

УТВЕРЖДАЮ

И. о. ректора МГТУ им. Н.Э. Баумана,

К.Т.Н.

М. В. Гордин

« 15 » сентября 2022 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации МГТУ им. Н.Э. Баумана на диссертационную работу  
Горященко Алексея Сергеевича «Оптимизация задач маршрутизации на основе  
взаимодействующих интеллектуальных транспортных агентов»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика  
(технические науки)

### Актуальность темы исследования

Агентное моделирование широко применяется для изучения свойств сложных динамических систем. Интеллектуальный агент – программная сущность, обладающая свойствами автономности, общественного поведения, реактивности и про-активности. В работе используется термин интеллектуальный транспортный агент – это интеллектуальный агент, применяемый для решения задач маршрутизации, дополнительно обладающий возможностью перемещения и атрибутами скорости и грузоподъемности. Коалиции агентов – набор или группа агентов, возможно обладающих различными свойствами, действующие сообща для достижения поставленной общей цели, в условиях, когда индивидуальные агенты этой цели достичь не могут.

Под задачами маршрутизации в работе понимаются транспортная задача (задача Монжа-Канторовича, transportation problem, TP) и мультитранспортный вариант задачи маршрутизации (задача Данцига-Памсера, split delivery vehicle routing problem, SDVRP), особенности решения которых в предлагаемых постановках заключаются в том, что в первом случае используются коалиции транспортных агентов, а во втором – взаимодействующие агенты, не образующие коалиции.

Представляют значительный практический интерес задачи оптимизации маршрутизации, в которых состав элементов и/или их свойства могут изменяться в процессе решения. В этом случае использование ранее предложенных подходов, основанных на точных переборных алгоритмах, становится очень ресурсоемким и поэтому нецелесообразным. Это определяет внимание к развитию распределенных приближенных алгоритмов.

Перспективным представляется использование подхода к разработке мультиагентных интеллектуальных систем, в котором используется идея



улучшения «способностей» агентов на основе оценки результатов их деятельности и последующего изменения оценки успешности.

В этой связи диссертационная работа Горященко А.С. представляется весьма актуальной. Она посвящена изучению возможностей интеллектуальных агентов, обладающих механизмом оценки успешности, в рамках мультиагентной системы как способу повышения качества решений задач маршрутизации, в том числе транспортной задачи и мультитранспортного варианта задачи маршрутизации (SDVRP).

### **Анализ содержания работы**

Диссертация Горященко А.С. состоит из введения, четырех глав исследований, заключения и списка литературы. Основной текст диссертации, хорошо иллюстрированный рисунками и таблицами, изложен на 138 страницах. Список литературы насчитывает 121 источник.

Во введении к диссертации обосновывается актуальность темы исследования, формируются цели и задачи диссертационного исследования, методы исследования, дается общая характеристика работы, защищаемые положения и другие данные.

В 1-й главе диссертации описана структура одной из типовых современных мультиагентных платформ, рассмотрены ее основные свойства, области применения, классы задач, которые можно решать с ее помощью. На основе анализа научных публикаций сформулированы критерии, которым должна отвечать используемая в настоящей работе мультиагентная платформа. Описаны основные свойства известных к настоящему времени алгоритмов формирования коалиций агентов, основанных на использовании характеристической функции: точных переборных или приближенных. Кратко рассмотрен представленный в научных публикациях знаковый подход к планированию и распределению ролей агентов. Обсуждены возможности алгоритма выбора предпочитаемых действий в коалиции интеллектуальных агентов. Приведены примеры использования агентного моделирования, в том числе коалиций агентов, для решения различных задач. На основе рассмотренных научных публикаций сделан вывод о том, что подход к решению задач маршрутизации с использованием агентного моделирования является актуальным. При этом особый интерес представляют приближенные распределенные алгоритмы, позволяющие в полной мере использовать преимущества мультиагентных систем и современных коммуникационных сетей. Показано, что в современных исследованиях недостаточно изучены возможности интеллектуальных агентов, в том числе со способностью к изменению оценок успешности, в рамках агентного моделирования.

Во 2-й главе диссертации рассмотрена модельная задача, описаны предложенные алгоритмы и приведены их свойства. В качестве модельной рассматривается задача маршрутизации. В зависимости от количества агентов – источников (пунктов отправления), пунктов назначения и соотношения потребностей пунктов назначения, а также ресурсов источников имеют место либо классическая транспортная задача, либо мультитранспортный вариант



задачи маршрутизации (SDVRP). Описаны предложенные алгоритмы: формирования коалиций с использованием характеристической функции; распределения шагов заранее созданного плана по исполнителям, которые способны изменять оценки успешности; решения целевой задачи маршрутизации на основе формирования коалиций интеллектуальных агентов. Алгоритмы предложены в централизованном и распределенном вариантах, изучены их свойства.

В 3-й главе диссертации содержится описание структуры агентов, цикла изменения оценки успешности, форматов и типов сообщений и программной реализации предложенных алгоритмов на языке программирования Python. Подробно рассматриваются используемые агенты, их взаимодействие между собой. При реализации каждый объект (источник и пункт назначения) представляется одним агентом. Агенты получают информацию друг от друга и от среды путем передачи и получения сообщений. Такой подход широко применяется при моделировании изменчивой среды, в которой участники (агенты) могут не обладать всей полнотой информации об окружающем их мире.

В 4-й главе диссертации приведено описание и результаты экспериментальной проверки качества работы предложенных алгоритмов, примеры использования созданного программного комплекса для решения различных практических задач.

В заключении к диссертации приводятся основные результаты и выводы исследования в целом.

Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание, ход исследования, все основные полученные результаты и сформулированные по ним выводы.

### **Соответствие работы паспорту специальности**

Предмет и методы исследования в диссертационной работе Горященко А.С. «Оптимизация задач маршрутизации на основе взаимодействующих интеллектуальных транспортных агентов», полученные результаты и сформулированные выводы полностью соответствуют следующим пунктам паспорта специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки):

п.4. «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации»;

п.5. «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации»;

п.10. «Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах»,

т.к. основным содержанием работы являются теоретические и прикладные исследования системных связей и закономерностей функционирования сложных мультиагентных систем, ориентированные на повышение эффективности управления ими и повышение качества решений задач



маршрутизации с использованием современных методов анализа и обработки информации.

### **Научная новизна полученных результатов**

Все основные научные результаты диссертационного исследования Горященко А.С. являются новыми. Они заключаются в разработке и исследовании метода решения задач маршрутизации на основе интеллектуальных транспортных агентов, обладающих способностью к изменению оценок успешности, в условиях, когда каждый агент не обладает достаточными ресурсами для выполнения заданий, и характеристики агентов в процессе решения задачи могут меняться. Метод включает несколько новых алгоритмов и оценки их вычислительной сложности, в том числе:

1. Централизованный и распределенный алгоритмы формирования коалиций агентов с учетом случайного изменения их характеристик, существенно расширяющие класс решаемых задач маршрутизации, в которых состав элементов и их свойства могут изменяться в процессе решения;

2. Распределенный алгоритм решения задач маршрутизации в рамках мультиагентных систем, в которых агенты используют оценки успешности для улучшения своих способностей, что позволяет уменьшать их количество при прочих равных условиях;

3. Теоретическую и экспериментальную оценки вычислительной сложности созданных алгоритмов, из которых следует применимость разработанного метода для решения задач большой размерности и в условиях изменения характеристик агентов.

### **Достоверность и обоснованность полученных результатов**

О достоверности и обоснованности полученных результатов свидетельствуют:

- корректное использование математического аппарата для исследования;
- примеры применения разработанных моделей для решения практических задач, а также результаты вычислительных экспериментов, которые в целом соответствуют результатам, полученным с использованием других подходов;
- общие непротиворечивые результаты исследования;
- согласованность выводов и результатов различных разделов исследования, которые докладывались и прошли апробацию в рамках 5 международных научно-практических конференций.

Достоверность подтверждена материалами 8 опубликованных работ, большинство из которых опубликованы в центральных рецензируемых журналах, в том числе индексируемых в базах Scopus/WoS.

### **Теоретическая и практическая значимость полученных результатов**

Значимость результатов работы в теоретическом плане заключается в разработке автором теоретических и методических подходов к решению важной и сложной проблемы маршрутизации на основе интеллектуальных транспортных агентов, обладающих способностью к изменению оценок успешности, в условиях, когда каждый агент не обладает достаточными



ресурсами для выполнения заданий, и характеристики агентов в процессе решения задачи могут меняться.

Практическая значимость заключается в том, что применение предложенного подхода, основанного на коллективном поведении агентов, делает возможным решение задач маршрутизации большой размерности в условиях изменения параметров задачи в процессе нахождения решения. Программные реализации разработанных алгоритмов оформлены в виде свидетельства о регистрации программы для ЭВМ «Программный комплекс для решения распределительных задач с использованием коалиций интеллектуальных агентов», регистрационный N 2021617131 от 11.05.2021. Программный комплекс позволяет проводить прототипирование и отладку алгоритмов поведения автономных интеллектуальных технических систем.

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 8 печатных работ. Из них: 4 статьи опубликованы в рецензируемых журналах из списка ВАК или индексируемых в базах данных Scopus, 3 – в материалах всероссийских и международных конференций и 1 – свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов работы**

Результаты диссертационного исследования Горященко А.С. могут найти применение в:

- в системах поддержки принятия решений по мониторингу, анализу, прогнозу поведения и управлению большими управляющими системами для разработки специального математического и программного обеспечения;
- учебном процессе вузов, выполняющих подготовку студентов математических и социально-экономических специальностей в части применения методов управления в робототехнических и экономических системах.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. В первой главе диссертации значительное внимание уделено рассмотрению систем, основанных на правилах. В дальнейших главах недостаточно четко представлено применение таких систем или их элементов.

2. Во второй главе работы приведено краткое описание подхода «лингвистическая геометрия», однако связь между этим подходом и исследуемыми моделями не прояснена в достаточной мере.

3. Следовало бы сравнить характеристики разработанных в диссертации алгоритмов не только с оптимальными, но и с алгоритмами других авторов.

4. При оформлении текстов предложенных в работе алгоритмов было бы полезным пронумеровать каждую строку представленных алгоритмов и снабдить их более развернутыми комментариями.

5. Подписи на Рисунках 1, 2 и 3 следовало бы привести на русском языке.

Указанные замечания не умаляют общего высокого научного уровня диссертационной работы Горященко А.С. и не влияют на ее итоговую оценку.



### Заключение

Основываясь на вышеизложенном, диссертация Горященко А.С. «Оптимизация задач маршрутизации на основе взаимодействующих интеллектуальных транспортных агентов» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, важной для области системного анализа, управления и обработки информации.

Работа написана технически грамотным языком, содержит необходимые определения, постановку задачи, описание предлагаемых методов. Оформление диссертации выполнено с соблюдением требований к оформлению научных материалов. Автореферат соответствует диссертационной работе, точно и полно отражает ее содержание.

Диссертация полностью удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Горященко Алексей Сергеевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки).

Диссертационная работа и отзыв рассмотрены и одобрены на заседании кафедры информационных систем и телекоммуникаций.

Присутствовало 22 человека, Протокол № 2 от 06 сентября 2022 г.

Заведующий кафедрой информационных систем  
и телекоммуникаций МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
доктор технических наук (05.13.11), доцент

А.Н. Алфимцев