

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра социальной информатики

ПРИМЕНЕНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА В ЗАДАЧАХ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА

(автореферат бакалаврской работы)

студента 4 курса 452 группы
направления 09.03.03 - Прикладная информатика
профиль Прикладная информатика в социологии
Социологического факультета
Камлова Камиля Сайфудиновича

Научный руководитель
профессор, доктор социологических наук _____ О. А. Романовская
подпись, дата

Зав. кафедрой
кандидат социологических наук, доцент _____ И.Г. Малинский
подпись, дата

Саратов 2023

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Ежегодно потребность в транспортно-логистических услугах возрастает по всему миру. С этим связана повышенная востребованность разработки подходов по решению задач маршрутизации транспорта, что обуславливает актуальность нашей научно-исследовательской работы. Поставленные перед нами задачи сводятся к разработке алгоритма, для построения маршрутов транспортных средств, обслуживающих, заданное количество клиентов.

Маршрутизация транспорта включает в себя множество разновидностей задач, а также целый ряд алгоритмов, способных решить поставленные задачи, например, точные эвристические и метаэвристические алгоритмы. В выборе алгоритма не стоит забывать, что задача маршрутизации транспорта считается NP-трудной¹, что объясняет целесообразность точных подходов исключительно при малоразмерных задачах. Они создают решения приближенные к оптимальному, но за меньшее время (по сравнению с точными методами). Еще одна особенность эвристических алгоритмов проявляется в многообразии решений, которые получаются в ходе работы алгоритма по одному и тому же примеру.

Это означает, что даже при наличии большого количества уже реализованных эвристических алгоритмов, необходимо и дальше реализовывать и улучшать данные алгоритмы для поиска наилучшего результата, так как применение автоматизированных систем в области транспортной логистики – один из способов сэкономить ресурсы.

Степень научной разработанности проблемы.

Проблема маршрутизации транспорта является хорошо изученной и активно исследуемой научной областью. Множество исследований и разработок в этой области были проведены как в академической среде, так и в индустрии.

¹ Michael Garey, David S. Johnson, Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness [Text]/ Garey Michael, S. Johnson David// New York: W. H. Freeman & Co. – 1979.

Среди наиболее известных научных работ в этой области можно отметить такие труды, как "The Vehicle Routing Problem" M. Fisher et al. (1981), "A Unified Framework for Vehicle Routing Problem" M. Solomon et al. (1987), "Vehicle Routing: Methods and Studies, Second Edition" той же M. Solomon (2001) и так далее.

В современной научной литературе также есть много работ, посвященных оптимизации маршрутов для различных видов транспорта с использованием различных алгоритмов и моделей. Большое внимание уделяется разработке инновационных подходов, таких как использование искусственного интеллекта, машинного обучения и оптимизации через обратную связь.

Также маршрутизация транспорта является одной из ключевых задач в индустрии, и многие компании разрабатывают свои собственные системы маршрутизации и логистики, используя передовые научные и технологические разработки.

Таким образом, проблема маршрутизации транспорта достаточно хорошо изучена и разработана, однако постоянно совершенствуется и оптимизируется с использованием новых технологий и инновационных подходов. Проблема маршрутизации транспорта является хорошо изученной и активно исследуемой научной областью. Множество исследований и разработок в этой области были проведены как в академической среде, так и в индустрии.

Данная бакалаврская работа отличается высокой **практической значимостью**. В ходе его создания была разработана программа, решающая задачу маршрутизации транспорта, позволяющая сделать процесс выбора оптимального пути наиболее результативным.

Объект исследования – вычислительный процесс нахождения оптимального пути эвристическим алгоритмом.

Предмет исследования – программа, определяющая оптимальный путь с помощью эвристического алгоритма для решения задачи маршрутизации транспорта.

Цель – применить эвристический алгоритм для решения задачи маршрутизации. Для достижения цели работы необходимо решить следующие

Задачи:

1. Описать задачи маршрутизации транспорта;
2. Изучить алгоритмы для решения ЗМТ;
3. Описать принципы использования эвристических методов в задачах маршрутизации транспорта;
4. Поставить задачу маршрутизации транспорта в условиях различных ограничений;
5. Создать алгоритм для ее решения;

Эмпирической базой выпускной квалификационной работы являются результаты авторского исследования на тему «Применение эвристических алгоритмов в задачах маршрутизации транспорта»

Теоретическая значимость исследования заключается в возможности использования основных положений и выводов данной работы для дальнейшего изучения выбранной проблематики.

Практическая значимость - В ходе его разработки был создан алгоритм, решающий задачу маршрутизации транспорта, позволяющий сделать процесс выбора оптимального пути наиболее результативным.

Структура выпускной квалификационной работы представлена введением, тремя главами, заключением, списком использованных источников и 1 приложением.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе «ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СПОСОБОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА» мы знакомимся с таким понятием как задача маршрутизации транспорта(ЗМТ), классическими методами для решения ЗМТ математической постановкой ЗМТ и методами обхода графа для решения ЗМТ.

Задача маршрутизации транспорта (ЗМТ) – это комбинаторная задача оптимизации и целочисленного программирования, которая задается вопросом:

«Каков оптимальный набор маршрутов для прохождения парка транспортных средств для доставки к определенному набору клиентов?». Он обобщает известную задачу коммивояжера (ЗК).

Впервые понятие «задача маршрутизации транспорта» появляется в работе исследователей «Планирование доставки транспортных средств из центрального склада в несколько пунктов доставки» 1959 года². В данной Автор в данной статье впервые обосновал математическую формулировку, а также составил решение задачи о поставке бензина на заправочные станции. Стоит отметить, что в настоящий момент эта задача считается одной из самых популярных в области знаний комбинаторной оптимизации.

В основе задач маршрутизации транспорта лежит задача коммивояжера, принадлежащих к классу задач дискретной оптимизации, что делает их родственными. Однако, несмотря на это в задачах маршрутизации транспорта установлена терминология, которая отлична от терминологии задачи коммивояжера. Например, ЗК свойственны такие понятия, как «коммивояжёр», «город» и «путь», но в ЗМТ они заменены: «коммивояжёр» — «транспортное средство», «город» — «вершина», «путь» — «маршрут». В частных случаях вместо термина «вершина» используется «клиент». Помимо этого, в ЗМТ существует дополнительно слово — «депо». Данное понятие подразумевает некую вершину, которая обозначает начало и конец маршрутов всех транспортных средств.

Для рассмотрения классических алгоритмов нами были выделены два наиболее интересных, таких как Алгоритм Кларка-Райта — эвристический конструктивный алгоритм, а также алгоритм заметания — эвристический двухфазный.

Наиболее ярким представителем среди концептуально простых эвристических алгоритмов является алгоритм Клайрка-Райта³. Он начинается с

² Dantzig G. B., Ramser J. H. The truck dispatching problem //Management science.

³ Fischetti Matteo, Toth Paolo, Vigo Daniele, A Branch-and-Bound Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem on Directed Graphs [Text] / Matteo Fischetti, Paolo Toth, Daniele Vigo // Operation Research. – 1994. – Vol. 42, № 5. – P. 846-859.

пустого решения и многократно расширяет текущее решение до получения полного, включает в себя следующие шаги:

1. Создать n маршрутов: $v_0 \rightarrow v_i \rightarrow v_0$, для каждого $i \geq 0$;
2. Вычислить экономию для слияния мест доставки, которая задается $s_{ij} = c_{i0} + c_{0j} - c_{ij}$, для всех $i, j \geq 1$ и $i \neq j$;
3. Отсортировать в порядке убывания сбережения;
4. Объединить два связанных маршрута с наибольшей экономией, начиная с верхнего списка сбережений, при учете того, что:
 - Оба места доставки располагаются на разных маршрутах;
 - Любое местоположение доставки не является внутренним по отношению к его маршруту, что означает, что обе записи по-прежнему непосредственно связаны с депо на соответствующих маршрутах;
 - Требование G и ограничения расстояния D не нарушаются объединенным маршрутом.

Математическая модель ЗМТ может быть определена, следуя из статьи⁴, следующим образом. Задача маршрутизации транспорта решается на полном неориентированном графе $G = (V, E)$, где множество $V = \{0, \dots, n\}$ представляет собой множество вершин. Каждая вершина $i \in V / \{0\}$ соответствует клиенту с неотрицательным спросом q_i , а вершина 0 соответствует депо. Каждому ребру $e \in E = \{(i, j): i, j \in V, i < j\}$ соответствует стоимость поездки c_e или c_{ij} .

Решение множества задач на графах основывается на полном обходе графа. Такой обход выполняется большим количеством методов, но наиболее обширное распространение получили две стратегии – поиск в ширину и поиск в глубину. Оба этих алгоритма можно рассматривать как реализации общего плана обхода, состоящего в следующем.

Обход начинается в заранее выбранной стартовой вершине и состоит в систематическом исследовании ребер и посещении вершин. Какие именно

⁴ Hoskins M., Lobit H., Pillac V., Vidal T., Vigo D., Mendoza J.E., Guéret C., VRP-REP: the vehicle routing community repository. Third meeting of the EURO Working Group on Vehicle Routing and Logistics Optimization [Электронный ресурс] / М. Hoskins, H. Lobit, V. Pillac, T. Vidal, D. Vigo, J.E. Mendoza, C. Guéret // Oslo, Norway – 2014.— 89p

действия производятся при этом, зависит от поставленной задачи, для решения которой и выполняется обход. Но в любом случае тот факт, что данная вершина посещена, запоминается. Вершину, которую мы еще не посетили, будем называть новой. В результате посещения вершина становится открытой и остается такой, пока не будут исследованы все инцидентные ей ребра. После этого она превращается в закрытую.

Начнем новый этап обхода, выбрав одну из множества открытых вершин - вершину x . Это делает ее активной и готовой к исследованию. Если среди связанных с ней ребер есть те, которые еще не исследованы, выберем одно из них (x, y) . Если вершина y еще не исследовалась, то она становится нашим следующим шагом, а ребро (x, y) классифицируется как прямое. Если вершина y уже посещалась, то ребро (x, y) считается обратным, ведущим в уже посещенную вершину. Это поможет нам правильно ориентировать связи между точками и продвинуться дальше в обходе графа.

Как только все ребра, связанные с активной вершиной, будут исследованы, она будет автоматически отмечена как закрытая. Эта процедура будет продолжаться, пока все открытые вершины не будут исследованы. В случае наличия новых вершин, они будут посещены и процесс продолжится.

По завершении этого процесса, все прямые ребра будут сформированы в каркас графа. Большинство приложений поиска в ширину и в глубину использует свойства этого каркаса.

Различие между поиском в ширину и поиском в глубину заключается в том, как выбирается следующая активная вершина.

Во втором разделе «ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ЗАДАЧАХ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА» мы изучили понятия эвристических и метаэвристических алгоритмов и изучили принципы их применения в задачах маршрутизации транспорта.

Эвристические алгоритмы – это алгоритмы, которые используют эвристики, т.е. эмпирические правила и эмпирические знания, для поиска приближенных решений оптимизационных задач, когда точные решения не

могут быть найдены в разумные сроки. Эти алгоритмы могут использоваться во многих областях, включая маршрутизацию транспорта, оптимизацию расписания, решение задач комбинаторной оптимизации и многие другие. Они могут обеспечивать быстрое решение задач, но могут иметь некоторые ограничения в точности оптимизации и повторяемости результата.

Эвристические алгоритмы делятся на:

1. двухфазные алгоритмы;
2. конструктивные алгоритмы;
3. улучшающие алгоритмы.

Метаэвристические алгоритмы – это алгоритмы оптимизации, которые используют эвристические методы для решения сложных задач. Они представляют собой общий подход к оптимизации, который может быть применен к различным задачам, таким как маршрутизация транспорта, оптимизация расписания и другие.

Метаэвристические алгоритмы используют итеративный процесс для улучшения решения, начиная с некоторого начального решения, которое может быть неоптимальным. Они могут использовать различные методы оптимизации, такие как локальный поиск, генетические алгоритмы, методы имитации отжига и другие.

Преимущества метаэвристических алгоритмов включают их способность находить приближенные решения для сложных задач, их гибкость и возможность применения к различным задачам оптимизации. Однако, они могут потребовать много времени для выполнения, и не могут гарантировать нахождение оптимального решения.

Задачи маршрутизации транспорта являются важной областью оптимизации логистических процессов в различных отраслях экономики. Они заключаются в оптимальном распределении транспортных средств для доставки грузов или пассажиров из точки А в точку В. Для решения таких задач могут использоваться различные принципы и методы оптимизации, которые

позволяют минимизировать затраты на транспортировку и увеличивать эффективность процесса. Нами были выделены наиболее важные принципы:

1. При выборе алгоритма для решения задач маршрутизации транспорта, следует учитывать специфику конкретной задачи. Для различных задач могут подходить различные эвристические алгоритмы.

2. Перед началом решения задачи маршрутизации транспорта необходимо четко определить цель, которую необходимо достичь, например, минимизировать расходы на транспортировку грузов или нахождение наиболее оптимального маршрута. Также важно учитывать различные ограничения, которые могут повлиять на процесс маршрутизации, такие как ограничения на скорость движения транспорта, ограничения на переправы через реки и временные ограничения, связанные с требованиями клиентов.

3. Для эффективного решения задач маршрутизации транспорта необходимо представить данные о маршрутах в удобном формате для дальнейшего анализа и обработки. Для этого может использоваться специальное программное обеспечение, которое позволяет визуализировать данные и предоставлять информацию в удобной форме, например, в виде графиков, таблиц и диаграмм. Также важно обеспечить корректность и достоверность данных, чтобы избежать ошибок и искажений в процессе решения задач маршрутизации транспорта.

4. Для решения задач маршрутизации транспорта важно создание эвристических правил, которые будут служить основой для принятия решений. Эти правила могут быть основаны на опыте, экспертном знании или статистическом анализе. Эвристические правила помогают упростить процесс принятия решений и ускорить процесс маршрутизации транспорта.

5. После использования эвристических алгоритмов в задаче маршрутизации транспорта необходимо провести оценку результатов и определить их эффективность. Если результаты не являются

удовлетворительными, то необходимо проанализировать возможные причины и корректировать правила и параметры алгоритма.

б. Для управления принципами маршрутизации транспорта можно использовать дополнительные принципы, которые позволяют повысить эффективность и точность алгоритмов. Например, можно ввести принцип оптимизации маршрута с использованием минимального количества транспорта, чтобы минимизировать затраты на топливо, обслуживание и приобретение транспортных средств.

В третьем разделе «РЕАЛИЗАЦИЯ ЭВРИСТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗМТ» мы поставили задачу маршрутизации транспорта и решили ее с помощью генетического алгоритма на языке Python.

Для реализации генетического алгоритма была поставлена задача коммивояжера с тремя разными видами транспорта, такими как:

- 1-поезд
- 2-машина
- 3-самолет

Следует найти самый оптимальный маршрут по стоимости и времени.

У нас имеется 5 городов:

- 1-Москва
- 2-Санкт-Петербург
- 3-Саратов
- 4-Сочи
- 5-Казань

Основные этапы решения задачи маршрутизации транспорта генетическим алгоритмом

1. Создать начальную популяцию случайных маршрутов
2. Для каждого маршрута вычислить его длину

3. Повторить следующие шаги до достижения критерия остановки:

4. Выбрать родителей из популяции с помощью селекции (турнирная селекция)

5. Скрестить родителей, используя оператор кроссинговера, чтобы создать потомство

6. Применить мутацию на потомство

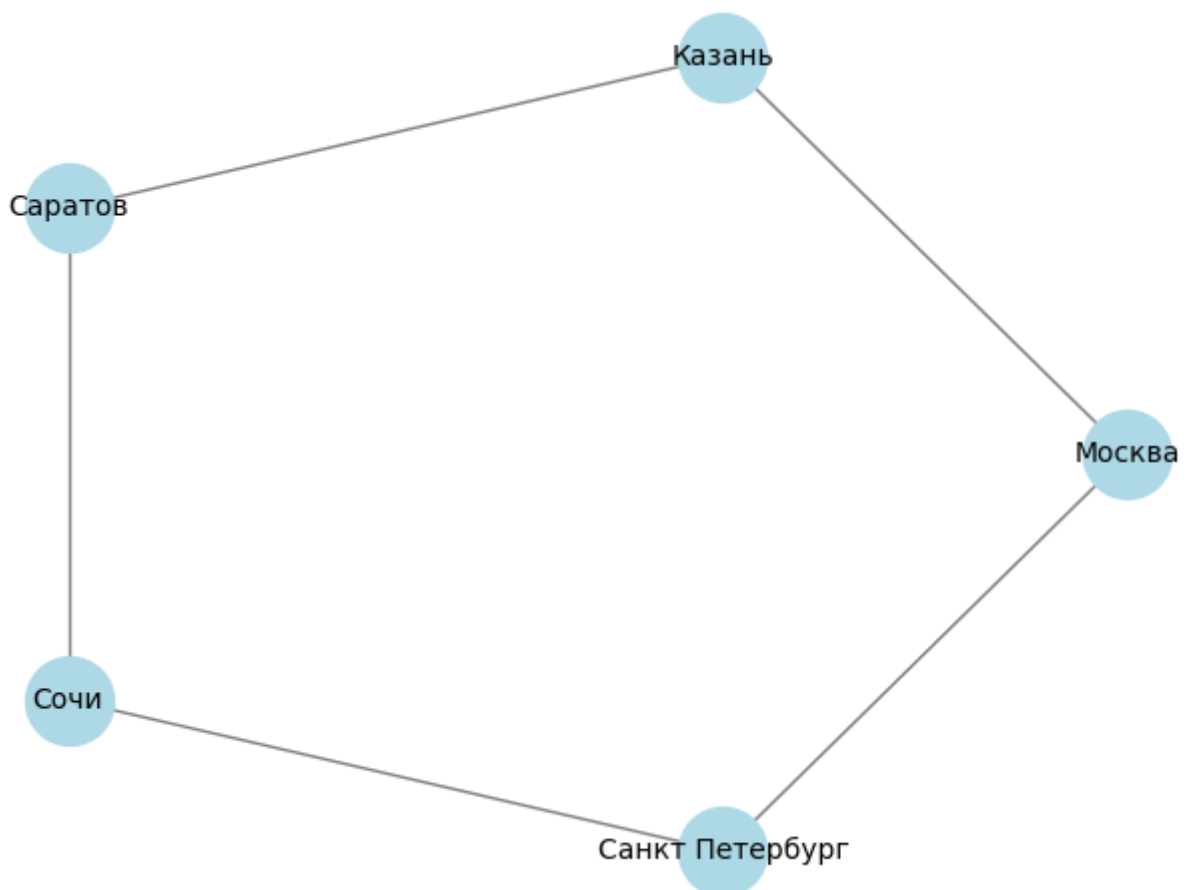
7. Вычислить длину маршрута для каждого потомка

8. Заменить наименее приспособленных особей в популяции на потомство

9. Вернуть лучший маршрут из популяции в качестве результата

Кроме основного вида, на задачу накладываются ограничения по видам транспорта и затратам на проезд.

В результате работы алгоритма выводится граф для наглядной демонстрации пройденных маршрутов.



Как мы видим алгоритм начал свой маршрут в Казани и вернулся в начальную точку, это соответствует классическому условию задачи коммивояжера. Написанный мною генетический алгоритм на языке Python хорошо справился с моей задачей и определил оптимальный маршрут по заданным параметрам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная выпускная квалификационная работа посвящена исследованию актуальной проблемы применения эвристических алгоритмов в задачах маршрутизации транспорта

Основной задачей работы являлась разработка алгоритма, который решает задачу маршрутизации транспорта и позволяет сделать процесс выбора оптимального пути наиболее результативным.

В теоретическом анализе проблемы мною произведен обзор существующих способов решения задач маршрутизации транспорта, а также подробно рассмотрены эвристические методы и их применение в задачах маршрутизации транспорта. В практической части исследования мы поставили задачу маршрутизации транспорта со своим уникальным условием.

Проведенные исследования позволяют заключить, что применение генетических алгоритмов для решения задачи маршрутизации транспорта может давать корректные результаты. При больших значениях N наш генетический алгоритм работает довольно медленно, но получаемые результаты оказываются значительно лучше результатов подвижного генетического алгоритма. Важной деталью успешной работы алгоритма также является выбор способа кодирования, который существенно влияет на результаты работы алгоритма. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию подвижного генетического алгоритма, рассмотрение других способов кодирования и пересчета вероятностей, а также применение дополнительных оптимизационных эвристик.

В целом, генетические алгоритмы могут оказаться полезными инструментами для решения задачи маршрутизации транспорта, однако

требуют дополнительных исследований и оптимизации для улучшения своих результатов.