

Санкт-Петербургский государственный университет
Кафедра системного программирования
Группа 21-М07-мм

Децентрализованная система по решению
задачи маршрутизации на основе
мультиагентного подхода.

СМИРНОВ Юрий Константинович
Выпускная квалификационная работа

Отчет по преддипломной практике
Направление 09.04.04 "Программная инженерия"
в форме "Решения"

Научный руководитель:
д.ф-м.н., профессор О.Н. Граничин

Санкт-Петербург
2023

Введение

Быстрое развитие интернета и легкий доступ к онлайн-платежам создали благоприятную среду для продаж в электронной коммерции. Удовлетворение потребностей клиентов на рынке является целью каждой организации, однако становится все труднее доставлять товары клиентам в требуемых количествах по возможно более низкой цене. Для обеспечения мобильности и минимизации транспортных расходов возникает необходимость в планировании маршрутов движения транспортных средств, и, как следствие, решения различных транспортных задач.

На сегодняшний день существует множество различных математических методов, которые предназначены для решения проблемы маршрутизации транспортных средств (Vehicle Routing Problems, VRP). Vehicle Routing Problems - является обобщением для целого класса задач, целью которых является поиск экономически эффективных маршрутов доставки товаров со склада клиентам с использованием транспортных средств. Указанный класс задач имеет множество применений в реальных условиях. В данной работе будет сделан основной упор на решение проблемы с построением оптимального маршрута для транспортного средства с ограниченной вместимостью (Capacitated vehicle routing problem, CVRP). Данная проблема была введена Данцигом и Рамзером в 1959 году. Математически CVRP предоставляется в качестве полного направленного графа $G=(V, H, c)$. Здесь $V = \{0, 1, \dots, n\}$ – это множество узлов, причем узел 0 представляет депо для r транспортных средств с одинаковой емкостью Q и n узлами, которые представляют географически рассредоточенных клиентов. Матрица $H = (i, j) : i, j \in V, i \neq j$ описывает множество дуг, которые в нашем случае будут представлять транспортную сеть между узлами. Здесь каждый клиент $i \in V$, будет имеет определенный положительный спрос $d_i < Q$, а стоимость перемещения c_{ij} связана с каждой дугой $(i, j) \in H$.

Главным недостатком существующих классических подходов в том, что они являются NP-полным. Этот факт говорит о том, что

для получения точного ответа будет требоваться выполнение сложного вычислительного процесса и большого количества затраченного времени. Также еще одним не менее важным недостатком является централизованный подход и невозможность быстрой адаптации к обновляющимся данными в режиме реального времени, а на практике часто приходится сталкиваться с различными сложностями. Например, в ряде случаев, приходится иметь дело с приближенными или искаженными входными данными об заказчиках, конечных адресах доставки, также существует большая вероятность возникновения различных чрезвычайных ситуаций: технических сбоев на предприятии, поломка транспортного средства, аварий на дорогах и т.д.

Из вышесказанного становится понятно, что вопрос оптимизации транспортной логистики является очень важным для большинства предприятий. От решения этой задачи напрямую зависит цена на товар, а в некоторых областях рынка расходы на доставку товара соизмеримы с его стоимостью. При правильной организации транспортировки можно существенно уменьшить экономические затраты. Именно поэтому сейчас стало важным иметь получение оптимального решения в кратчайшие сроки.

Сегодня для решения проблем транспортной логистики существуют множество систем, которые выступают в роли незаменимого инструмента. Он позволяет автоматизацию ключевых процессов по ведению хозяйственных операций и составлению оптимальных маршрутов. Ярким примером таких программных комплексов являются: Route Planner, IBM ILOG Transportation Analyst, Roadnet Technologies, Logistics Master, Top Logistic, Эрмасофт, 1С:TMS и т.д. Сравнительный анализ данных систем показал, что они предполагают грамотную организацию всей работы хозяйственной деятельности, централизованные и не способны автономно выполнять задачи по управлению и планированию ресурсами предприятия в реальном времени.

В этой связи с этим становится актуальной задача по разработке, децентрализованной системы, которая будет пригодна для

решение возникающих проблем с оптимизацией управления, планирования и контроля.

1 Постановка задачи

Целью дипломной работы является разработать децентрализованную систему, решающую задачи транспортной маршрутизации с ограниченной грузоподъемностью транспорта на основе мульти-агентного подхода. Для достижения обозначенной цели были поставлены следующие задачи:

- Провести сравнительный анализ между мультиагентный подходом и существующими централизованными подходами. Выявить основные преимущества
- Провести сравнительный анализ существующих методов для решения задачи маршрутизации транспортных средств с ограниченной грузоподъемностью
- Разработать эффективный метод решения задачи маршрутизации транспортных средств с ограниченной грузоподъемностью
- Выполнить программную реализацию метода
- Апробировать разработанный алгоритм

2 Обзор

2.1 Сравнение анализ существующих

В данной главе делается сравнительный анализ существующих (централизованных подходов) с мультиагентным.

2.1.1 Системы на основе систем математических уравнений

Подход основан на построении математических моделей, содержащих набор переменных, связанных различными алгебраическими или дифференциальными уравнениями. Помимо очевидных преимуществ возможности получения точного решения, у этого подхода есть ряд недостатков: с ростом числа принимаемых во внимание факторов, может потребоваться существенная доработка модели, часть зависимостей может иметь табличный или даже алгоритмический характер, который трудно описать уравнениями, многие универсальные классические алгоритмы не учитывают индивидуальные особенности рассматриваемых в модели объектов. Существующие методы планирования, рассматриваемые в исследовании операций и теории расписаний, не позволяют адаптивно строить связанные планы управления различными ресурсами и решают, в основном, логистические задачи в узких постановках, исходя из предположения, что все исходные данные известны заранее и не меняются в ходе вычислений, что в реальной жизни постоянно нарушается непредвиденными событиями, такими как выход из строя ресурсов, приход приоритетных заказов, задержки при выполнении операций и т.д. Наконец, применение классических комбинаторных методов может быть неприемлемым вследствие экспоненциального роста времени вычислений, сопровождающего рост размерности задачи. Сложность современных производственных и технических систем обусловлена не только увеличением количества входящих в их состав элементов и внутренних связей между ними, но и ростом неопределенности условий их функционирования.

Способность быстро адаптироваться к происходящим изменениям становится важнейшей характеристикой, напрямую определяющей экономическую эффективность. Изменению могут быть подвержены не только численные параметры решаемой задачи, такие как число заказов и ресурсов, но и сами знания, лежащие в основе процессов принятия решений, например, сведения об изделиях и технологических процессах, возможностях применения ресурсов в контексте различных ситуаций и т.д.

2.1.2 Системы основные на нейронные сети и машинного обучения

В основе подхода лежит применение нейронных сетей для прогнозирования состояния и поведения объекта управления. нейронных сетей для прогнозирования Такой подход позволяет использовать собранные исторические данные, чтобы выявить зависимости между параметрами объекта управления, достигая стабильного решения, даже при наличии шумов и ошибок в данных. В отличие от параметрических математических моделей, модели машинного обучения не требуют полного описания процессов, происходящих внутри объекта, и вместо этого, используют статистические паттерны, содержащиеся в наборе данных. Однако, нейронные сети также имеют недостатки, такие как длительный процесс обучения и необходимость переобучения при изменении условий работы объекта. Кроме того, модель, построенная на основе машинного обучения, может быть хаотичной и сложной для переделки и корректировки с целью добавления дополнительных параметров, не задокументированных в наборе данных. В будущем, однако, методы машинного обучения могут стать полезным инструментом для калибровки моделей с более глубоким осмыслением объекта управления.

2.1.3 Системы на основе мультиагентных технологий

С учетом сказанных особенностей данный подход является более предпочтительным. Такие системы часто представляют собой

формализованную модель знаний предметной области, которая может настраиваться в соответствии с особенностями работы каждого предприятия. Практика управления ресурсами показывает, что для эффективности и качества планирования необходимо учитывать содержательные особенности и знания специалистов, определяющих семантику предметной области и характеристики решаемых задач. Мультиагентные технологии позволяют каждому объекту производственного предприятия иметь свой класс программного агента, который действует от их лица и выступает в роли микроконтроллера. События, происходящие с этими объектами, могут вызывать адаптивную перестройку и пересмотр планов предприятия в реальном времени с разработкой вариантов управляющих воздействий, которые далее согласовываются с исполнителями через мобильные устройства.

2.1.4 Результаты сравнений

Проанализировав технологии для разработки системы, отобразил результаты сравнения в таблице 1.

Таблица 1: Таблица сравнения технологий по созданию децентрализованной системы

Математических уравнений		Машинное обучение и нейронные сети		Мультиагентный подход	
Преимущество	Недостатки	Преимущество	Недостатки	Преимущество	Недостатки
Достижение глобального оптимума по одному целевой функции	Централизованная – не подходит для учета и поиска баланса интересов участника в консенсусе. Большие временные затраты	Подходят для решения узких задач, в большинстве случаев — это распознавание различных образов	Большие временные затраты, требующие длительного и точного обучения	Решает сложные задачи управление ресурсами путем разбиения ресурсов по агентам	Высокая эластичность и трудоемкость
Отработанный и хорошо изученный метод. Используется для решения любых задач планирования и оптимизации.	Очень высокая вычислительная сложность комбинаторного перебора всех возможных вариантов	Дает устойчивое решение даже при наличии ошибок в данных, помех и шумов	При изменении ситуации во внешней среде надо начинать обучение заново, трудно определить этот момент	Возможность учета индивидуальных особенностей заказов и ресурсов	При изменении ситуации во внешнем мире требует коррекции базы знаний и/или изменения состава агентов
Существует большое количество готовые программные продукт на рынке	Усложненное внедрение в структуру предприятия, сложность работы для пользователей	Возможность купить готовый программный продукт на рынке	Невозможность адаптации под нестандартные случаи. Отсутствие синхронизации с реальными данными в режиме реального времени	Присутствует возможность работы в адаптивном режиме для быстрого ответа на событие и синхронизации с реальными данными предприятия	Усложненный диалог с пользователями.
Легко встраивается в существующие бизнес-процессы и регламенты предприятия	Сложность в настройки алгоритмов на решение практических задач	Возможность использования накопленных «исторических» знаний, данных	Сложность в настройки алгоритмов на решение практических задач	Производится учет предметной области на предприятии в базе знаний	Трудность внедрения из-за возможного изменения бизнес-процесс

2.1.5 Вывод по главе

Явным преимуществом мультиагентного подхода, по сравнению с другими системами, является:

1. Мультиагентная система предлагает делегировать контроль за поведением программных объектов самим объектам, наделив их возможностью реагировать на внешние сигналы и запретив на прямую вмешиваться в логику работы других объектов.
2. Имеет возможность выделения агентам собственных потоков управления, обеспечив возможность их параллельной работы в многопоточной среде организовывая децентрализованную систему.
3. Дает возможность создать децентрализованную среду

2.2 Виды задач VRP

Впервые задача по VRP упоминается в статье, которая была написана Данцигом и Рамсером (Dantzig and Ramser, 1959) около 60 лет назад. Она была сосредоточена на решении реальной проблемы, в которой найти оптимальное решение по доставке бензина грузовиками от АЗС до АЗС. Это стало отправной точкой по разработки данной задачи, которая в настоящее время является одной из наиболее известных задач в области комбинаторной оптимизации. Общий смысл задачи заключается в том, что несколько транспортных средств должны доставлять товары клиентам с минимальными транспортными затратами. Результатом решения такой задачи является набор закрытых маршрутов к депо, которые удовлетворяют условию, что каждый клиент посещается только один раз. В данных видах задач минимизация транспортных расходы оптимизируются за счет сокращения количества транспортных средств и оптимизации маршрутов.

Сегодня для большинства задач маршрутизации транспорта вводятся дополнительные ограничения, которые можно классифицировать следующим образом:

- Capacitated Vehicle Routing Problems (CVRP) - это задача по маршрутизации транспортных средств с ограниченной вместимостью груза.
- Vehicle Routing Problems with Time Windows (VRPTW) - задача по маршрутизации транспортных средств, имеющая ограничения на посещение клиентов и доставку груза в определенном временном интервале.
- Multiple Depot Vehicle Routing Problems (MDVRP) - задача по маршрутизации транспортных средств с несколькими депо, которые можно использовать для обслуживания клиентов.
- Periodic Vehicle Routing Problem (PVRP). - задача по маршрутизации транспортных средств с возможностью доставки грузов в

течение длительного периода времени. Здесь период доставки заказа может быть расширен до нескольких дней, по истечении которых каждый клиент должен быть посещен как минимум один раз. К тому же, транспортное средство может вернуться в депо в следующие дни после отправления.

- Stochastic Vehicle Routing Problem (SVRP). - задача по маршрутизации транспортных средств, где для описания количества клиентов, их запросов или расстояния маршрутов могут быть использованы случайные переменные. Во время решения такой задачи параметры могут измениться.

В данной работе мы подробно остановимся на обзоре проблемы Capacitated Vehicle Routing Problems (CVRP).

2.2.1 Постановка задачи CVRP

Задача маршрутизации транспортных средств с большой вместимостью (CVRP) является одной из самых сложных задач комбинаторной оптимизации, которую можно описать следующим образом: Существует логистическая компания, которой необходимо доставить товары определенному количеству клиентам, используя парк транспортных средств, который находится на центральном складе, где определены места расположения депо и клиентов.

Цель задачи состоит в том, чтобы составить жизнеспособный логистические маршруты, который минимизируют расстояние или общую стоимость перевозки товаров при соблюдении следующих ограничений:

- Каждый клиент обслуживается ровно один раз ровно одним транспортным средством;
- Каждое транспортное средство начинает и заканчивает свой маршрут на складе;
- Общая протяженность каждого маршрута не должна превышать установленного ограничения;

- Общая потребность на любом маршруте не должна превышать вместимость транспортного средства.

2.2.2 Математическая модель задачи CVRP

Модель данной задачи можно представить в виде полного направленного графа $G = (V, H, c)$. Здесь $V = \{0, 1, \dots, n\}$ – это множество узлов, причем узел 0 представляет депо для p транспортных средств с одинаковой емкостью Q и n узлами, которые представляют географически рассредоточенных клиентов. Матрица $H = \{(i, j) : i, j \in V, i \neq j\}$ описывает расстояние между множеством дуг, которые представляют транспортную сеть между узлами. Здесь каждый клиент $i \in V, i \neq 0$, будет иметь определенный положительный спрос $d_i < Q$. Стоимость перемещения c_{ij} связана с каждой дугой (i, j) . Матрица стоимости является симметричной $c_{ij} = c_{ji}$ для всех $i, j \in V, i \neq j$ и удовлетворяет условию неравенства треугольника, которое можно отобразить следующим образом $c_{ij} = c_{ji} < c_{ik}$ для всех $i, j, k \in V$. Минимальное необходимое количество транспортных средств для обслуживания всех клиентов вычисляется как $\sum_{i=1}^n$.

Предположим, что депо является узлом 0, и N клиентов должны быть обслужены K транспортными средствами. Требование клиента i равно q_i , где вместимость транспортного средства k равна Q_k , а максимально допустимое расстояние проезда транспортного средства k равно Dk . Математическая модель CVRP, основанная на выше описанной формулировке, представляется следующим образом:

$$\sum_{r=1}^p \sum_{i=0}^n \sum_{j=0, i \neq j}^n c_{ij} X_{rij} \quad (1)$$

С учетом условий:

$$\sum_{r=1}^p \sum_{i=0, i \neq j}^n X_{rij} = 1, \forall j \in \{1, \dots, n\} \quad (2)$$

$$(3)$$

$$\sum_{j=0}^n X_{r_0j} = 1, \forall j \in \{1, \dots, p\} \quad (4)$$

$$\sum_{i=0, i \neq j}^n X_{rj} = \sum_{i=0, i \neq j}^n X_{rji}, \forall r \in \{1, \dots, p\}, j \in \{0, \dots, n\} \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0, i \neq j}^n d_j X_{rij} \leq Q, \forall r \in \{1, \dots, p\} \quad (6)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0, i \neq j}^n d_j X_{rij} \subseteq |S| - 1, \forall S \subseteq \{1, \dots, n\}, i \neq j \quad (7)$$

$$X_{rij} \in \{0, 1\}, \forall r \in \{1, \dots, p\}, i, j \in \{0, \dots, n\}, i \neq j \quad (8)$$

Здесь функция 1 описывает минимизацию общей стоимости всех перевозок. Функция 2 накладывает ограничение на модель, гарантируя что каждый клиент будет обслужен ровно одним транспортным средством. Функции ограничения 3 и 4 гарантируют, что каждое транспортное средство может покинуть депо только один раз, а количество транспортных средств, посещающих каждый узел, равно количеству покидающих его. Функция 5 задает ограничения вместимости транспортного средства, устанавливая, что сумма требований клиентов, принадлежащих маршруту транспортного средства, меньше или равна емкости транспортного средства, следующего по этому маршруту. Функция (6) отклоняет решения, которые не содержат циклов, исключаяющих депо. Функция 7 определяет области определения переменных.

Для наглядности отобразим описанные выше условий в виде рисунка.

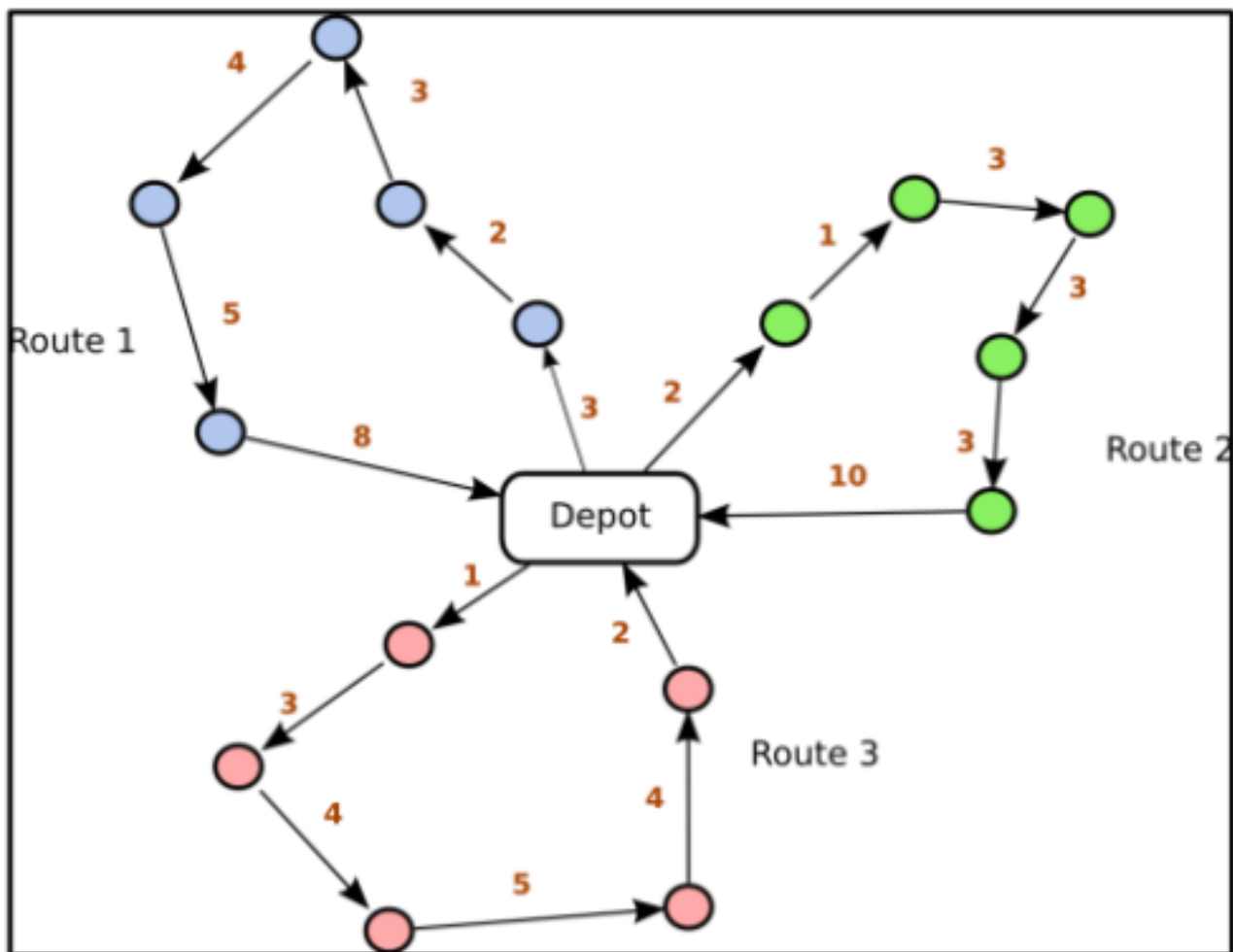


Рисунок 1. Проблема с маршрутом вместительного транспортного средства для 15 клиентов и 5 транспортных средств.

2.3 Анализ программных решений задач маршрутизации транспортных средств

В текущей быстро изменяющейся среде, где объемы перевозок только растут, программное обеспечение для управления логистикой имеет критическое важное значение для цифровой трансформации каждой точки взаимодействия в цепочках поставок. В данной главе будет произведен сравнительный анализ наиболее популярных программных продуктов, которые используются предприятиями для автоматизации и оптимизации логистических процессов.

Программный продукт Route Planner от компании ESRI - это графическая система планирования маршрутов на основе данных ГИС. Она основана на технологии ArcGIS и предлагает широкий спектр функций для визуализации данных, анализа маршрутов и расчета времени в пути.

Программный продукт Transportation Analyst от компании IBM ILOG - это решение для оптимизации маршрутов и расставления полученных на основе алгоритмов оптимизации логистических процессов. IBM ILOG Transportation Analyst также включает в себя интеллектуальные алгоритмы, которые учитывают такие факторы, как топология города, наличие различных видов транспорта и ограничения на пути следования.

Программный продукт Roadnet Transportation Suite - это полноценная платформа для планирования маршрутов и управления транспортными ресурсами. Включает в себя модульный набор компонентов, такие как Roadnet Anywhere, Territory Planner, MobileCast и др. Она позволяет создавать более эффективные транспортные маршруты, управлять флотом транспортных средств и оптимизировать логистические операции.

Программный продукт Roadnet Transportation Suite ITOB (Центр логистики) - это Российская система, предназначенная для логистики и оптимизации маршрутов на основе алгоритмов искусственного интеллекта. Она автоматически рассчитывает более оптимальный и быстрый маршрут, учитывая наличие препятствий и пробок на пути.

Программный продукт LogisticsMaster от компании АНТОР-это полноценная платформа, которая оптимизирует затраты на перевозку грузов, создавая оптимальный маршрут, управляет загрузкой и разгрузкой, а также оказывает услуги по электронному документообороту.

Программный продукт Top Logistic от компании Топ план -это оперативная система управления маршрутами и транспортом, которая позволяет оптимизировать транспортные процессы и сократить расходы.

Программный продукт 1С:TMS от компании 1с и AXELOT-это интегрированная система для управления транспортными средствами и транспортными операциями. Включает в себя функционал для планирования маршрутов, контроля грузов и расходов.

Проведя сравнительный анализ систем, пришел к выводу, что каждый из перечисленных программных продуктов является уникальным и представляет свои особенности и преимущества. Однако, были выявлены общие особенности, а именно: присутствие функций по оптимизация транспортных маршрутов, управлению логистическими ресурсами, контролю за транспортными операциями и снижению затрат на транспортировку грузов. Главным минусом данных систем является централизованный подход, опирающийся на использование математических уравнений для решения транспортных задач, что приводит к невозможности использование автономно, децентрализованного подхода к задачи по управлению и планированию ресурсами предприятия в режиме реальном времени.

2.4 Вывод

В ходе проведенного анализа, связанного с описанием главы 2 "Обзор" сделаны следующие действия, а именно:

- Проведен сравнительный анализ подходов для реализации децентрализованной системы по решению задачи маршрутизации. В результате анализа, сделан вывод о применении в разработке мультиагентного подхода. Так он предлагает делегировать контроль за поведением программных объектов самим объектам, наделив их возможностью реагировать на внешние сигналы и запретив напрямую вмешиваться в логику работы других объектов. А также сильной стороной данного подхода возможность выделения агентам собственных потоков управления, обеспечив возможность их параллельной работы в многопоточной среде, организовывая децентрализованную систему.
- Рассмотрены и даны определения основным задачам транспортной маршрутизации (VRP). Подробно рассмотрена математическая модель задачи маршрутизации транспортных средств с большой вместимостью (CVRP).
- Произведена постановка практической задачи по созданию мультиагентной системы
- На основе реализованных алгоритмов, проведен сравнительный анализ существующих, которые можно использовать в реализации децентрализованной системы по решению задачи маршрутизации на основе мультиагентного подхода. В результате сравнения жадного алгоритма, алгоритма локального и глобального голосования

3 Методы

3.1 Построение мультиагентной модели

Мультиагентное моделирование – это новое относительно новое направление, которая используется в решении различных практических задач. Существенный вклад в развитие данного направления внесли: Граничин О.Н., Борщев А.В., Стефанюк В.Л., Виттих В.А., Гольдштейн С.Л., Клыков Ю.И., Городецкий В.И., Емельянов С.В., Карпов Ю.Г., Соколов Б.В., Кобелев Н.Б., Попов Э.В., Поспелов Д.А., Прицкер А., Советов Б.Я., Скобелев П.О., Смирнов С. В., Вавилов А.А., Хорошевский В.Ф., Швецов А.Н., Шеер А.В.

Что понимается под мультиагентным моделированием? Под мультиагентное моделирование подразумевается вид имитационного моделирования, где динамика функционирования системы определяется не заранее установленными правилами и законами, а наоборот, эти глобальные правила и законы формируются в результате индивидуальной активности агентов системы. Для изучения коллективного поведения агентов и координации их поведения в мультиагентной системе следующие модели :

Модель коллективного поведения автоматов. Данная модель основана на самоорганизации и распределенности, используются в задачах с большим количеством простых взаимодействий;

Модель планирования коллективного поведения. Данную модель принято применять для реализации централизованного и распределенного планирования; Модель на основе логического вывода. Данная модель решает поставленные задачи путем согласования результатов логического вывода в базах знаний отдельных агентов в процессе моделирования, что приводит к высокой сложности моделей и вычислительным трудностям;

Модель на основе конкуренции. Данная модель использует используют механизм проведения аукционов. Данная модель является актуальной для реализации децентрализованной системы планирования и будет подробно рассмотренный в работе. Применение

данной модели эффективно для моделирования систем, содержащих большое количество активных объектов.

3.2 Стандарты взаимодействия в мультиагентной системе

Стандарты взаимодействия используются в распределенных системах для организации общения агентов. Для взаимодействия агентов в МАС используются универсальные языки взаимодействия агентов (FIPA, KQML, AgentSpeak, April); Сегодня наиболее популярными стандартами, определяющими язык общения агентов, являются: FIPA Foundation for Intelligent Physical Agents и KQML Knowledge Query and Manipulation Language.

Стандарт FIPA. Разработан комитетом FIPA. Он включает язык FIPA ACL (Agent Communication Language), с помощью которого агенты могут передавать сообщения определенного формата посредством различных сервисов передачи данных, и LISP–подобный язык описания содержимого сообщения FIPA SL (Semantic Language). Внутренняя архитектура стандарта FIPA состоит из следующих сервисов, объединенных в общий реестр: сервис передачи сообщений; сервис регистрации агентов в «мире» (т.е. в МАС); сервис описания языка общения агентов; реестр всех сервисов. Данная архитектура может взаимодействовать с внешними системами для управления и реализации текущих задач агентов. Для передачи сообщения, агент должен найти адресата в специальном реестре «живых» агентов, т.е. агентов, проявляющих какую–либо активность, в котором любой агент системы может зарегистрироваться, исключиться, найти другого агента или изменить сведения о себе, хранящиеся в данном реестре. Реестр, в свою очередь, состоит из набора экземпляров – записей данных об агентах.

Стандарт KQML. Разработан комитетом ARPA (Advanced Research Projects Agency). Он включает язык KQML – «внешний» язык, который определяет множество допустимых коммуникативных действий (performatives) и LISP– подобный язык описания содержи-

мого сообщения – KIF (Knowledge Interchange Format). Стандарт состоит из трех уровней: коммуникативный уровень (описывает такие параметры как отправитель, получатель, различные идентификаторы сообщения), уровень сообщения (описывает запросы, управляющие действия, а так же протокол для интерпретации сообщения), уровень содержания (содержит информацию, сопровождающую запросы уровня сообщения). Стандарт характеризуется следующими основными особенностями:

- Агенты связаны односторонними каналами связи, по которым передаются фиксированные сообщения;
- Каналы связи могут иметь ненулевую задержку передачи сообщения;
- При получении сообщения агент определяет, от кого и по какому входному каналу это сообщение поступило;
- Агент может отправить сообщение только по определенному каналу;
- Сообщения для конкретного адресата поступают в порядке очереди отправки; 6. доставка сообщений абсолютно надежна.

Стандарт поддерживает как синхронную, так и асинхронную передачу сообщений. Агенты могут общаться напрямую с другими агентами (указывая символьное имя), рассылать широковещательные сообщения или «просить» об этом других агентов участников общения. Далее приведены примеры прикладных систем, реализованных с использованием KQML.

3.3 Алгоритмы решения задачи маршрутизации транспортной логистики

В этой главе рассмотрим известные алгоритмы, которые позволяют задачи маршрутизации транспортных средств с ограниченной грузоподъемностью.

1. Классические алгоритмы

- Метод ветвей и границ
- Метод ветвей и отсечений

Данные алгоритмы дают оптимальные решения. Однако, как уже оговаривалась, в связи с тем, что задача CVRP является NP-сложной, то данный тип алгоритмов будет работать максимально эффективно только при малых размерностях.

2. Эвристические алгоритмы

- Жадный алгоритм

Особенность данных алгоритмов в том, что они дают решения, приближенные к оптимальному. При этом правильность правил, которые заложены в их реализацию не доказана. Быстродействие данных алгоритмов при большом количестве данных обусловлена тем, что в процессе работы происходит отсечение большого количества ненужных решений.

3. Метаэвристические алгоритмы

- Поиск с запретами
- Управляемый локальный поиск
- Управляемый глобальный поиск

Данный тип алгоритмов, как и эвристический, является мощным инструментом, который позволяет находить решения сложных задач без знания пространства поиска. Они дают возможность решать трудноразрешимые задачи по оптимизации маршрута, а их отличительной особенностью перед эвристическими алгоритмами является большая степень эвристики и наименьшая вероятность попадания в локальные экстремумы.

Реализов, каждый из описанных алгоритмов, отобразил в виде графической реализации (См. Рис 3.1 - 3.5).

Результат графической реализации алгоритмов:

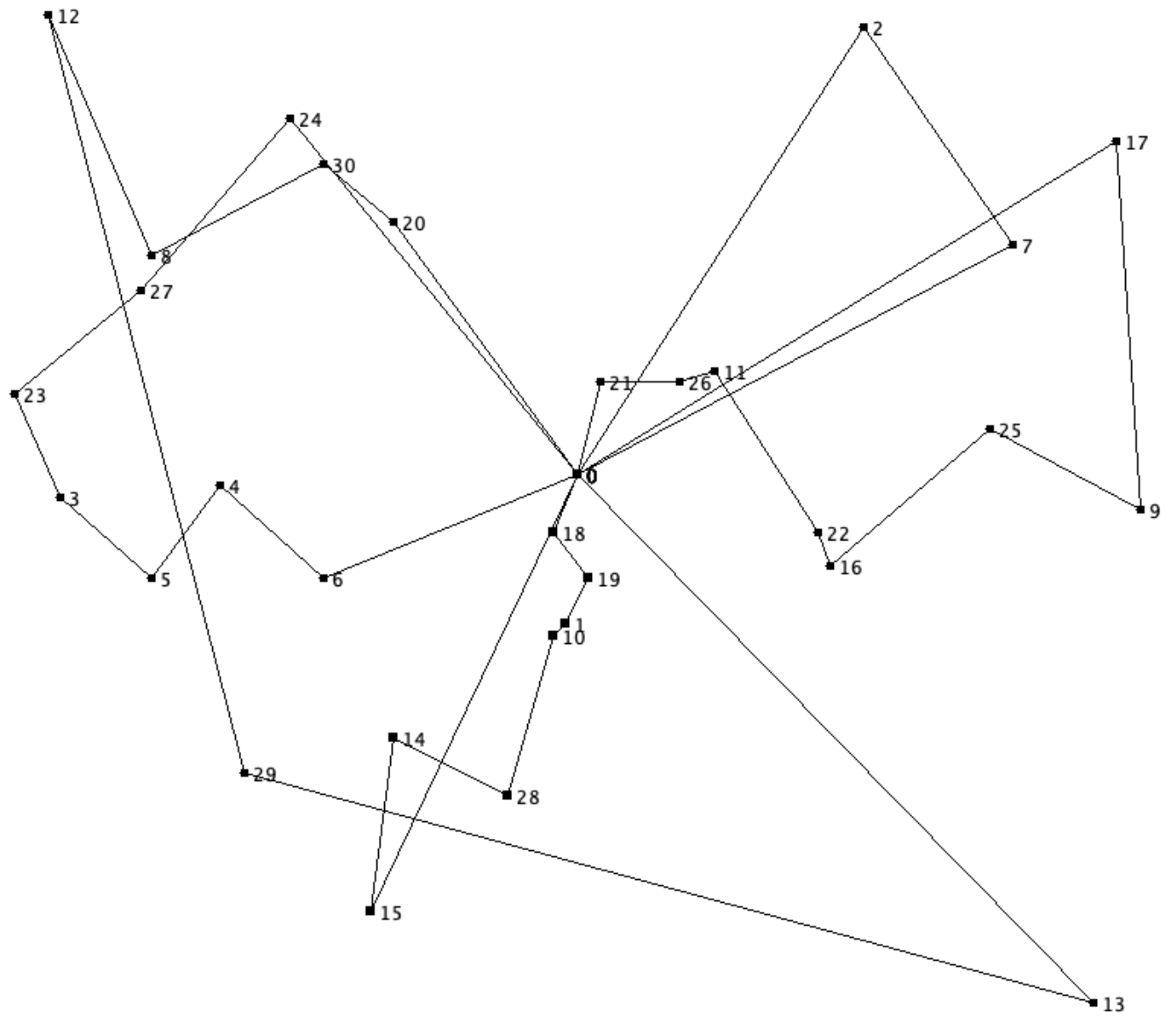


Рисунок 3.1. Результат работы "Жадного алгоритма".

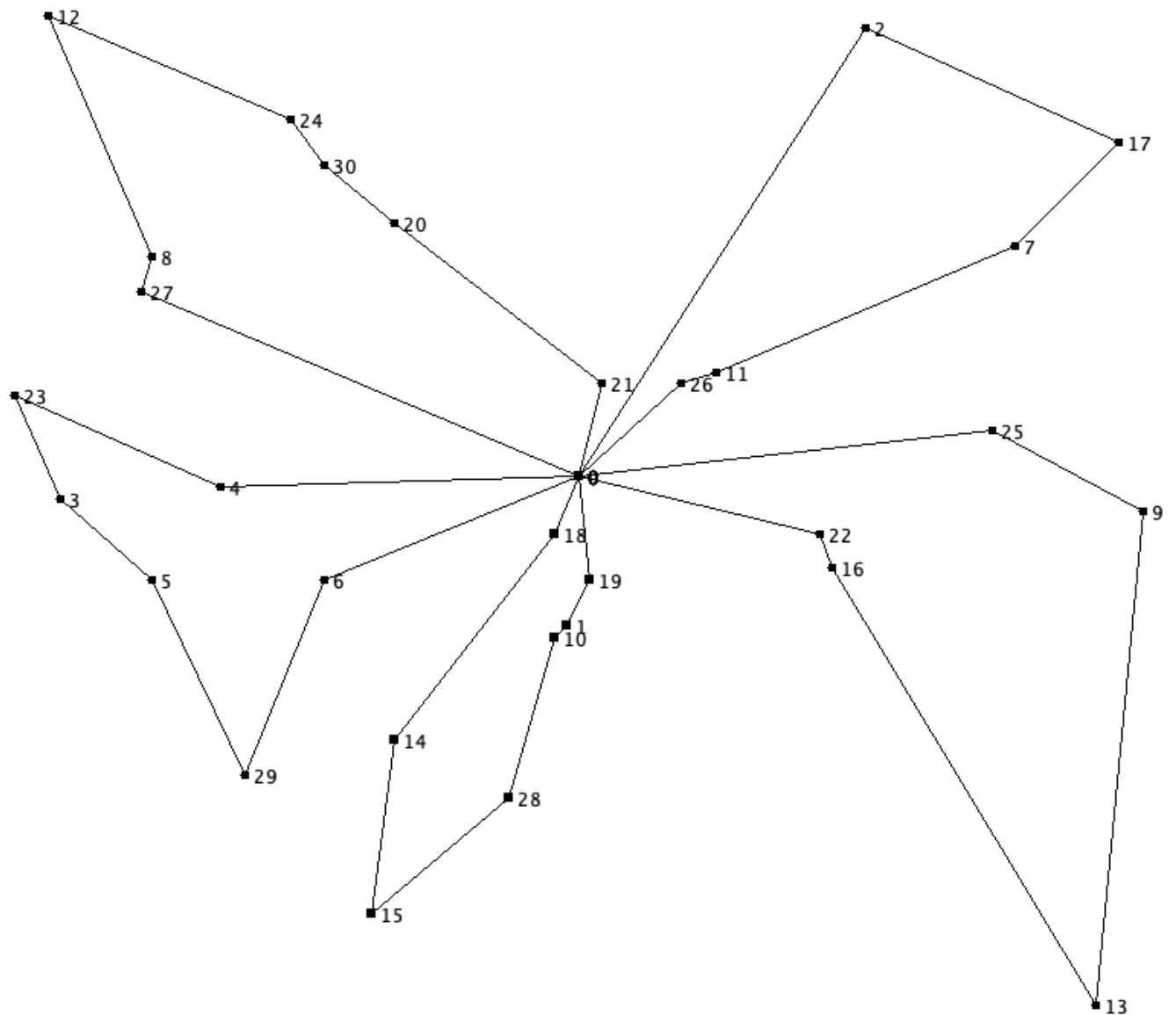


Рисунок 3.2. Результат работы алгоритма "Управляемого локальный поиска".

—

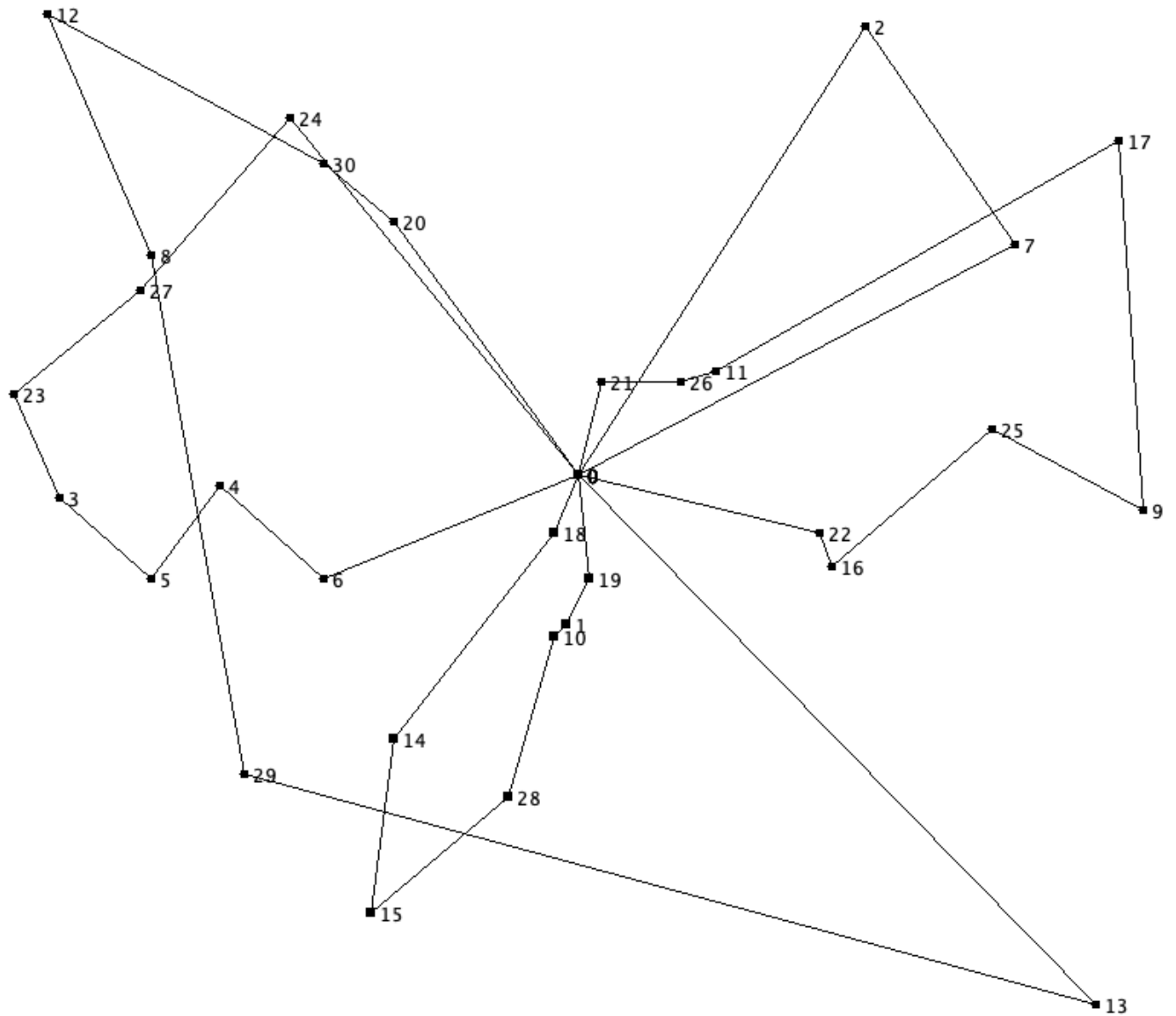


Рисунок 3.3. Результат работы алгоритма "Управляемого глобального поиска".

—

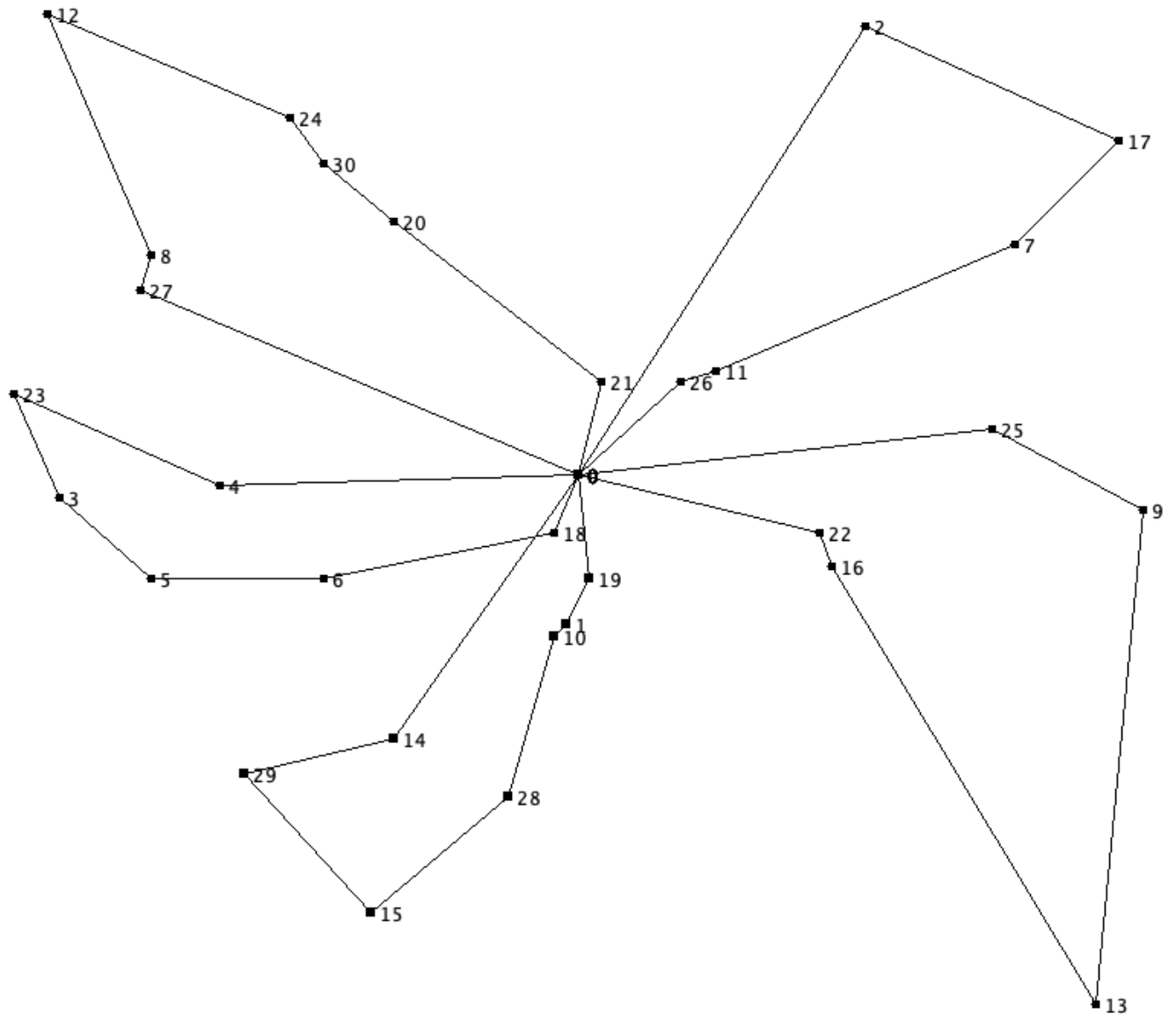


Рисунок 3.4. Результат работы алгоритма "Исключающего алгоритма".

А также произвел сравнительный анализ по скорости работы алгоритмов и точности их решения. Результаты записал в таблицу 3.1.

Сравнение записал в таблицу 2.2.

4 Программная реализация

4.1 Архитектура мультиагентной модели

Архитектура модели состоит из трех классов агентов:

- агента-супервайзера "Диспетчер который отвечает за создание первоначального решения и распределение заданий между различными транспортными средствами;
- агента "Транспортное средство который использует оптимизатор, основанный на табу поиске, для построения оптимального маршрута перемещения.
- агент "Заказчик который сообщает агентам о своем местоположении и товаре.

Описанную выше архитектуру модели, можно отобразить следующим образом (см. Рис 4.1).

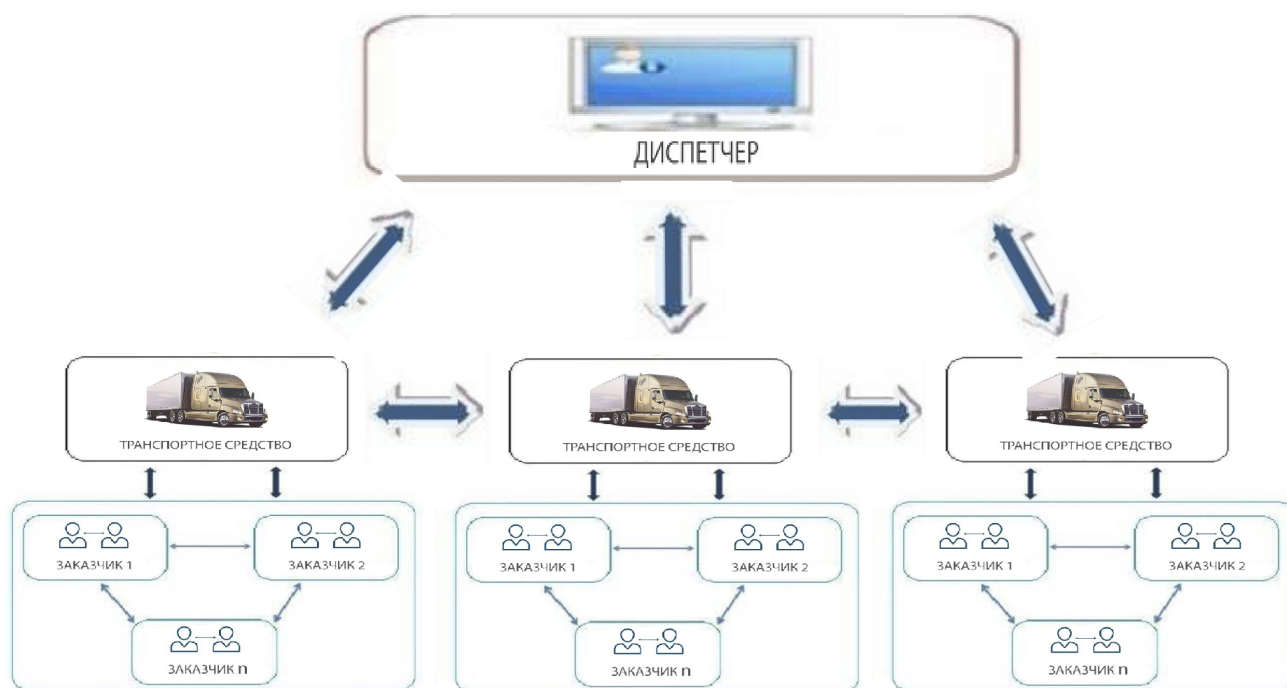


Рисунок 4.1. Архитектура мультиагентной модели.

А. Агент-диспетчер. Этот агент рассматривается как интерфейс между пользователем и программой и как супервизор всех программных последовательностей. Он запускает программу и создает необходимое количество агентов “Транспортное средство” и “Заказчик”. В начале своей работы он генерирует первоначальное точку для ТС и предоставляет необходимую информацию для каждого агента. Агент-супервайзер обладает двумя типами знаний. Статические знания, такие как: - Первоначальное решение, созданное самим агентом супервизора. - Критерий остановки для фазы глобальной оптимизации - Необходимые переменные для выполнения программы. - Найденные решения после этапа оптимизации. - Лучшее найденное решение после этапа оптимизации. И динамическое знание как: - Текущее первоначальное решение. - Все найденные решения и их время выполнения (Стах).

В. Агент ТС Этот класс агентов отвечает за планирование собственных маршрутов, опираясь на наилучшее время выполнения после каждой итерации поиска по табу, которые он отправляет в Агент-диспетчер. Статические знания агента фабрики приводятся следующим образом: - Первоначальное значение определенное агентом - диспетчером - Размер списка табу. И динамическое знание как: - Рабочие операции, связанные с агентами, - Все найденные решения и их продолжительность.

С. Агент-заказчик Этот класс агентов нацелен на выполнение сообщения агентам системы о своем статусе и местоположении

4.2 Архитектура приложения

Архитектуру разработанного приложения и обмен между микросервисами, можно отобразить в виде схемы, показанной на рисунке 4.2.

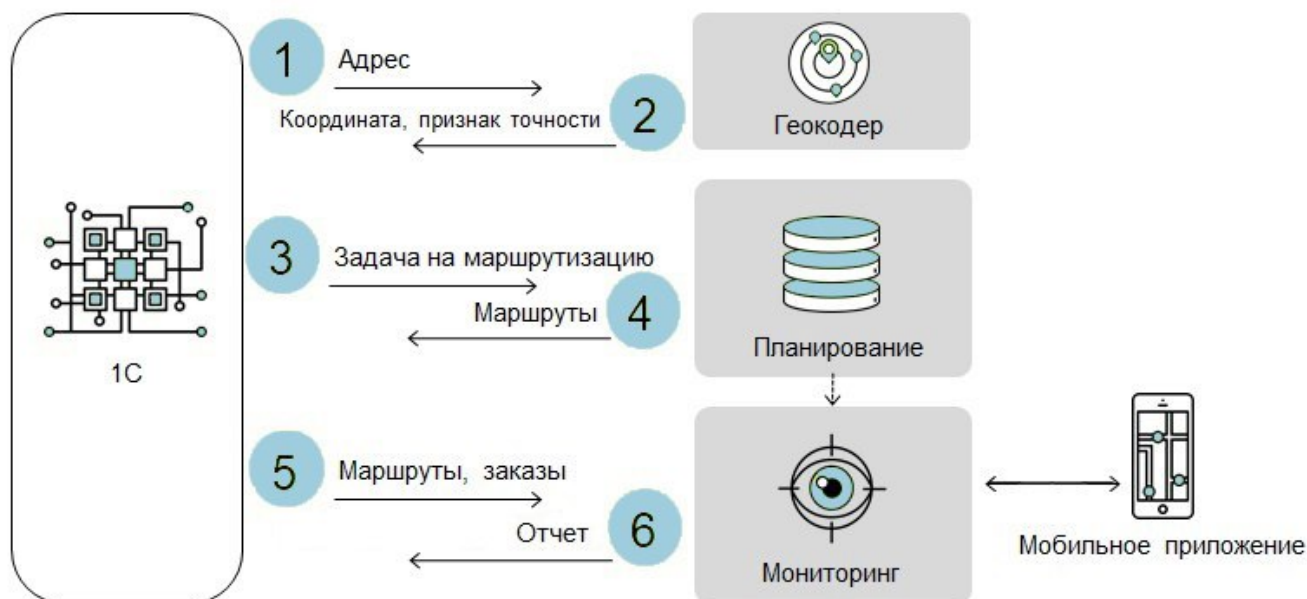


Рисунок 4.1. Архитектура разработанного приложения.

Шаг 1. Из информационной базы 1с происходит выгрузка данных о заказах в геокодер API Геокодер Яндекса. Данный сервис предоставляет доступ к HTTP API Геокодера, что позволяет определять координаты топонима по его адресу, или адрес точки по её координатам. Запрос осуществляется, используя команду `https://geocode.maps.yandex.ru/1.x/?apikey=[API-ключ]geocode=[Адрес]`.

Шаг 2. Геокодер возвращает результат в виде координат, который обрабатывается на стороне 1С, заполняя дополнительную информации о расположении клиентов.

Шаг 3. 1С формирует задачу на выполнение построение оптимальных маршрутов агенту-диспетчер, информация о котором подробно рассказана в главе 3.1.

Шаг 4. Агент диспетчер, обрабатывает полученную информацию, создает агентов ТС и Заказы, дает команду на выполнение. После окончания работы формирует ответный пакет.

Шаг 5. 1С получив пакет, формирует составленные маршруты и отображает их в системе.

Шаг 6. Пользователь, используя функционал системе мониторит полученные данные.

4.3 Программная реализация

Результат аплодирования разработанную систему на примере реальной задачи в условиях, возникающих на предприятии. В ходе выполнения практической работы были получены результаты, с которыми можно ознакомиться, перейдя по ссылке на GitHub репозитории: <https://github.com/SmukerSPB/-Graduation-work.git>

5 Список литературы

- 1.[Электронный ресурс] Складской рынок России: итоги 2020 и прогнозы развития –аналитические материалы Группы «ДЕЛОВОЙ ПРОФИЛЬ» (delprof.ru)
- 2.Черняховская Л.Р. Моделирование систем. Конспект лекций / УФА: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2007. –81с.
- 3.Андрейчиков, А.В. Интеллектуальные информационные системы : учебник / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. –М. : Финансы и статистика, 2004. –424 с.
- 4.Land A.H., and Doig A.G. An automatic method of solving discrete programming problems. *Econometrica*. v28 (1960), pp 497-520.
- 5.Little J.D.C., Murty K.G., Sweeney D.W., and Karel C. An algorithm for the traveling salesman problem. *Operations Research*. v11 (1963), pp 972-989.
- 6.Корбут А.А., Финкельштейн Ю.Ю. Дискретное программирование М. Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. 1969.
- 7.Береснев В.Л., ГимадиЭ.Х., Дементьев В.Т. Экстремальные задачи стандартизации. Новосибирск. Наука, 1978.
- 8.[Электронный ресурс] <https://uchimatchast.ru/teoriya/algorithm-littlemethod-resheniya-zadachi-kommivoyazhera/>, дата обращения 31.05.2022
- 9.Сушков Ю.А. Об одном способе организации случайного поиска. *Автоматика и вычислительная техника*, 1974, No 6, 41-48.
- 10.Растринин Л.А. Статистические методы поиска. М.: Наука, 1968.
- Жиглявский А.А. Математическая теория глобального случайного поиска. М.: Изд-во. ЛГУ, 1985.
- 11.Жиглявский А.А., Жилинская А.Г. Методы поиска глобального экстремума. М.: Наука, 1991
- 11.[Электронный ресурс]
- 12.Бурдюк В.Я., Шкурба В.В. Теория расписаний. Задачи и методы решений // *Кибернетика*. 1971. No 1. С. 89–102.
- 14.Буркова В.Н. Математические основы управления проектами. М.: Высшая школа, 2005, 432 с.
13. Dantzig G. B., Ramser J. H., The Truck Dispatching Problem, 1959.
2. Braekersab K., Ramaekersa K., Van Nieuwenhuysen I. The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers Industrial Engineering*. Volume 99, September 2016, Pages 300-313.
14. Toth, P., Vigo, D.(2002). Models, relaxations and exact approaches for capacitated vehicle routing problem. *Discrete Applied*

Mathematics, 123: 487-512. 15. Janacek, J., Janosikova, L., Kohani, M. (2013). Modelovanie a optimalizacia. EDIS vydavatelstvo ZU, in Slovak. (2013). 16. M. Dorigo, G. Di Caro, and L.M. Gambardella. Ant algorithms for discrete optimization. *Artificial Life*, 5:137–172, 1999.

6 Заключение

- Проведен обзор и сравнительный анализ подходов к созданию децентрализованной системы на основе математических уравнений, нейронных сетей, машинного обучения, мультиагентных технологий
- Проведен обзор и сравнительный анализ классических, эвристических и мета-эвристических алгоритмов, позволяющих решить задачи маршрутизации транспортных средств с ограниченной грузоподъемностью. Выполнена их программная реализация с визуализацией решений
- Предложен эффективный метод, использующий алгоритм Tabu-Search и мультиагентный подход для решения задачи маршрутизации транспортных средств с ограниченной грузоподъемностью.
- Разработан прототип системы на основе предложенного метода, оформленный в виде расширения конфигурации для систем 1С ERP и УПП
- Проведена апробация прототипа на реальных данных