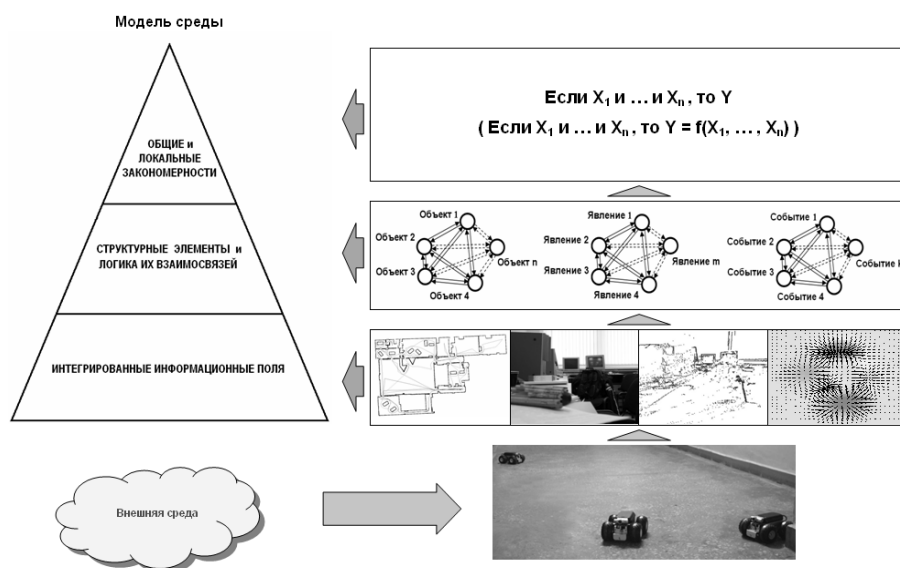


Рис. 6. Обобщенная структура модели среды функционирования автономных роботов и мультиагентных систем, построенных на их основе

Основные задачи этого направления связаны с необходимостью разработки методов и алгоритмов автоматического формирования модели среды на основе информации от автономных агентов, а также ее последующего анализа для выявления особенностей текущей обстановки, самообучения и формирования прогноза

развития событий. Совокупность этих задач составляет на сегодняшний день, вероятно, ключевую фундаментальную проблему на пути создания МАРС, актуальную как для зарубежных, так и российских специалистов.

Учитывая современные достижения в области беспроводной сетевой связи, можно рассматривать несколько вариантов организации взаимодействия агентов в составе МАРС:

- ◆ при централизованной архитектуре возможно применение технологии типа GPRS и вариантов ее развития 3G и 4G;
- ◆ при децентрализованной архитектуре предпочтительными являются MESH-сети, которые в отличие от Wi-Fi, WiMax, наиболее естественным образом соответствуют идеологии построения и применения МАРС, обеспечивая устойчивую передачу информации на значительно большие расстояния за счет использования отдельных элементов в качестве ретрансляторов.

Исследования в этой области показывают, что объем передаваемой информации существенно зависит от числа агентов и при увеличении размеров их группы даже с 10 до 50 времени задержки и количество коллизий в процессе передачи данных существенно возрастают. В то же время, следует отметить, что исходя из возможностей интеллектуальных агентов, нет никакой необходимости в обмене полным объемом накопленной информации, а ее передача может ограничиваться только лишь данными метауровня, необходимыми для восстановления полной картины при возникновении соответствующих потребностей.

Моделирование и экспериментальные исследования на реальных образцах автономных мехатронно-модульных мобильных мини-роботов в полной мере подтвердили обоснованность предложенной концепции построения МАРС и эффективность работы их основных подсистем (рис. 7).

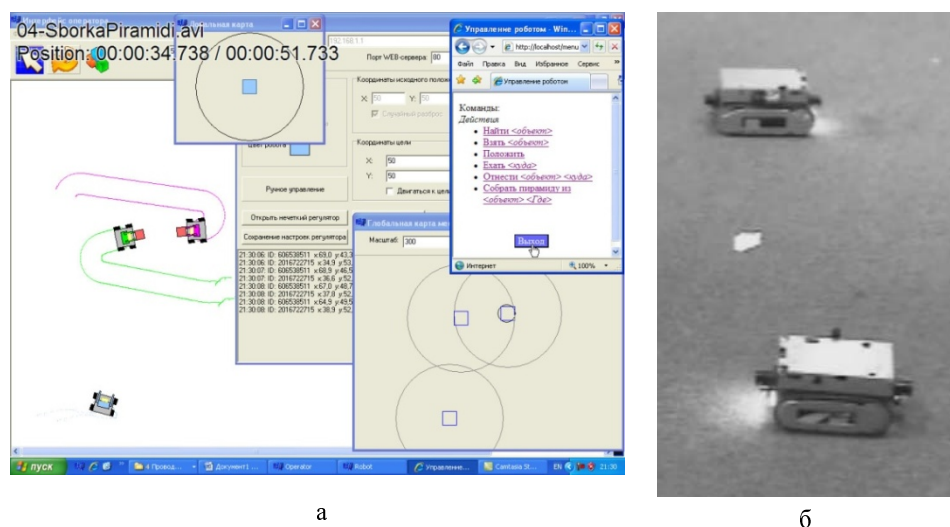


Рис. 7. Фрагменты комплексного моделирования и натурных испытаний экспериментального образца МАРС, разработанного в МИРЭА

Важно отметить, что к научно-организационным проблемам, которые пока остаются нерешенными и в последнее время приобретают особую актуальность, следует отнести проблему, связанную с созданием стандартов на аппаратно-программное обеспечение как самих интеллектуальных роботов, так и мультиагентных систем, построенных на их основе.

Таким образом, можно констатировать, что исследования в области робототехники, интеллектуального управления, сетевой связи и ряда других смежных направлений, проводимые в России силами многих организаций, по многим позициям, не уступая уровню и результатам зарубежных работ, позволили выкристаллизовать совокупность базовых технологий создания МАРС (рис. 8).

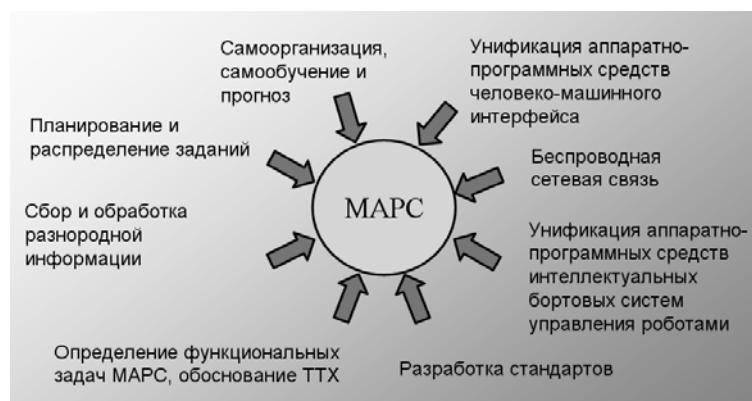


Рис. 8. Базовые технологии создания МАРС

При организации планомерных работ по созданию МАРС военного назначения, включая решение вопросов по тактике их боевого применения, есть все основания полагать, что в реальные сроки отечественная оборонная промышленность может не только разработать, но и наладить тиражирование отечественных образцов, конкурентоспособных зарубежным аналогам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Technology Development for Army Unmanned Ground Vehicles / Committee on Army Unmanned Ground Vehicle Technology, National Research Council / USA, National Academies Press, 2002.
2. Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. От интеллектуальных агентов – к мультиагентным робототехническим системам // Военный парад. – 2010. – № 5.
3. Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. Перспективы и реалии применения интеллектуальных технологий управления и обработки информации при создании образцов ВВТ нового поколения // Сборник материалов 3-й Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления». – Таганрог, 2008.
4. Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. – М.: Наука, 2006.
5. Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. Технологии обработки командной информации и управления поведением в интеллектуальных робототехнических системах // Приложение к журналу «Информационные технологии». – М., 2005. – № 7.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. В.Х. Пшихопов.

Макаров Игорь Михайлович

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет)».

E-mail: cpd@miga.ru, kru-miga@yandex.ru.

119454, г. Москва, пр-т Вернадского, 78.

Тел.: 84954349232.

Кафедра «Проблемы управления»; д.т.н.; академик РАН.

Лохин Валерий Михайлович
Д.т.н.; профессор.

Манько Сергей Викторович
Д.т.н.; профессор.

Романов Михаил Петрович
Д.т.н.; профессор.

Makarov Igor' Mixajlovich
The State Educational Establishment of the Maximum Vocational Training "the Moscow State Institute of a Radio Engineering, Electronics and Automatics (Technical University)".
E-mail: cpd@mirea.ru; kpu-mirea@yandex.ru.
78, Vernadskogo Pr., Moscow, 119454, Russia.
Phone: +74954349232.
The Department "Problem of management"; Dr. of Eng. Sc.; Academician of the Russian Academy of Science.

Loxin Valerij Mixalovich
Dr. of Eng. Sc.; Professor.

Man'ko Sergej Viktorovich
Dr. of Eng. Sc.; Professor.

Romanov Mixail Petrovich
Dr. of Eng. Sc.; Professor.

УДК 004.41

Р.А. Нейдорф, С.П. Новиков, В.С. Чудаков

**ПРАКТИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ДАННЫХ ДЛЯ ВЫБОРА
ПРИНЦИПОВ КОДИРОВАНИЯ И ИХ ПАРАМЕТРОВ В ЗАШУМЛЕННЫХ
КАНАЛАХ СВЯЗИ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Рассматривается методика расчета данных для выбора параметров систем кодирования в зашумленных каналах связи. В основу расчётов положено значение вероятности искажения одного бита информации как независимого случайного события. На основе этого подхода определены вероятности возникновения ошибки в кодовом слове в зависимости от его длины. Поскольку длина кодового слова определяет количество восстанавливаемых в нём ошибок для используемой системы кодирования, возникает возможность обоснованного выбора декодера и его параметров. Результаты расчетов приведены в таблицах и наглядно отображены диаграммами. Проведен анализ закономерностей формирования значений в зависимости от длины кодового слова и использованного декодера.

Канал связи; кодирование; методика расчета вероятности ошибок; помехоустойчивые коды.

R.A. Nejdorf, S.P. Novikov, V.S. Chudakov

**PRACTICAL DESIGN PROCEDURE OF THE DATA FOR THE CHOICE
OF PRINCIPLES OF CODING AND THEIR PARAMETERS
IN COMMUNICATION CHANNELS WITH NOISE OF
SETETSENTRICHESKY SYSTEMS**

This article describes a method for calculating the data for setting coding systems configuration in noisy communication channels. The calculation is based on probability of distortions of one bit of information as independent random events. Based on this approach identifies likelihood of errors in the code depending on its length. It should be possible to make informed choices of the decoder and its parameters, because length of typing keyword specifies the number of correctable