



УТВЕРЖДАЮ
Проректор НИЯУ МИФИ

/Каргин Н.И./

17 » марта 2023 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский ядерный
университет «МИФИ» на диссертационную работу

Карпова Валерия Эдуардовича

«Методы группового управления искусственными агентами на основе
биологически инспирированных моделей поведения» по специальности
2.3.1 – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика,
представленную на соискание ученой степени **доктора технических наук**

Диссертационная работа В.Э. Карпова посвящена созданию методологического базиса для организации систем групповой робототехники (ГР), основанному на применении природоподобных принципов. Разработанный подход направлен на решение проблемы создания эффективных моделей группового управления роботами, функционирующими в сложных, динамических средах.

Актуальность исследования

Основная идея групповой робототехники заключается в том, что вместо сложного, универсального робота для решения ряда комплексных технических задач можно использовать совокупность сравнительно простых устройств (группу роботов), которые взаимодействуют между собой. Такие групповые системы должны обладать свойствами надежности, масштабируемости, универсализма и проявлять эмерджентные эффекты. Но,

несмотря на значительное количество исследований в этой области, большинство работ посвящено решению отдельных задач групповой робототехники, требующих создания частных решений, алгоритмов, методов. На данный момент исследований, претендующих на общность решений или подходов к групповому управлению при решении различных классов задач, существует крайне мало.

Таким образом, диссертационная работа В.Э. Карпова, направленная на решение комплексной задачи группового управления и формирующая основу для появления явных синергетических эффектов в группах роботов, является **актуальной** с точки зрения фундаментальных и прикладных задач групповой робототехники.

Научная новизна

Научная новизна диссертационной работы В.Э. Карпова состоит в том, что впервые предложен систематизированный комплексный подход к организации систем групповой робототехники, основанный на биологически инспирированных моделях поведения. В работе предложена формализация механизмов социоподобного взаимодействия участников группы, разработаны модели, методы и алгоритмы организации внутригруппового взаимодействия, обеспечивающего формирование социоподобных сообществ искусственных агентов.

Апробация работы и публикации

Основные результаты диссертации соискателя опубликовано 47 научных работ (с учетом переводов), в том числе 1 монография; 11 статей в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ; 13 работ в изданиях, индексируемых в базах данных WoS / Scopus, 28 работ – в сборниках трудов конференций. Это соответствует требованиям п. 13 «Положения о присуждении ученых степеней», постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 01.10.2018, с изм. от 26.05.2020) «О порядке присуждения ученых степеней». Для публикаций в соавторстве в диссертации описан личный вклад автора. Предложенные автором методики прошли

успешную апробацию на ряде научно-практических конференций и семинаров.

Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждается тем, что все разработанные модели, механизмы и алгоритмы проверялись с помощью имитационного моделирования, а затем проходили апробацию на реальных робототехнических системах и использовались для реализации систем группового управления для решения различных прикладных задач.

Анализ содержания диссертационного исследования

Диссертационная работа В.Э. Карпова состоит из введения, пяти глав, заключения и библиографического списка из 291 наименования. Диссертация содержит 312 страниц текста, 14 таблиц, 132 рисунка, 17 страниц приложений.

Во введении кратко обосновывается актуальность работы, формулируются цель и задачи исследования, теоретическая и практическая значимость работы, указываются методы исследования, приводятся основные научные результаты, полученные в ходе выполнения диссертации, и положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена описанию общей концепции подхода к решению проблемы организации и управления в групповой робототехнике (ГР). Анализ работ по ГР показывает, что исследования в этой области фактически представлены совокупностью разрозненных подходов к решению частных задач. Вследствие этого автор делает вывод о необходимости разработки единого методологического базиса или подхода, позволяющего комплексно рассматривать задачи функционирования групп роботов.

В качестве единого методологического базиса автор предлагает использовать биоинспирированные модели социоподобного поведения. Суть этого подхода сводится к тому, что появление эмерджентности в системах ГР возможно, если группа роботов образует социоподобное сообщество. Социоподобная организация сообщества роботов рассматривается как один из возможных адаптивных путей развития технической системы.

Решение проблемы организации и управления группой роботов заключается в создании базового набора моделей межагентного взаимодействия, позволяющего свести решения множества частных задач группового управления к обобщенной комплексной задаче – устойчивому функционированию социума искусственных агентов. Автор рассматривает типологии социального поведения в живой природе и определяет основные механизмы, модели и алгоритмы, реализация которых позволит создать основу для формирования социумов технических устройств – роботов.

Вторая глава посвящена внутренней организации индивида – анимата (робота), обладающего способностью к социоподобному взаимодействию. В качестве основы архитектуры системы управления аниматом автором предложена эмоционально-потребностная модель. Эмоции рассматриваются как способ оценки текущей потребности и возможности ее удовлетворения; они являются инициаторами действий агента, направленной на удовлетворение актуальных потребностей. Далее автор описывает характер поведения анимата в терминах темперамента и разрабатывает модель темперамента с использованием конечных автоматов и подходов школы М.Л. Цетлина в области поведения автоматов. Эта модель позволяет определять основные качественные и количественные параметры состава группы аниматов (роботов) для коллективного решения комплексных задач.

Также в этой главе разработана обобщенная многоуровневая архитектура системы управления аниматом и механизмы реализации всех уровней. Эффекторный уровень и уровень действий реализуются с помощью конечных автоматов, уровень поведения – с помощью мета-автоматов; регуляторный уровень – эмоционально-потребностная схема; когнитивный уровень реализуется семиотическими моделями. Кроме того, обосновано использование понятий модели и картины мира, которые имеют важное значение для функционирования анимата с реактивной структурой.

Третья глава посвящена вопросам группового взаимодействия как основы механизмов и феноменов социоподобного поведения. Для

формализации описания процессов межагентного взаимодействия введено понятие *статического роя* (СР), который характеризуется отсутствием заданного управляющего центра и представляет собой фиксированную в данный момент времени сеть – совокупность агентов. Для СР разработаны методы выбора лидера, показана сходимость процедуры выбора лидера. Рассмотрена задача дифференциации функций и распределение функций (задач) в статическом рое, приведена процедура распределения ролей. Это обеспечивает переход от однородной совокупности агентов (роя) к стае (группе), обладающей функциональной неоднородностью, что позволяет решать задачи согласованного поведения группы. Важно, что приведенные модели и методы работают исключительно на уровне локального взаимодействия между членами группы, т.е. имеют децентрализованный характер.

В качестве основы межагентного взаимодействия рассматривается механизм языкового общения между членами группы. Предложенная модель общения рассматривает систему управления робота с позиций семиотики, т.е. как знаковую систему. Это позволило не только предложить решение задачи непосредственного общения (базового механизма функционирования социума), но и реализовать производные феномены – контагиозное (заразное) и подражательное поведение, модели социального обучения. Кроме моделей макроуровня, в работе предложены три механизма управления (манипулирования) индивидуальным поведением анимата: (1) изменение характера поведения; (2) прямое выстраивание линий поведения и (3) переориентация реакций.

Четвертая глава описывает применение разработанных подходов, моделей и алгоритмов к решению таких комплексных задач, как исследование территории, патрулирование и т.д. Для иллюстрации сути предложенного подхода приведена задача равномерного распределения аниматов по территории. Показано, что эта процедура распределения может быть сведена к оптимизационной задаче размещения агентов по индивидуальным

кормовым участкам с помощью поведенческой модели, включающая механизм памяти и агрессивное поведение как механизм разрешения конфликта.

Далее в работе сформулирована обобщенная задача – задача поддержания территориального гомеостаза (ТГ). Основной целевой функцией группы агентов является поддержание ТГ как постоянства состава группы и территории. При этом такие типовые задачи групповой робототехники, как патрулирование, мониторинг, разведка и эскортирование рассматриваются как частные проявления этого более общего понятия, т.е. как интерпретация поведенческих компонентов. В диссертации показано, что функциональный базис решения задачи ТГ построен именно на механизмах социоподобного поведения, приведен итоговый перечень поведенческих процедур, который является основой математического и алгоритмического обеспечения при создании групповых робототехнических комплексов.

Пятая глава посвящена вопросам технической и модельной реализации решений практических задач. Для проведения вычислительных экспериментов была создана специализированная система моделирования *KVORUM*, предназначенная для симуляции поведения больших групп агентов и среды их обитания. Особенностью системы является наличие интерфейсов, позволяющих управлять как виртуальными агентами, так и реальными техническими устройствами.

Апробация рассмотренных выше моделей и алгоритмов проводилась не только на уровне имитационного моделирования, но и на реальных робототехнических системах.

В заключении обобщаются основные результаты диссертационной работы, обсуждаются проблемы и перспективы развития данного направления исследований.

Автореферат в полной мере отражает содержание и основные положения диссертационного исследования. Текст диссертации и автореферата оформлен аккуратно и хорошо структурирован, язык и стиль соответствуют принятым в

научно-технической литературе нормам.

Значимость результатов для науки и практики

Научная значимость работы заключается в разработке теоретических основ построения новой формы организации группового управления, основанного на биологически инспирированных принципах взаимодействия искусственных агентов.

Практическая ценность полученных научных результатов состоит в повышении качества управления робототехническими комплексами за счет использования эффективных алгоритмов группового взаимодействия. Также предложенный подход позволит расширить функциональные возможности систем ГР за счет реализации механизмов социальной самоорганизации в задачах группового патрулирования, разведки, охраны территории и пр.

В ходе практического внедрения результатов работы созданы: 1) компоненты системы управления коллаборативной тренировочной роботизированной мобильной платформой, которая решает задачи мониторинга и разведки в условиях угрозы или возникновения чрезвычайных ситуаций (ООО «ЯРСПАС»); 2) компоненты системы мониторинга прибрежной акватории группой малых автономных необитаемых подводных аппаратов (ООО «Аварийно-спасательная служба Нефтегазового и Топливо-Энергетического Комплекса»). Результаты работы также использовались при выполнении ряда НИР и в учебном процессе (МФТИ, НИУ ВШЭ).

Дискуссионные вопросы и замечания

По диссертационной работе и автореферату могут быть высказаны следующие замечания дискуссионного и редакционного характера:

1. Стил ь изложения местами не вполне строг и носит описательный характер.
2. Некоторые предлагаемые модели и алгоритмы приводятся без указания оценок их эффективности и сравнения с существующими.

Следует отметить, что указанные замечания носят рекомендательный или дискуссионный характер и не снижают научной и практической ценности

диссертационного исследования, выполненного на высоком теоретическом и практическом уровне.

Заключение

Диссертационная работа Карпова Валерия Эдуардовича «Методы группового управления искусственными агентами на основе биологически инспирированных моделей поведения» написана автором самостоятельно и является завершённым научным трудом. Работа содержит теоретический базис парадигмы моделей социоподобного поведения как основы организации групп роботов, способных коллективно решать комплексные задачи. В рамках диссертационного исследования автором не только впервые предложен систематизированный подход к управлению группами роботов, но и разработаны модели, методы и алгоритмы, необходимые для практической реализации предложенного подхода. Обоснованность и достоверность выводов основных научных положений и практических рекомендаций не вызывает сомнений. **Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.3.1. – "Системный анализ, управление и обработка информации, статистика"** по пунктам 3, 4, 5 и 9, а также требованиям действующего «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а Карпов Валерий Эдуардович, заслуживает присуждения ученой степени **доктора** технических наук по специальности 2.3.1. – "Системный анализ, управление и обработка информации, статистика" (технические науки).

Отзыв составлен д.т.н., профессором кафедры «Кибернетика» (№22) Института интеллектуальных кибернетических систем НИЯУ МИФИ, профессором Рыбиной Галиной Валентиновной



/Рыбина Галина Валентиновна/

Отзыв рассмотрен и одобрен на расширенном заседании кафедры «Кибернетика» (№22) Института интеллектуальных кибернетических систем НИЯУ МИФИ с привлечением ведущих ученых по специальности 2.3.1. из

других структурных подразделений НИЯУ МИФИ (кафедра «Компьютерные системы и технологии» (№12), кафедра «Информатика и процессы управления» (№17), кафедра «Экономика и менеджмент промышленности» (№71)) (протокол номер 2/23 от «22» февраля 2023 г.)

Зав.кафедрой «Кибернетика» (№22)

д.ф.-м.н., профессор



/Загребаев Андрей Маркоянович/

Сведения о ведущей организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ).

Адрес: 115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31

Электронная почта: info@mephi.ru

Сайт: <https://mephi.ru>