

ОТЗЫВ

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

Проблемы взаимодействия между автономными агентами – как программными, так и аппаратно реализованными, – а также управления группами таких агентов возникают в различных проблемных областях: в мультиагентных технологиях для бизнеса, в моделировании искусственной жизни и т.д. Наибольшее количество работ, посвященных этим проблемам, относится к групповой робототехнике, что объясняется высокой практической значимостью этой области. Однако при всем многообразии разработанных моделей, методов и алгоритмов до сих пор не существует единой методологии, способной обеспечить универсальные подходы к разработке систем управления группами автономных агентов. Разработке такой методологии посвящена диссертационная работа В.Э. Карпова, что обосновывает ее **актуальность**.

Содержание диссертации

Диссертационная работа В.Э. Карпова объемом 312 с. включает введение, пять глав, заключение и список используемых источников (291 наименование).

Введение содержит обоснование актуальности темы, цель и задачи исследования, формулировку решаемой научной проблемы, краткое описание полученных научных результатов, теоретической и практической значимости работы, а также перечень положений, которые выносятся на защиту.

Глава 1 «Модели социального поведения» посвящена обоснованию использования биоинспирированных моделей поведения как методологической основы функционирования групп автономных агентов, образующих социоподобное сообщество. Указывается, что важную роль в моделировании поведения сыграла советская школа 60-х гг. (работы М.Цетлина, В.Варшавского, Д.Поспелова, В.Стефанюка и др.), разработавшая автоматные модели целесообразного поведения. Приводится обзор исследований социального поведения в животном мире и дается типология видов поведения и социальных сообществ. Отмечается, что биологическая ценность

социального поведения животных состоит в том, что оно позволяет решать задачи адаптации, которые для отдельно взятой особи являются непосильными.

В главе 2 «Устройство индивида» рассматривается внутренняя организация искусственного агента, который действует в виртуальной или реальной среде и имитирует поведение живого организма. Важным результатом диссертационной работы является предложенная в этой главе эмоционально-потребностная архитектура системы управления искусственного агента на основе формализации информационной теории эмоций В.П. Симонова. В соответствии с этой теорией эмоции являются способом оценки текущих потребностей агента и возможности их удовлетворения; они инициируют действия агента, направленные на удовлетворение актуальной потребности. Кроме того, вводится понятие темперамента агента. Известная в психологии типология темпераментов характеризуется уровнями торможения и возбуждения, различное соотношение которых определяет тип темперамента и, соответственно, характер поведения. Например, высокий уровень торможения и низкий уровень возбуждения означает, что агент будет менять свое поведение редко (флегматик). Если механизм эмоций обеспечивает оценку и принятие решений в текущей ситуации, то темперамент – более устойчивая характеристика поведения.

Предложена автоматная модель темперамента, использующая автоматы Цетлина. Проведены компьютерные и натурные эксперименты, демонстрирующие зависимость характера поведения при различных параметрах эмоций и темперамента. Отдельный интерес представляют компьютерные эксперименты, в которых автомат, моделирующий определенный тип темперамента, погружался в составные случайные среды с различными параметрами (частота и тип переключений между средами и т.д.). Эксперименты показали, что для каждого типа составной среды можно выбрать наиболее подходящий тип темперамента.

В заключение этой главы изложена оригинальная иерархическая архитектура системы управления агентом и механизмы реализации всех уровней. Конечные автоматы реализуют нижний, эффекторный уровень (уровень реализации действий), за уровень реализации поведения (последовательности действий) отвечают мета-автоматы, на регуляторном уровне действует эмоционально-потребностная схема, принимающая решение о выборе поведения.

Глава 3 «Механизмы социального поведения» посвящена вопросам взаимодействия между членами группы агентов как основного средства коллективного решения задач. Введено понятие статического роя как сети локально взаимодействующих агентов. Обоснована необходимость выделения в статическом рое

лидера для перехода от роя (однородной совокупности агентов) к группе, согласованно решающей комплексные задачи. Предложены алгоритмы выбора лидера на основе принципа выделения доминанта и процедуры голосования, показана сходимость процедуры голосования. Рассмотрена задача дифференциации функций в статическом рое, предложена процедура распределения ролей.

Описана модель контагиозного поведения (по сигналу опасности группа обращается в бегство). Исследованы два варианта модели подражательного поведения (сигнальный, связанный с коммуникацией, и сенсорный, основанный на наблюдении). Проведены эксперименты, в которых на примере задачи сбора корма сравнивалась модель подражательного поведения (сигнальный вариант) со случайным блужданием. Эксперименты показали, что эффективность (количество собранного корма) гораздо выше при подражательном поведении.

Рассмотрены три вида манипулирования поведением: изменение параметров потребностей агента, изменение последовательности действий, инициация агрессивного поведения.

Предложена схема организации социального обучения (обучения на примерах поведения других), приводящего к выработке новых рефлексивных реакций.

В главе 4 «Прикладные задачи» описывается применение разработанных методов и моделей для решения практических задач из области управления группами автономных агентов (роботов). Показано, что типовые задачи, такие как патрулирование, мониторинг, разведка и т.д. могут рассматриваться как частные проявления обобщенной задачи поддержания территориального гомеостаза как постоянства состава группы и территории. Дана подробная характеристика понятия территориального гомеостаза. Приводится итоговый перечень (табл. 4.1 и 4.2) взаимосвязанных поведенческих процедур и механизмов, который образует базис математического и алгоритмического обеспечения для создания групповых робототехнических комплексов.

Обосновывается важность введения понятия морального поведения. В его основе лежит механизм эмпатии, который для искусственных агентов выражается в склонности к сотрудничеству и проявлению альтруизма. Этот механизм связан с целеполаганием и планированием и заключается в выборе такого плана действий, который либо повышает положительные эмоции контрагента, либо по крайней мере не вызывает у него отрицательных эмоций. Проведены машинные эксперименты, показавшие на примере задачи сбора пищи, что моральное поведение особенно важно в бедных пищей средах. В таких средах наибольшая эффективность проявляется при наличии альтруизма и кооперации.

В этой главе сформулирована парадигма моделирования социального поведения, которая предлагает механизмы социального поведения как универсальный базис для проектирования и управления группами агентов, рассматривая эти группы как искусственный социум. Система понятий этой парадигмы образует язык высокого уровня, на котором можно не только интерпретировать поведение роботов в социальных терминах, но и формулировать задачи проектирования роботов и их систем. Важно, что за каждым термином этого описания стоит реальный механизм или модель, что придает парадигме МСП конструктивный характер.

В главе 5 «Практическая реализация» излагается реализация полученных результатов в рамках имитационных моделей и на реальной группировке автономных мобильных роботов. Разработана система имитационного моделирования KVORUM, предназначенная для вычислительных экспериментов с группами агентов, способными к социоподобному взаимодействию. Система может управлять и виртуальными агентами, и реальными техническими устройствами. Это позволило проверять созданные модели и алгоритмы сначала на уровне имитационного моделирования, а затем – на группе мобильных роботов. Описана архитектура программно-аппаратного комплекса, включающая полигон для натурных экспериментов. На базе разработанного комплекса был решен ряд показательных задач: (1) распределение роботов по участкам; (2) процедура мобилизации; (3) исследование территории или поисковое поведение.

По заказу аварийно-спасательного формирования ООО «ЯРСПАС» была разработана система управления коллаборативной тренировочной роботизированной наземной мобильной платформой, которая решает задачи мониторинга и разведки в условиях угрозы или возникновения чрезвычайных ситуаций. Кроме того, были созданы компоненты системы управления группировкой малых автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА), осуществляющих мониторинг водной обстановки при разливах нефти (Заказчик – ООО «Аварийно-спасательная служба Нефтегазового и Топливо-Энергетического Комплекса»). По обеим работам имеются акты о внедрении.

Заключение содержит обобщение полученных результатов, некоторые критические замечания и предложения о направлениях дальнейших исследований.

В приложении 1 описана модель пространственной памяти агента, позволяющая запоминать пройденные маршруты.

Приложение 2 содержит акты о внедрении.

Научная новизна диссертационной работы В.Э. Карпова:

Главным концептуальным результатом диссертации является сформулированная в гл. 4 парадигма моделирования социального поведения, которая предлагает разработанные диссертантом конкретные механизмы социального поведения как универсальный базис для проектирования и управления группами искусственных агентов. Отметим основные из этих механизмов.

1. Разработана трехуровневая эмоционально-потребностная архитектура системы управления искусственного агента, обеспечивающая его способность к социальному взаимодействию. В этой архитектуре эмоции как параметр системы управления агента являются способом оценки текущих потребностей агента и возможности их удовлетворения.

2. Предложена автоматная модель темперамента агента, как параметра, определяющего характер поведения в терминах возбуждения и торможения.

3. Разработана типология основных видов социального поведения агентов (когезия, контагиозность, подражание, социальное доминирование, агонистическое поведение, обучение и пр.), описаны их формальные модели и предложены способы их реализации.

4. Разработана концепция территориального гомеостаза как постоянства состава группы и территории. Показано, что типовые задачи групповой робототехники, такие как патрулирование, мониторинг, разведка и т.д. могут рассматриваться как частные проявления обобщенной задачи поддержания территориального гомеостаза.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректным применением методов дискретной математики и теории автоматов, многочисленными машинными и натурными экспериментами, а также внедрением предложенных моделей, механизмов и алгоритмов поведения в реальные робототехнические системы.

Теоретическая значимость работы заключается в создании нового направления в исследовании группового управления искусственными агентами – парадигмы социального поведения, подкрепленной конкретными моделями, методами и алгоритмами.

Практическая ценность заключается в том, что полученные научные результаты позволят расширить средства проектирования и функциональные возможности систем групповой робототехники за счет реализации механизмов социальной самоорганизации в задачах группового патрулирования, разведки, охраны территории и пр. с помощью разработанного диссертантом универсального набора механизмов внутригруппового взаимодействия, необходимого для устойчивого функционирования технических систем в естественных средах.

Замечания к работе.

1. Интерпретация механизмов манипулирования поведением как паразитического управления (п. 3.8) представляется излишней. Непонятно, чем механизмы воздействия на поведение агента, описанные в этом разделе, отличаются от обычного внешнего управления.

2. Сигнальная версия модели подражательного поведения и иллюстрирующие ее эксперименты (стр. 130-132) не выглядят убедительными. Вряд ли следует интерпретировать адекватную реакцию на сигнал как подражание. Сенсорная модель подражательного поведения более обоснована.

3. Некоторые рисунки плохо прокомментированы: не все обозначения пояснены, недостаточна их связь с текстом. Это касается рисунков 2.3 (стр. 56), 2.23 (стр. 84), 3.30 (стр. 137), 3.37 (стр.154).

4. Непонятна область значений величины $R(S, O)$ в формуле 3.6 (стр. 128). По смыслу эта величина непрерывная, но участвует в конъюнкции как логическая переменная. Это же замечание относится и к формуле 3.12 на стр.155,

Указанные недостатки не влияют на положительную оценку работы.

Заключение

В рамках диссертационного исследования В.Э. Карпов впервые провел систематическое рассмотрение механизмов образования социума как средства реализации адаптационных возможностей применительно к группам искусственных агентов (роботов) и предложил общий методологический базис организации группового управления, основанный на моделях и алгоритмах социального поведения. Это позволяют квалифицировать результаты исследования как новое научное направление – использование парадигмы моделирования социоподобного поведения для обеспечения коллективного решения комплексных задач группами автономных агентов.

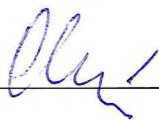
Выносимые на защиту положения диссертации своевременно опубликованы в научной печати и прошли всестороннюю апробацию. Автореферат диссертации полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Карпова Валерия Эдуардовича «Методы группового управления искусственными агентами на основе биологически инспирированных моделей поведения» соответствует паспорту специальности 2.3.1, а также требованиям действующего в РФ «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).

Официальный оппонент:

Кузнецов Олег Петрович



Доктор технических наук по специальностям 05.13.01 "Техническая кибернетика и теория информации", 05.13.11 "Системное программирование", профессор по специальности Техническая кибернетика и теория информации"

дата: 16 марта 2023

Почтовый адрес:

117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65

Телефон: +7-495-334-76-39

Организация – место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН)

Должность: главный научный сотрудник, Лаборатория 11

Адрес электронной почты: olkuznes@ipu.ru

Веб-сайт: <https://www.ipu.ru/>

Подпись Кузнецова Олега Петровича заверяю

