

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

доктора технических наук, доцента, Лебедева Олега Борисовича на диссертацию Хуссейна Фираса Аймановича «Методы решения многоагентной задачи коммивояжёра на основе сокращения поискового пространства», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика (технические науки)

### **1. Актуальность диссертационного исследования**

В диссертационной работе исследуется проблема повышения эффективности решения задачи мультикоммивояжера по критериям времени расчетов, общей длине маршрутов и сбалансированности нагрузки агентов. Актуальность решения данной проблемы обусловлена масштабным применением робототехнических систем в транспорте, логистике, промышленном производстве, сельском хозяйстве. Это повышает нагрузку на операторов и требует разработки методов, позволяющих эффективно распределять потоки возникающих задач между роботами в реальном времени в условиях ограниченных возможностей бортовых вычислителей.

Решению проблемы мультикоммивояжера посвящено значительное число исследований. Однако, эффективность ее решения зависит от многих факторов и ограничений, включающих вид оптимизируемого критерия, количество агентов и городов (задач), их распределение в пространстве, ограничения на время расчета и дальности действия агентов и др. Такая ситуация приводит к большой вариации в постановке задач и методов их решения. Как правило, для решения проблемы используются эвристические подходы. Основной причиной этого является быстрый рост вычислительной сложности в зависимости от числа агентов и городов. В этой связи рассматриваемые в диссертации методы решения задачи мультикоммивояжера, базирующиеся на сокращении поискового пространства, характеризуются теоретической и практической значимостью.

### **2. Научная новизна диссертационного исследования и полученных результатов**

В диссертации представлен новый гибридный метод решения задачи мультикоммивояжера, который интегрирует два подхода. В первом подходе вначале строится один маршрут, который проходит через все города, а затем этот маршрут распределяется между агентами. Такой подход назван в диссертации «сначала маршрутизация, затем кластеризация». Второй подход предполагает на первом этапе разбиение городов на кластеры, а на втором этапе оптимизируется обход городов внутри каждого кластера. Предложенный метод объединяет

указанные подходы и позволяет уменьшить время вычислений и повысить равномерность распределения задач между агентами.

В исследовании также предложен метод решения задачи мультикоммивояжера, который базируется на подходе «сначала маршрутизация, затем кластеризация» и отличается использованием алгоритма локального поиска, что позволяет повысить качество получаемого решения.

Исследование алгоритмов проведено с использованием численных экспериментов, которые показали эффективность предложенных методов по сравнению с существующими подходами.

### **3. Анализ содержания диссертации**

Введение диссертации содержит цель и задачи исследования, обоснование актуальности темы, определение объекта и предмета исследования, формулировку основных научных результатов, отличающихся новизной.

В первой главе приводится обзор и анализ методов и подходов к решению многоагентной задачи коммивояжера. Приводятся формальная постановка задачи мультикоммивояжера и описываются критерии решения этой задачи. Формулируется и доказывается лемма, на основе которой вводится критерий качества. В главе дается описание различных методов решения задачи коммивояжера. Отдельное внимание уделяется метаэвристическим методам и методам, в которых используется декомпозиция задачи.

Вторая глава посвящена разработке и исследованию метода, базирующегося на построении единого маршрута с последующей кластеризацией. Представленный метод на этапе построения маршрута использует муравьиный алгоритм, а на этапе кластеризации – предложенный диссертантом алгоритм, который объединяет «жадный» поиск и метод перебора, что позволяет достичь баланса между качеством решений и вычислительной эффективностью. Вводится дополнительный этап улучшения полученных маршрутов. Разработанный на основе предложенного метода алгоритм исследуется на известных тестовых задачах eil51 и KroA100, KroA150.

В третьей главе проводится разработка и исследование гибридного метода решения задачи мультикоммивояжера, который объединяет подходы «сначала маршрутизация, затем кластеризация» и «сначала кластеризация, затем маршрутизация». Приводится описание предложенного метода, включающего четыре этапа – кластеризацию, маршрутизацию, соединение, разделение. Проводится эмпирическая оценка временной сложности и оценка масштабируемости предлагаемого метода по отношению к числу городов и агентов. Разработанный на основе предложенного гибридного метода алгоритм также исследуется на известных тестовых задачах eil51 и KroA100, KroA150.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям, в ходе которых подтверждена достоверность количественных характеристик результатов сравнительных анализов, полученных в третьей главе, с помощью

симулятора. Проведена оценка статистической значимости результатов на основе Т-тестов.

Заключение содержит обобщение полученных в диссертации результатов и основные выводы.

#### **4. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Основные научные положения, выносимые на защиту, подтверждаются корректной постановкой задачи мультикоммивояжера, обоснованно введенными критериями и статистически значимыми результатами экспериментов.

Основные выводы подтверждены результатами численных экспериментов и согласуются с известными в литературе данными. Результаты не противоречат известным научным положениям в области численной оптимизации.

#### **5. Достоверность результатов**

Полученные на основе предложенных методов алгоритмы сравниваются с известными алгоритмами с использованием общепринятых тестовых задач eil51 и KroA100, KroA150. Проведенные объемы экспериментов позволяют сделать статистически обоснованные выводы о качестве решения задачи мультикоммивояжера.

Результаты экспериментов подтверждаются использованием симулятора с верифицированными моделями агентов и среды их функционирования.

Основные положения диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях и апробированы на научных конференциях.

#### **6. Замечания**

1. Как правило, агенты имеют индивидуальные ограничения на допустимую длину маршрута. В диссертации такие ограничения, не учитываются.

2. Алгоритм разделения маршрута между агентами в главе 2 строится исходя из начальной длины маршрута, которая одинаковая для всех агентов. Это предположение обосновано не для всех начальных конфигураций агентов и городов.

3. В тексте диссертации не в полной мере обоснован выбор симулятора для экспериментальной проверки предлагаемых методов и разработанных на их основе алгоритмов. По каким критериям выбран данный симулятор?

4. В тексте диссертации встречаются опечатки.

#### **7. Заключение**

Диссертационное исследование Хуссейна Фираса Аймановича представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, направленную на решение актуальной проблемы повышения эффективности

