

УДК 629.5

**Кругликов Сергей Владимирович,**

кандидат физико-математических наук, доцент,  
заведующий кафедрой Моделирования информационных систем,  
заведующий лабораторией прикладных системных исследований,  
Высшая школа экономики и менеджмента,  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»  
г.Екатеринбург, Российская Федерация

**ПРОБЛЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО  
ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ГЕТЕРОГЕННЫМ КОМПЛЕКСОМ  
РОБОТИЗИРОВАННЫХ СРЕДСТВ**

*Аннотация:*

Разработка перспективных технологий когнитивной робототехники требует исследования математических основ сочетания автономных, централизованных, распределенных и децентрализованных процессов управления, что отражает различия в концепциях распределенного искусственного интеллекта и искусственной жизни. Принятый вариант понятия общее информационное пространство допускает коррекцию в зависимости от принципа построения системы управления, наиболее адекватного поставленной задаче. За основу исследования принята постановка транспортной задачи для гетерогенного комплекса мобильных робототехнических средств.

*Ключевые слова:*

автономный необитаемые аппараты, информационно-управляющая подсистема, когнитивная робототехника, мультиагентный подход, общее информационное пространство, математическая модель

Разработка перспективных технологий когнитивной робототехники требует исследования математических основ сочетания автономных, централизованных, распределенных и децентрализованных процессов управления, что отражает различия в концепциях распределенного искусственного интеллекта и искусственной жизни. Актуальной является разработка эффективных алгоритмов управления функционированием интеллектуальных робототехнических комплексов при решении задач, возникающих, в частности, в ходе транспортных опе-

раций, мониторинга и охраны объектов и зон особого внимания. Удобным средством формализации содержательно технических постановок представляется мультиагентный подход, обеспечивающий сопоставимые возможности для согласованного описания реальных и виртуальных агентов, в том числе, и интеллектуальных. Данная особенность позволяет рассматривать понятие общего информационного пространства интеллектуальных подсистем робототехнического комплекса на основе методов теории гарантированного управления в условиях неопределенности, как математическую модель для задач интерпретирующей навигации, автономного управления; координации действий [1].

В сообщении рассматривается динамическая модель формирования общих информационных образов в процессе обмена структурированными данными и согласования информационных пространств участников. Особенности процессов управления в неопределенных и динамически изменяемых средах определяют сочетание потенциально распределенных знаний и актуальных гипотез, моделей, локальных задач отдельных агентов, критериев мотивации и доступных ресурсов. Принятый вариант понятия общее информационное пространство допускает коррекцию в зависимости от принципа построения системы управления, наиболее адекватного поставленной задаче. Рассмотрено два иллюстративных примера решения транспортной задачи гетерогенным комплексом мобильных робототехнических средств.

Изучение динамической модели формирования информационного образа является необходимым этапом для построения адекватной аксиоматики, разработки математических моделей для оперативного прогнозирования и выбора алгоритмов поведения на основе гибко перестраиваемых (опережающих) прогностических моделей, внутреннего согласования вложенных информационных конструкций при оперативной реконфигурации состава комплекса.

Одной из актуальных современных задач для дальнейшего развития групповой робототехники является разработка программно-аппаратных комплексов АСУ для выполнения базовых операций большой группой, коллективом, роем относительно простых робототехнических средств (РТС). Существенное значение для разработки различных вариантов применения РТС имеет математическое моделирование прокладки маршрута в сложных физико-географических условиях. Существенным ограничением в данном случае выступают не только возможности и архитектура сети передачи данных, но и струк-

тура внутреннего представления информации. Применение традиционных методов и подходов встречает трудности при создании системы управления группами роботов [2]. Опыт формирования алгоритмов управления на основе принципов вариационного исчисления, математической теории управления в условиях неопределенности и динамических игр показывает необходимость решения распределенных задач большой размерности, которые связаны с ресурсоемкостью алгоритмов из-за сложности принятых моделей [3]. Решение непрерывной оптимизационной задачи требует создания распределенной многопроцессорной системы управления коллективов роботов (АСУ РТК) на базе высокоскоростных бортовых комплексов с параллельной обработкой сигналов [4].

В настоящей работе рассматривается задача реализации алгоритма динамического программирования для управления гетерогенным комплексом мобильных РТС на основе мультиагентного подхода. В качестве базовой содержательной задачи рассматривается транспортировка распределенного груза группой участников при децентрализованной схеме управления на местности с множественными препятствиями. Применен один из вариантов концепции единого информационного пространства системы управления. Разработанные информационно-математические модели создают необходимую базу для формирования алгоритмического и программного обеспечения (ПМО) компьютерной системы поддержки принятия решений. Принятая схема предполагает опосредованное управление коллективом РТС на основе прогнозирования интеллектуального поведения в контексте выживания, адаптации и самоорганизации в динамичной, враждебной среде.

Предполагается, что агент-оператор  $s_0$  сообщает всем  $\{st_j\}$  задачу, отвечающую общей цели ( $\Gamma \Rightarrow \Pi$ ), устанавливает высокий приоритет ее использования, выстраивая мотивацию результатов  $\{st_j\}$ . Агенты  $st_j$ , действуя независимо, по желанию при встрече (Событие) могут координировать действия на основе коммуникаций по кодовым сигналам. Методы мультиагентного подхода обеспечивают априорное опознание и информирование о намерениях при встрече. Эффективная реализация децентрализованного управления обеспечивается динамически упреждающим согласованным формированием траекторий движения (стереотипов) агентов, в частности аналогично конечным автоматам.

Обязательно:

- 1) опережающее информирование соседей о намерениях (стимул),
- 2) выбор движения максимально согласованного с их заявляемыми намерениями (реакция).

Разработанное понятие единое информационное пространство системы управления робототехническим комплексом может быть использовано для класса задач распределенных робототехнических систем. Единство информационного пространства проявляется в совместном описании организации, местоположения и времени действия РТС.

Предложенный подход позволяет с единых позиций описывать географические условия, ситуационную обстановку; организационную структуру, задачи РТК на основе использования унифицированного представления объектной и алгоритмической структуры объектов.

Принята технология обеспечения открытой архитектуры организации системы управления РТК, допускающая адаптивное подключение отдельных автономных РТС.

Описание местоположения элементов РТС допускает различные варианты представления. Иерархический подход к послойному построению уточненного описания схемы расположения и картографической информации возможно реализовать тремя согласованными вариантами, выбор каждого из которых зависит от особенностей содержательной реализации конкретной прикладной задачи и требований к точности.

1. Карта, представленная упорядоченной ориентированной решеткой, следовательно, возможность детализации поклеточно. Реализована в ПО. Уровень работы РТК в целом.
2. Построение описания на основе контуров и их сглаживания выпуклыми оболочками. В этом случае строится на основе решения задачи вариационного исчисления в предположении эллиптической структуры поля маршрутов.
3. Построение для ограниченного пространства с достаточно простыми маршрутами на основе системы трубок, параметры которых определяются тактико-технические характеристики РТС. Подход рационально использовать для проектирования АСУ систем охраны объектов и зон повышенной важности. Особенно при ограничении емкости аккумуляторов и / или отсутствии возможности обновления информации и, следовательно, работы с учетом максимального сноса. В ходе предварительной подготовки карты производится переход от описания препятствий к моделированию возможных окружающих проходов. Базовая конструкция для такого описания основана на объе-

динении конечного числа звеньев, образованных прямолинейным сдвигом кругов при пропорциональном изменении радиуса. Следовательно, при работе в сложном рельефе можно заранее строить описание именно структуры проходов и уже на выделенном графе выбирать маршрут. Вершинами графа при этом являются центры кругов отдельных звеньев из описания структуры проходов.

По этому направлению возможно воспользоваться математическими моделями для задач управления морскими РТС. Для задач прокладки маршрута для изделия ЗМ-14Э была выявлена возможность двойственного описания участков суши (препятствий) и окружения (проходов) сетевым графом. Базовая конструкция позволяет при работе в сложном рельефе заранее строить описание именно структуры проходов и уже на выделенном графе выбирать маршрут. Допустимому маршруту отвечает конечная трубка тракторий, изменения сечения трубки моделируют накапливающиеся ошибки.

Предлагаемый вариант модели представляется перспективным в силу:

1. единства представления широкого круга динамических и организационных объектов;
2. гибкости применения подобного представления границ препятствий и проходов;
3. возможности естественного наращивания модели в зависимости от изменения ситуации и / или применения РТС с различными характеристиками маневренности;
4. выделения базовых структурных единиц для описания препятствий и проходов и типовых задач для программной реализации.

Анализ алгоритмов построения стандартизованного описания ситуации двойственным графом на основе представления контурами, разработанного для комплекса подготовки картографической информации для АСУ, показал возможность унифицированного представления математической модели для двух видов представления.

Параметрическая постановка задачи предполагает согласование географических условий, характеристик РТС, систем управления и передачи данных операторам РТС.

В отечественной практике задачи группового управления РТС рассматриваются, как имеющие подчинённое значение. Однако, именно их решение на основе принципов открытой архитектуры, иерархичности и наследования способно дать мощный толчок к наращиванию возможностей отечественных РТК и переходу от преодоления отстав-

ния к опережающему развитию технологий РТК. Актуальная проблема разработки методов и алгоритмов распределенного (децентрализованного) управления согласованным (коллективным) взаимодействием роботов при их групповом применении в условиях заранее неизвестных динамически изменяющихся ситуаций допускает решение на основе концепции единого информационного пространства РТК.

### Список используемых источников

1. Kruglikov S.V., Kruglikov A.S. An a priori planning of joint motions for USV as a problem of guaranteed control/estimation // Applied Mechanics and Materials. TransTech Publications, Switzerland. Vols. 494-495, 2014, pp. 1110-1113.
2. Каляев, И.А. Распределенные системы планирования действий коллективов роботов: моногр. / И.А. Каляев, А.Р. Гайдук, С.Г. Капустян.—М.: Янус-К, 2002.—292 с.
3. Ченцов А.Г., Ченцов П.А. Динамическое программирование в одной нестационарной задаче маршрутизации. Известия Института математики и информатики УдГУ. 2012. Вып. 1 (39)
4. DoD Unmanned Systems Integrated Roadmap, FY 2009-2034, April 6, 2008.

**Kruglikov Sergei,**

Candidate of Physico-mathematical Sciences,

Associate Professor,

Head of the Controllable System Modelling Department,

Graduate School of Economics and Management,

Ural Federal University

named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

Ekaterinburg, Russian Federation

## **THE PROBLEM OF AUTOMATED DECENTRALIZED CONTROL OF A HETEROGENEOUS COMPLEX OF ROBOTIC VEHICLES**

### *Abstract:*

The development of advanced technologies for cognitive robotics requires research into the mathematical foundations of a combination of autonomous, centralized, distributed and decentralized management processes, reflecting differences in the concepts of distributed artificial intelligence and artificial life. The accepted version of the concept of the general information space allows correction depending on the principle of building a controlling system that is most adequate to the task at hand. The research is based on the formulation of a transport problem for a heterogeneous complex of mobile autonomous vehicles.

### *Key words:*

autonomous unmanned vehicles, information-control subsystem, cognitive robotics, multi-agent approach, general information space, mathematical model