

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и
инновациям, ФГБОУ ВО «КубГТУ»,
доцент

В.В. Шапошников

2024 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный технологический университет»

Диссертация на тему: «Методология коллективного взаимодействия агентов интеллектуальных иерархических систем в процессе обучения с подкреплением при исследовании окружающего пространства» выполнена на кафедре информатики и вычислительной техники ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет».

В период подготовки диссертации соискатель ученой степени Дубенко Юрий Владимирович работал доцентом кафедры информатики и вычислительной техники ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет».

В 2005 г. Дубенко Юрий Владимирович окончил «Кубанский государственный технологический университет» по специальности — «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем», диплом с отличием.

В 2009 г. Дубенко Ю. В. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации», диплом серия ЗДЦ №017220

В 2018 г. Дубенко Ю. В. получил аттестат доцента ВАК по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации», аттестат серия ЗДЦ №017220.

Дубенко Ю. В. окончил очную форму докторантуры Кубанского государственного технологического университета по специальности 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (информационные и технические системы) с 17.04.2017 по 16.04.2020 (приказ ректора ФГБОУ ВО «КубГТУ» № 753-Л от 21.04.2017).

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация Дубенко Ю. В. является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены теоретические положения, новые методы и алгоритмы для повышения эффективности динамического адаптивного централизованного и децентрализованного управления группой однородных и неоднородных объектов (интеллектуальных агентов, оснащенных подсистемой машинного зрения, обладающих возможностью обмена опытом) в процессе обучения с подкреплением, в сложных, недетерминированных, неполностью наблюдаемых, стохастических средах. Предложенные в

диссертации новые научно обоснованные решения вносят значительный вклад в развитие страны и могут быть применены для реализации многоагентных интеллектуальных систем различного назначения: в системах управления робототехническими устройствами для складской логистики, в компьютерных играх для разработки алгоритмов интеллектуальных агентов, в системах обеспечения безопасности дорожной инфраструктуры, интеллектуальных систем в области видеонаблюдения за производственной безопасностью. Таким образом, диссертация Дубенко Ю. В. соответствует пункту 9 Положения о присуждении ученых степеней утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 (ред. от 25.01.2024) — далее Положение — и указанным в нем критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени доктора наук.

Личное участие соискателя ученой степени в получении результатов, изложенных в диссертации

Теоретические положения, методы и алгоритмы, рекомендации и выводы, изложенные в диссертационной работе, являются результатами самостоятельного исследования Дубенко Ю.В. К основным научным результатам, полученным лично соискателем относятся:

- метод сегментации динамических объектов из облака точек, основанный на применении методов проективной геометрии и математического аппарата свёрточных нейронных сетей, основанных на архитектуре типа Mask R-CNN;
- метод реконструкции трехмерных сцен, основанный на применении метода Block-Matching Algorithm для формирования карты глубины, предложенного метода сегментации динамических объектов из облака точек, методов фильтрации по дистанции и с помощью «октодерев»;
- разработанная архитектура подсистемы машинного зрения интеллектуального агента иерархической многоагентной системы, основанной на визуализации трехмерных сцен;
- метод коллективного взаимодействия интеллектуальных агентов в централизованных и децентрализованных многоагентных системах с реализацией обмена опытом, выполненный на основе иерархического обучения с подкреплением и визуализации трехмерных сцен;
- архитектура интеллектуальной иерархической многоагентной системы поддержки и принятия решений по управлению группой агентов.

Степень достоверности результатов, проведенных соискателем ученой степени исследований

Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечены строгостью математических доказательств, которые были получены с использованием научно-методологического аппарата системного анализа, теории искусственных нейронных сетей, теории глубокого иерархического обучения с подкреплением, теоретических основ искусственного интеллекта, включая перспективные методы этой области, теории многоагентных систем, методов и алгоритмов проективной геометрии, трёхмерной графики и машинного зрения.

Справедливость полученных в диссертации научных результатов подтверждается выполнением сравнительного анализа разработанных методов и алгоритмов с известными ранее методами, а также проведенными вычислительными экспериментами с применением компьютерного моделирования.

Новизна и практическая значимость результатов диссертации.

Научная новизна результатов диссертационной работы заключается в разработанной автором методологии повышения эффективности динамического адаптивного централизованного и децентрализованного управления группой однородных и неоднородных объектов (интеллектуальных агентов, оснащенных подсистемой машинного зрения, обладающих возможностью обмена опытом) в процессе обучения с подкреплением, в сложных, недетерминированных, неполностью наблюдаемых, стохастических средах.

Автором получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1. Метод интеллектуального анализа данных, полученных от подсистемы машинного зрения, предоставляющий агентам дополнительный канал визуального восприятия для изучения и наблюдения за действиями других агентов.

2. Метод сегментации макродействий, совершаемых интеллектуальными агентами в процессе иерархического обучения с подкреплением, функционирующих в динамических, стохастических, четко не определенных и неполностью наблюдаемых средах с целью уменьшения времени принятия решения агентом при переходе из одного состояния окружающей среды (мира) в другое, позволяющий идентифицировать в буфере опыта агента релевантные цепочки действий, следование которым приводит к решению некоторого класса типовых задач при обследовании окружающей агентов среды.

3. Метод, позволяющий обмениваться опытом интеллектуальным гетерогенным агентам, работающим в группе по обследованию незнакомой среды в процессе обучения с подкреплением, при принятии ими решения о выполнении следующего действия.

4. Механизм коллективного взаимодействия интеллектуальных агентов в централизованных интеллектуальных иерархических многоагентных системах (ИИМАС) в процессе иерархического обучения с подкреплением, с целью построения карты окружающего пространства агентов, способствующий снижению количества комбинаторных операций при выборе совместных действий агентов, повышению сходимости алгоритмов при многоагентном обучении с подкреплением за счет реализации процедуры обмена опытом между агентами.

5. Механизм коллективного взаимодействия интеллектуальных агентов в децентрализованных ИИМАС для режимов работы «кооперация» и «конкуренция», с целью построения карты окружающего пространства агентов, поиска целевого объекта на карте с возможностью обучения агентов случайному взаимодействию и обмену опытом, способствующий снижению количества комбинаторных операций при выборе совместных действий агентов в режимах «кооперации» и «конкуренции», повышению сходимости алгоритмов, уменьшению времени поиска целевого объекта в соревновательном режиме.

6. Авторская архитектура ИИМАС для динамического управления группами агентов с целью исследования динамической, стохастической, четко не определенной и неполностью наблюдаемой окружающей среды, автоматического формирования навигационной карты этой среды. Наличие в составе архитектуры новой интеллектуальной системы управления позволяет в централизованных и децентрализованных системах в режимах кооперации и конкуренции на различных уровнях иерархии повысить вероятность достижения целевых состояний агентов, уменьшить время достижения целевых состояний, снизить вычислительную сложность применяемых алгоритмов.

Новизна предложенных решений подтверждена публикациями а также патентом на изобретение № 2017111746 от 17.04.2018 г. «Система определения геометрических параметров

трехмерных объектов», свидетельствами о регистрации программного обеспечения: №2020614774 от 24.04.2020 г. «Информационная система поддержки и принятия решений для методов сегментации изображений», №2016615673 от 26.05.2016 г. «Программа для проектирования аналитических блоков и блоков принятия решений на основе искусственных нейронных сетей», № 2021616674 от 26.04.2021 «Цифровая платформа для обеспечения безопасности дорожной инфраструктуры с применением трехмерного лазерного сканирования».

Практическая значимость проведенного исследования состоит в следующем:

1. Разработанный метод реконструкции трехмерного пространства и алгоритмы на его основе для подсистемы машинного зрения интеллектуальных агентов (мобильных роботов, дронов) позволяют повысить точность распознавания полученных двухмерных и трехмерных копий объектов из окружающей среды, в которой функционируют агенты. Также повышена точность измерения геометрических параметров объектов и расстояния от них до агентов, что вместе с разработанными методами глубокого иерархического обучения с подкреплением позволит повысить эффективность централизованного и децентрализованного управления группами гетерогенных интеллектуальных агентов.

2. Созданное в результате диссертационного исследования программное обеспечение с открытым исходным кодом успешно применено для самообучающихся мобильных роботов, решающих задачу обследования незнакомой территории, с последующим построением карты окружающего пространства, а также в образовательной робототехнике при решении задачи поиска выхода из лабиринта.

Основные результаты диссертационного исследования получили практическое применение в следующих организациях, что подтверждено актами о внедрении:

1. В образовательный процесс бакалавриата и магистратуры по направлениям: 09.03.01, 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника», профиль «Прикладные системы искусственного интеллекта» института компьютерных систем и информационной безопасности ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар.

2. В процесс проектирования системного интегратора в комплексном проекте ИТ-компании ООО «Кубнет» на тему: «Цифровая платформа трансформации перевозки тяжеловесного и (или) крупногабаритного груза автотранспортом, интегрированная с интеллектуальной системой цифровых «двойников» автомобильных дорог», г. Краснодар.

3. При проектировании многоагентных интеллектуальных систем в области видеонаблюдения за производственной безопасностью при строительстве нефтяных и газовых скважин в ООО «Газпром бурение», г. Москва.

4. В процессе разработки программного обеспечения многоагентных интеллектуальных систем ПАО «Мегафон», г. Краснодар.

5. В процессе оказания услуг по выполнению хозяйственных и научно-исследовательских работ, связанных с компьютерным моделированием иерархических интеллектуальных многоагентных систем поддержки и принятия решений в компании ООО «РЕДЮИТ», г. Краснодар.

Также методы и алгоритмы, разработанные в диссертационной работе, были успешно применены в следующих проектах, которые получили поддержку от «Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере»:

а) «Разработка цифровой платформы для обеспечения безопасности дорожной инфраструктуры с применением трехмерного лазерного сканирования» по программе «Старт». В рамках данного проекта реализованы методы и алгоритмы трехмерной реконструкции для

подсистемы машинного зрения интеллектуальных агентов (Договор №3617ГС1/60550 от 20.07.2020 г.).

б) «Библиотека глубокого обучения для мобильных роботов и роботизированных систем на ARM-процессорах» по программе «Код-искусственный интеллект» направления «Перспективные методы искусственного интеллекта». В рамках данного проекта реализованы новые методы коллективного взаимодействия интеллектуальных агентов с реализацией обмена опытом в централизованных и децентрализованных многоагентных системах (Договор 25ГУКодИИС12-D7/79178 от 05.08.2022 г.).

Ценность научных работ соискателя ученой степени

Ценность научных работ Дубенко Ю.В. определяется корректной постановкой и детальной проработкой решения научной проблемы повышения эффективности управления группой интеллектуальных агентов, оснащенных подсистемой машинного зрения, обладающих возможностью обмена опытом, в процессе обучения с подкреплением в условиях их функционирования в недетерминированных (в частности, стохастических) средах. В научных работах соискателя также отражены: анализ патентных и литературных источников по теме исследования; постановка и проведение экспериментальных исследований; анализ полученных данных и результатов исследования; апробация усовершенствованных технологий в опытно-промышленных условиях.

Научные труды соискателя представлены в научных журналах, индексируемых Scopus и WoS, в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, а также в трудах международных и всероссийских научно-практических конференциях.

В работах, опубликованных в соавторстве, вклад автора является определяющим. В диссертации соискатель ученой степени ссылается на автора и (или) источник заимствования материалов или отдельных результатов. Результаты исследований, выполненных соискателем ученой степени в соавторстве, приведены со ссылками на соавторов и совместные работы, что подтверждает соответствие диссертации требованиям, установленным пунктом 14 Положения.

Научная специальность и отрасль науки, которым соответствует диссертация

Содержание диссертационной работы Дубенко Юрия Владимировича соответствует отрасли науки «технические науки» и пп. 1, 2, 3, 4, 5, и 12 паспорта специальности 2.3.1. – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика:

п. 1 Теоретические основы и методы системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

п. 2 Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

п. 3 Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

п. 4 Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

п. 5 Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

п. 12. Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации.

**Полнота изложения материалов диссертации в работах,
опубликованных соискателем ученой степени**

Материалы диссертационной работы Дубенко Ю. В. в полной мере отражены в 47 опубликованных соискателем работах. Из них: 3 статьи в журналах, индексируемых в Scopus и WoS, 15 статей в научных журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук. Получен патент РФ на изобретение и 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Основные публикации:

Публикации в изданиях, входящих в Scopus и WoS

(ORCID: 0000-0003-3205-994X, ResearcherID: Q-1689-2017, ScopusID: 57213813292):

1. **Dubenko Y.V.**, Gura D.A., Dyshkant E.E. Monitoring Complex Infrastructure Facilities State Using Mobile Robots: Problem Analysis // 2019 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2019 DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8934179

2. Gura D.A., **Dubenko Y.V.**, Shevchenko G.G., Dyshkant E.E., Khusht N.I. Three-dimensional laser scanning for safety of transport infrastructure with application of neural network algorithms and methods of artificial intelligence // Lecture Notes in Civil Engineering book series Volume 50, 2020, Pages 185-190 DOI: 10.1007/978-981-15-0454-9_19

3. **Dubenko Y.**, Dyshkant E., Gura D. Multi-agent reinforcement learning for robot collaboration / Smart Innovation, Systems and Technologies. 2022. Т. 247. С. 607-623.

Публикации в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России

(AuthorID: 551285):

4. **Дубенко Ю.В.**, Дышкант Е.Е. Разработка архитектуры блока прогнозирования системы управления сложным техническим комплексом / Вестник Брянского государственного технического университета. Том 2018, номер 5., стр. 74-83.

5. **Дубенко Ю.В.**, Дышкант Е.Е. Нечеткая система определения оптимальных методов для прогнозирования параметров сложных технических систем / Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2018. № 3 (47). С. 58-69.

6. **Дубенко Ю.В.**, Дышкант Е.Е. Нейросетевой алгоритм выбора методов для прогнозирования временных рядов / Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2019. № 1. С. 51-60.

7. Гура Д.А., **Дубенко Ю.В.**, Бучацкий П.Ю., Марковский И.Г., Хушт Н.И. Мониторинг сложных объектов инфраструктуры // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: естественно-математические и технические науки, 2019, №4, с. 74-80.

8. **Дубенко Ю.В.** Аналитический обзор проблем многоагентного обучения с подкреплением / Вестник компьютерных и информационных технологий, 2020, № 6, с.48-56.

9. **Дубенко Ю.В.**, Дышкант Е.Е., Гура Д.А. Анализ иерархического обучения с подкреплением для реализации поведенческих стратегий интеллектуальных агентов / Вестник компьютерных и информационных технологий, 2020, № 9, с.35-45.

10. Симанков В.С., **Дубенко Ю.В.** Системный анализ в иерархических интеллектуальных многоагентных системах / Вестник компьютерных и информационных технологий, 2021, № 3 (201), с.33-46.

11. **Дубенко Ю.В.**, Дышкант Е.Е., Тимченко Н.Н., Рудешко Н.А. Метод реконструкции трехмерных сцен, основанный на применении сверточных нейронных сетей, фильтрации по дистанции и с помощью «октодерев» / Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2021. № 4 (60). С. 43-54.

12. **Дубенко Ю.В.**, Дышкант Е.Е., Тимченко Н.Н., Рудешко Н.А. Гибридный алгоритм формирования кратчайшей траектории, основанный на применении многоагентного обучения с подкреплением и обмена опытом / Вестник компьютерных и информационных технологий. 2021. Т. 18. № 11 (209). С. 13-26.

13. **Дубенко Ю.В.** Метод повторного применения и обмена опытом при коллективном взаимодействии интеллектуальных агентов / Вестник Воронежского государственного технического университета, 2022, № 1, с.62-72.

14. **Дубенко Ю.В.** Алгоритм коллективного взаимодействия интеллектуальных агентов в централизованных многоагентных системах / Вестник компьютерных и информационных технологий. 2022. № 10. С. 30-42.

15. **Дубенко Ю.В.**, Рудешко Н.А. Алгоритм обучения с подкреплением для децентрализованных многоагентных систем, основанный на обмене опытом и обучении агентов случайному взаимодействию / Вестник Воронежского государственного технического университета. 2022. Т. 18. №4. С. 30-36.

16. **Дубенко Ю.В.**, Дышкант Е.Е., Обозовский А.А. Метод синтеза организационной структуры централизованных многоагентных систем с возможностью ее автоматической адаптации в случае изменения параметров окружающей среды или поставленной задачи / Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2023. №3 (67). С. 18-30

17. **Дубенко Ю.В.**, Дышкант Е.Е., Обозовский А.А. Метод оптимизации организационной структуры централизованных многоагентных систем в автоматическом режиме / Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2024. №1. С. 46-55

18. **Дубенко Ю.В.**, Дышкант Е.Е., Обозовский А.А. Метод автоматической реорганизации структуры многоагентных систем в условиях сложной, частично наблюдаемой, динамической окружающей среды / Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2024. №1. С. 65-78.

Патенты и свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

19. **Дубенко Ю.В.**, Тимченко Н.Н. Система определения геометрических параметров объектов / **Дубенко Ю.В.**, Тимченко Н.Н. // Патент на изобретение №2650857 от 17.04.2018 г.

20. **Дубенко Ю.В.**, Тимченко Н.Н. Программа для проектирования аналитических блоков и блоков принятия решений на основе искусственных нейронных сетей / **Дубенко Ю.В.**, Тимченко Н.Н. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016615637 от 26.05.2016 г.

21. **Дубенко Ю.В.**, Филиппов М.Ю., Гура Д.А., Марковский И.Г. Информационная система поддержки и принятия решений для методов сегментации изображений / **Дубенко Ю.В.**,

Филиппов М.Ю., Гура Д.А., Марковский И.Г. // Свидетельство о государственной программы для ЭВМ № 2020614774 от 24.04.2020 г.

22. Дубенко Ю.В., Тимченко Н.Н., Дышкант Е.Е. Цифровая платформа для обеспечения безопасности дорожной инфраструктуры с применением трехмерного лазерного сканирования / Дубенко Ю.В., Тимченко Н.Н., Дышкант Е.Е. // Свидетельство о государственной программы для ЭВМ № 2021615690 от 26.04.2021 г.

В работах, опубликованных с соавторами, лично Дубенко Ю.В. принадлежит:

- выявление проблем многоагентного обучения с подкреплением, а также проблемы сегментации макродействий в рамках такого обучения, постановка целей и задач исследования, предложения для решения указанных проблем;
- концепция классификации опыта интеллектуальных агентов в рамках парадигмы обучения с подкреплением и метод повторного применения имеющегося опыта решения задач, формализованного в виде макродействий, и его экспериментальная оценка;
- алгоритм обучения с подкреплением для децентрализованных многоагентных систем, основанный на обмене опытом и обучении агентов случайному взаимодействию и его проверка на модели в среде Microsoft Unity для задачи поиска агентами выхода из лабиринта.

Диссертация Дубенко Юрия Владимировича на тему: «Методология коллективного взаимодействия агентов интеллектуальных иерархических систем в процессе обучения с подкреплением при исследовании окружающего пространства» представляет законченную научно-исследовательскую работу, соответствует пп. 9-11, 13 и 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 и рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.1. – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры информатики и вычислительной техники ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет». Присутствовало на заседании 22 чел., с правом голоса 21:

Результаты голосования: «за» — 21 чел., «против» — нет, «воздержались» — нет, протокол № 10 от 15.05.2024 г.

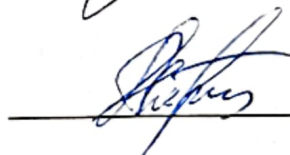
Секретарь кафедры
информатики и вычислительной техники,
канд. техн. наук, доцент

Заведующий кафедрой
информатики и вычислительной техники
д-р техн. наук, проф





О. С. Безнос



В. А. Атрощенко

О. С. Безнос, В. А. Атрощенко

инициатор отдела
информатики
и вычислительной
техники
Е.И. Руссу
04 » 06 2024 г.