

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ АВТОНОМНЫХ ЭЛЕКТРОГРУЗОВИКОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ГРУЗОВ НА БАЗЕ АЛГОРИТМА ИСКУССТВЕННОЙ ПЧЕЛИНОЙ КОЛОНИИ

А.И. Разумовский

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: razumowsky@yandex.ru

Д.С. Салип

Московский государственный технологический университет «Станкин»
Россия, 127994, Москва, Вадковский пер., 1
E-mail: welpodron@gmail.com

Ключевые слова: Алгоритм искусственной пчелиной колонии, оптимизация затрат, логистика, оптимальное распределение маршрутов, электрический транспорт.

Аннотация: Проблема планирования маршрутов является одной из наиболее важных проблем логистики в области транспортировки. Она особенно актуальна при развитии использования автономных транспортных средств на базе электродвигателей при перевозке грузов. Своевременное планирование маршрутов позволяет снизить потенциальные затраты на транспортировку и позволяет наиболее эффективно создать исходные данные миссии беспилотного транспорта. В этой статье мы рассматриваем реализацию программного модуля, позволяющего получить наиболее оптимальное распределение маршрутов между машинами с целью минимизации ресурсов, используемых грузовиками при доставке грузов в процессе перемещения. Работа основана на использовании оптимизационного алгоритма, вдохновленного поведением медоносных пчел, который мы также обсуждаем в настоящей статье.

1. Введение

Автономные транспортные средства (AV) рассматриваются как важнейший фактор инноваций и эффективности в логистике [1]. Эти транспортные средства могут быть использованы транспортными компаниями для создания автономной системы грузоперевозок на базе беспилотного транспорта. Дополнительная интеграция электродвигателей [2] в такой вид транспорта может позволить снизить также затраты на обеспечение автомобиля ресурсами, необходимыми для осуществления передвижения.

Планирование маршрутов является одной из ключевых проблем в архитектуре управления для автоматизированных транспортных средств [3]. Данная проблема тесно связана с оптимальным распределением маршрутов (VRP) [4].

Важно отметить, что для решения такой задачи вводятся некоторые ограничения:

- предполагается, что в распоряжении компании перевозчика имеются автономные транспортные средства с одинаковыми техническими характеристиками;

- предполагается, что каждое автономное транспортное средство строго придерживается, рассчитанного для него плана посещения клиентов;
- предполагается, что компания, имеющая в своем распоряжении транспортные средства, работает круглосуточно и ежедневно, без перебоев.

В настоящем докладе мы описываем архитектуру программного решения, а также разрабатываем прототип программной утилиты для расчета оптимального распределения маршрутов. С целью минимизации затрат, связанных с издержками на обеспечение машины ресурсами, в качестве отправной точки выбран адаптированный для решения транспортных проблем алгоритм искусственной пчелиной колонии. Как средство практического применения прототипа рассматривается симуляция работы регионального отделения транспортного подразделения крупного международного маркетплейса широкого спектра товаров.

2. Разработка прототипа

Проблему разработки оптимального распределения маршрутов можно свести к решению задачи маршрута вместительного транспортного средства (CVRP) [5].

Математически для автономных транспортных средств на базе электродвигателей задача может быть описана следующим образом:

Целевая функция, подлежащая минимизации:

$$(1) \quad \min \sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ijk} w_k x_{ijk}$$

Параметр d_{ijk} в (1) описывает расстояние между клиентом i и клиентом j , проходимое транспортным средством k , n – количество клиентов и p – количество имеющихся транспортных средств, w – скорость потребления заряда батареи транспортного средства.

$$(2) \quad x_{ijk} \in \{0,1\}, \forall k \in \{1, \dots, p\}, i, j \in \{1, \dots, n\}$$

Выражение (2) описывает параметр x_{ijk} , который принимает значение равно единице в случае, если определенный транспорт k имеет маршрут между клиентом i и клиентом j , в противном случае, данный параметр равняется нулю.

$$(3) \quad x_{iik} = 0, \forall k \in \{1, \dots, p\}, i \in \{1, \dots, n\}$$

Выражение (3) ограничивает существование такого маршрута, который начинается и заканчивается на одном и том же клиенте.

$$(4) \quad \sum_{i=1}^n x_{ijk} = \sum_{i=1}^n x_{jik}, \forall j \in \{1, \dots, n\}, k \in \{1, \dots, p\}$$

С помощью (4) количество раз, когда транспортное средство приезжает к клиенту, равно количеству раз, когда оно покидает этого клиента.

$$(5) \quad \sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^n x_{ijk} = 1, \forall j \in \{2, \dots, n\}$$

Благодаря (5) каждый клиент посещается только один раз, и он покидается одним и тем же транспортным средством.

$$(6) \quad \sum_{j=2}^n x_{1jk} = 1, \forall k \in \{1, \dots, p\}$$

Выражение (6) гарантирует, что каждое транспортное средство покидает депо и в конце обязательно возвращается обратно.

$$(7) \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=2}^n q_j x_{ijk} \leq Q, \forall k \in \{1, \dots, p\}$$

Согласно (7), каждое транспортное средство не может превысить собственную вместимость, причем q_i описывает требование заказчика по загрузке, а Q является вместимостью каждой имеющейся машины.

Среди наиболее популярных методов решения являются такие алгоритмы, которые представляют командное поведение животных и микроорганизмов, например, такие как роевой интеллект, основанный на колониях муравьев [6] или же колониях пчел [7].

Алгоритм пчелиной колонии может применяться для решения дискретных (комбинаторных) и непрерывных задач глобальной оптимизации в связи с чем он может быть адаптирован и для решения CVRP [8-10], а также поставленной в рамках исследования проблемы.

Согласно адаптированному алгоритму для нахождения оптимального решения необходимо совершить следующие операции:

- 1) Случайным образом создать первоначальный набор решений проблемы.
- 2) Рассчитать пригодность каждого решения. Под пригодностью понимается величина обратная общему пройденному расстоянию.
- 3) Пока не пройдено заданное число итераций, необходимо провести поиск наиболее пригодных альтернативных решений задачи.
Для нахождения лучших альтернативных решений нужно:
 - 1) Для каждого уже найденного решения применить специальные соседские операторы [10].
 - 2) Для каждой пчелы-наблюдателя выбрать решения, на основании их пригодности, и также применить к ним указанные ранее соседские операторы.
 - 3) Для каждого решения производится проверка с соответствующем ему решением наблюдателя, в случае если данное решение было неизменно в течении длительного периода итераций, и оно является менее пригодным по сравнению с решением наблюдателя, то производится его замена.
- 4) Для каждого решения применить указанные выше соседские операторы и заменить его на решение пчелы-наблюдателя, в случае если оно превышает заданные ограничения.

3. Симуляция работы прототипа

В рамках симуляции работы прототипа было рассмотрено 50 пунктов выдачи заказов частной компании Wildberries, находящиеся в городе Реутов и прилежащим к нему району Новокосино, а также ближайший к ним крупный склад товаров откуда осуществляются перевозки (рис. 1).

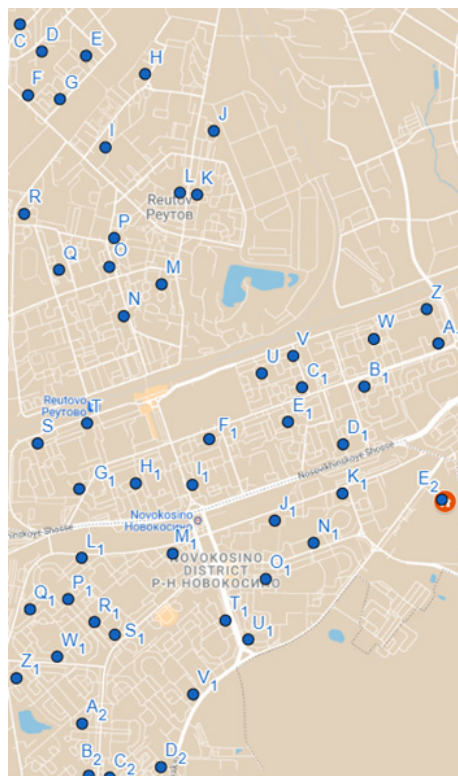


Рис. 1. Пункты выдачи заказов, обозначенные буквами, E2 обозначен склад с депо.

У каждого из пунктов выдачи заказов был взят фактический адрес нахождения. До каждого из адресов от склада, а также между ними были проложены возможные транспортные маршруты, с учетом вида используемого транспорта и получены данные всех таких маршрутов: приблизительное время поездки, а также общее расстояние.

В качестве транспорта рассматривались 3 машины компании Volvo класса FH Electric, каждая из которых имеет следующие характеристики:

- Максимальная вместимость: 44000 кг.
- Средний расход батареи: 1000 Вт*ч/км.

Для каждой точки отгрузки было принято следующее:

- Среднее число заказов в день: от 1000 до 1400.
- Средний вес заказа: от 100 грамм до 3 килограмм. Малогабаритные товары, являющиеся самым популярным типом заказываемого товара: одежда, обувь и аксессуары, детские игрушки, а также товары для дома и дачи.

В качестве параметров для работы алгоритма искусственной пчелиной колонии было принято следующее:

- Количество итераций: 300.
- Количество занятых пчел: 30.
- Количество пчел-наблюдателей: 20.

Для нахождения потенциального уменьшения энергозатрат симуляция проводится для 1 недели транспортировок (таблица 1).

Таблица 1. Общие энергозатраты за 7 дней.

День	Общие энергозатраты, Вт*ч/км	
	Без оптимизации	С оптимизацией
1	82622	51332
2	78980	50867

3	78697	45524
4	78195	51169
5	79597	46649
6	80961	49420
7	80881	47920

При использовании алгоритма пчелиной колонии для поиска наиболее оптимального распределения маршрутов между машинами результаты показали уменьшение общих энергозатрат в среднем на 31007 Вт*ч/км.

4. Заключение

В рамках данного исследования была рассмотрена возможность использования специального программного модуля для оптимизации начального планирования транспортной миссии автономной машины на базе электродвигателя для сокращения общих энергозатрат с целью снижения издержек на транспортировку путем уменьшения расходуемых автомобилем ресурсов.

Программный модуль был протестирован в рамках симуляции региональной транспортной деятельности крупного маркетплейса. Результаты, полученные в рамках симуляции, рассматривают узкоспециализированную строго ограниченную область и должны быть проверены и протестированы в рамках более полного практического использования.

Список литературы

1. Peng Z., Wang J., Wang D., Han Q.-L. An Overview of Recent Advances in Coordinated Control of Multiple Autonomous Surface Vehicles // IEEE Transactions on Industrial Informatics. 2021. Vol. IE-17, No. 2. P. 732-745.
2. Dlugosch O., Brand T., Neumann D. Combining analytics and simulation methods to assess the impact of shared, autonomous electric vehicles on sustainable urban mobility // Information & Management. 2022. Vol. 59, No. 5.
3. Taha A.-E., AbuAli N. Route Planning Considerations for Autonomous Vehicles // IEEE Communications Magazine. 2018. Vol. 56, No. 10. P. 278-284.
4. Toth P., Vigo D. The Vehicle Routing Problem // SIAM Society for industrial and Applied Mathematics. Philadelphia, 2002.
5. Baldacci R., Toth P., Vigo D. Exact algorithms for routing problems under vehicle capacity constraints // Ann Oper Res. 2010. Vol. 175. P. 213-245.
6. Tuba M., Jovanovic R. An Analysis of Different Variations of Ant Colony Optimization to the Minimum Weight Vertex Cover Problem // WSEAS Transactions on Information Science and Applications. 2009. Vol. 6, No. 6. P. 936-945.
7. Karaboga D. An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization. Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department. Tech. Rep. TR06, 2005.
8. Karaboga D., Akay B. A Modified Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm for Constrained Optimization Problems // Applied Soft Computing. 2010.
9. Brajevic I. Artificial bee colony algorithm for the capacitated vehicle routing problem // Proceedings of the European Computing Conference ECC 11. 2011. P. 239-244.
10. Szeto W.Y., Yongzhong Wu, Sin C. Ho An artificial bee colony algorithm for the capacitated vehicle routing problem // European Journal of Operational Research. 2011. Vol. 215, No. 1. P. 126-135.