

Декомпозиция задачи маршрутизации по эвристикам метода Кларка–Райта



Сергей ПРОСОВ
Sergey N. PROSOV

Екатерина КУЗЬМЕНКО
Ekaterina A. KUZMENKO



Просов Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия.

Кузьменко Екатерина Александровна – студентка Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Москва, Россия.

Decomposition of the Routing Problem based on the Clarke–Wright Heuristic Method

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 196)

Статья посвящена декомпозиции задачи маршрутизации транспорта по эвристическим оценкам метода Кларка–Райта. Предложена процедура проектирования развозочной автотранспортной системы по критерию минимизации суммарного общего пробега различными формализованными методами декомпозиции, в частности, с помощью алгоритма «функций выгоды» и формирования зон (кластеров, подмножеств, «кустов») обслуживания транспортного средства. Наглядно показаны преимущества предлагаемого метода по сравнению с методом «по матрице кратчайших расстояний» на примере доставки десяти единиц груза от поставщика десяти потребителям по одной грузовой единице. Эффект от сокращения суммарного пробега на построенных маршрутах составил 9,45 %.

Ключевые слова: задача маршрутизации транспорта, метод Кларка–Райта, «функция выгоды», кластер, метод декомпозиции, эвристическая оценка, матрица кратчайших расстояний.

Планированием перевозок мелко-партионных грузов занимается логистика транспорта. В общем понятии логистика – это планирование, контроль и управление транспортировкой, складированием и другими операциями, совершаемыми в процессе доведения сырья и материалов до предприятия, внутри-заводской их переработки, доведения произведённой продукции до потребителя, а также передачей, хранением и обработкой сопутствующей информации.

Задачей транспортной логистики является обеспечение технической и технологической сопряжённости участников транспортного процесса, согласование их экономических интересов, использование единых систем планирования. При этом особое внимание планированию перевозок мелкопартионных грузов объясняется всё большим развитием торговых сетей, огромным количеством точек доставки. Такие перевозки обычно характерны для больших городов и имеют ряд особенностей:

- непостоянное обеспечение полной загрузки автотранспортного средства на всём пути следования;

- повышение тарифов перевозчиками из-за неполной загрузки подвижного состава;

- как правило, короткие расстояния между получателями на маршрутах;

- необходимость в повышенном внимании со стороны рабочих при комплектовании партий грузов;

- трудоёмкость выполнения погрузочно-разгрузочных работ.

Эти особенности обуславливают прежде всего высокие тарифы перевозок мелкопартионных грузов. На себестоимость транспортировки значительное влияние оказывают пути следования подвижного состава, протяжённость которых непосредственно зависит от степени компактности взаимного расположения потребителей в зоне обслуживания каждого автомобиля и очередности объезда корреспондирующих точек в сменно-суточных заданиях водителей. А отсюда и возрастает потребность в методиках маршрутизации транспорта, формирования рациональных маршрутов движения, позволяющих выполнять доставку грузов с наименьшей транспортной составляющей в конечной стоимости товаров.

Формулировка задачи маршрутизации звучит следующим образом: необходимо заданным парком подвижного состава эффективно доставить груз от отправителя к получателям с учётом заданных технических, технологических и организационных ограничений. В ходе решения задачи определяется схема рационального закрепления потребителей за поставщиком, при которой потребности грузополучателей будут полностью удовлетворены с минимальными транспортными издержками.

МЕТОДЫ ПЛАНИРОВАНИЯ МАРШРУТОВ

При планировании перевозок используются точные и приближённые классы методов решения. Для получения точных результатов используются методы:

- перебора вариантов;
- линейного и динамического программирования;
- ветвей и границ.

Приближённые решения получают методами:

- случайного поиска;

- локальной оптимизации;

- эвристическими;

- эволюционными и прочими.

Для алгоритмов точных методов характерно получение оптимального результата по заданному критерию оптимизации, но за длительное время (часто несовместимое со временем, отведённым на сменно-суточное планирование). Поэтому такие методы применяются только при решении задач небольшой размерности и с небольшим числом (отсутствием) ограничений.

Что касается приближённых решений, то, безусловно, главным их недостатком является то, что точного решения они не дают, но это компенсируется быстротой расчётов для задач больших размерностей с множеством технических, технологических и организационных ограничений. Из класса приближённых методов на практике наибольшее применение находят эвристические и локальной оптимизации, каждый из которых способен показать наилучшую эффективность в решении задачи широким диапазоном факторов, задаваемых для планирования.

СМЕННО-СУТОЧНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ

В общем виде задача больших размерностей при сменно-суточном планировании развозочных маршрутов решается в три этапа.

На первом этапе осуществляют декомпозицию (разбиение) множества потребителей на подмножества (кластеры, зоны, наборы, «кусты»), в каждом из которых не нарушены предельные границы заданных ограничений. Далее перечислены существующие и предлагаемый формализованные и эвристические методы проведения декомпозиции задачи построения маршрутов в зависимости от заданных ограничений, критерия оптимизации и предполагаемого алгоритма решения:

- по карте местности, основанные на визуальной оценке приоритета включения пунктов в «куст»;

- по графу модели транспортной сети (МТС) и наименьшей сумме длин рёбер до включаемых в набор точек;

- по матрице кратчайших расстояний (МКР);

- по кратчайшей связывающей сети (КСС);



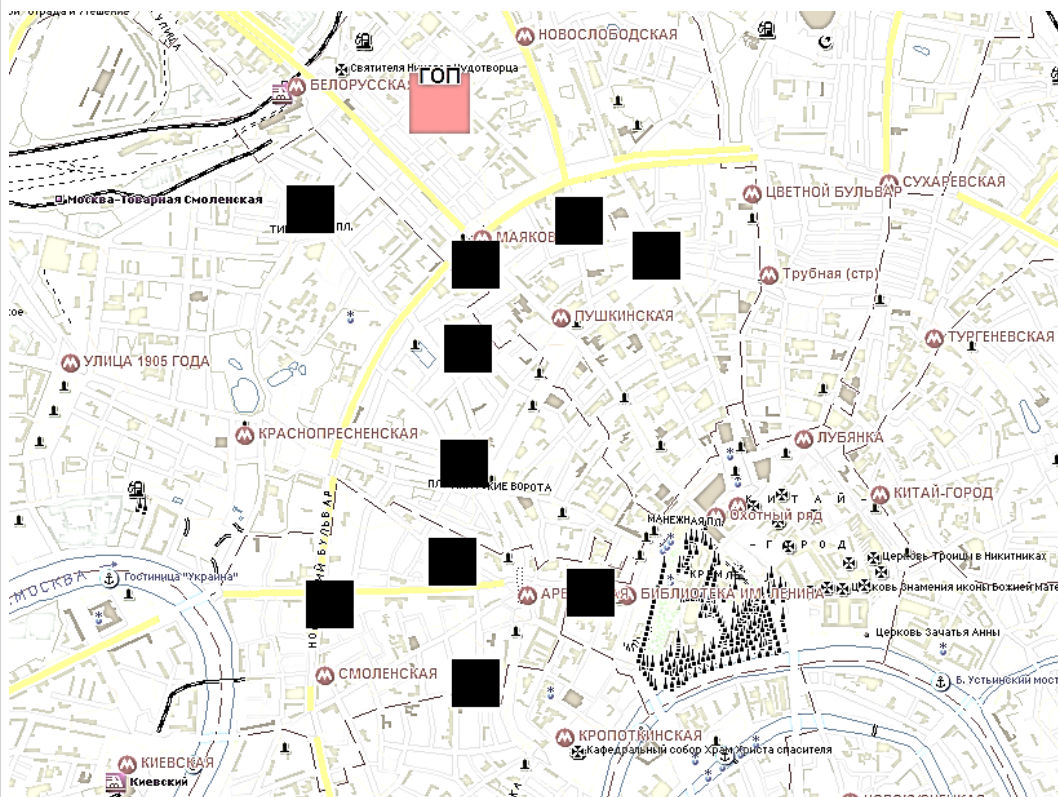


Рис. 1. Дислокация поставщика и потребителей грузов.

- по секторам с жёсткими территориальными границами, предварительно нанесёнными на схему (карту, план) района перевозок и обычно охватывающими центральную часть города и основные магистрали;

- по распределению на минимально возможное количество единиц подвижного состава всего объёма представленного к перевозке груза;

- методом Свира;

- по модели транспортной задачи линейного программирования;

- по набору пунктов в «кусты» с помощью эвристик метода «функций выгоды» (Кларка–Райта).

На втором этапе определяется очерёдность объезда пунктов в подмножествах (кластерах, зонах, «кустах»).

На третьем этапе формируются сменносуточные задания водителям.

Очевидно, что эффективность решения задачи во многом зависит от выбранного метода декомпозиции, осуществляемого на первом этапе планирования, по степени компактности взаимного расположения потребителей в зоне обслуживания каж-

дого автомобиля и алгоритма формирования маршрутов объезда пунктов.

АЛГОРИТМ ДЕКОМПОЗИЦИИ

Изложим процедуру действий на примере. Задан пункт производства однородных видов продукции (ГОП) и десять, плотно расположенных друг к другу, грузопоглощающих пунктов (ГПП) с объёмами потребления по одной единице груза (рис. 1). Грузовместимость одного автомобиля пять грузовых единиц. Задана матрица кратчайших расстояний между точками. Необходимо сформировать по критерию минимума суммарного общего пробега систему развозочных маршрутов при доставке грузов из ГОП в ГПП.

Проведём решение задачи приёмом декомпозиции по матрице кратчайших расстояний. Вначале по МКР включается в «куст» наиболее удалённый от ГОП потребитель. К имеющемуся пункту добавляется второй, ближайший к нему, затем третий, имеющий наименьшее расстояние или от первого, или от второго. И так далее действия продолжаются для всех уже имеющихся в подмножестве грузополучателей

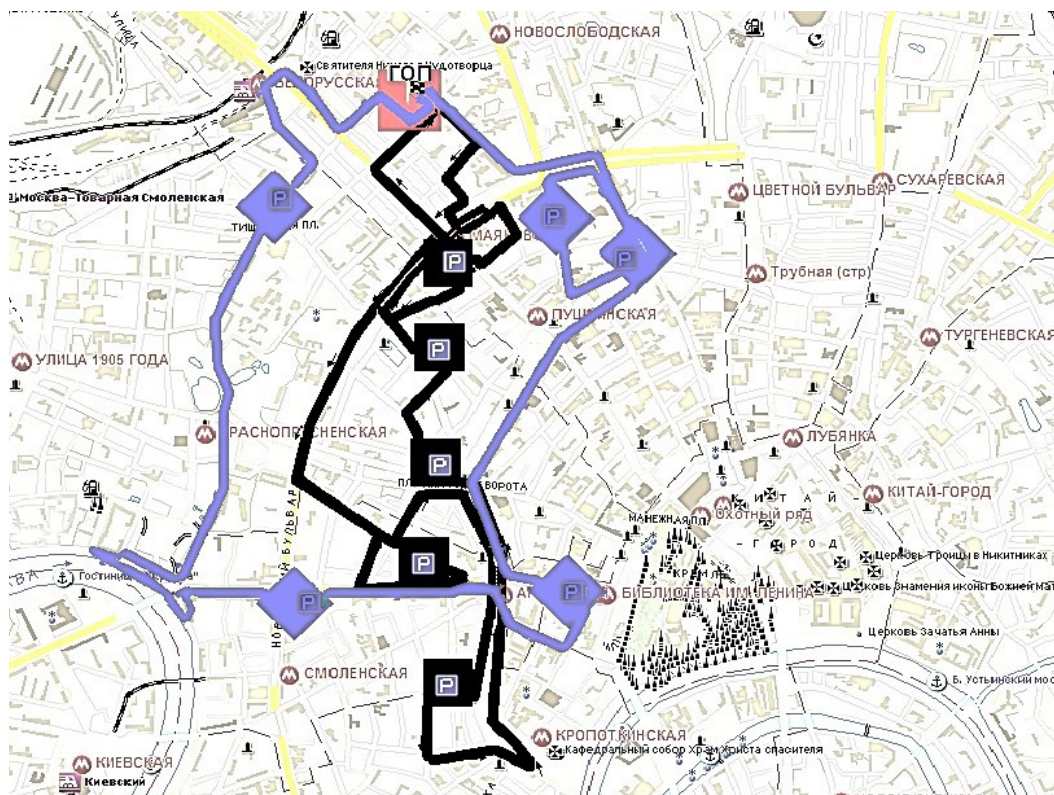


Рис. 2. Маршруты для «кустов», сформированных методом декомпозиции по матрице кратчайших расстояний.

по принципу минимального расстояния между точками с проверкой на удовлетворение заданным ограничениям.

В режиме сменно-суточного планирования маршрутов одним из сложных для реализации на этапе декомпозиции становится ограничение по времени оборота на маршрутах в сравнении с временем нахождения автомобилей в наряде. Предложено на каждом шаге построения «куста» осуществлять прогнозирование времени оборота будущего маршрута. Рационально эту операцию проводить по электронным атласам автодорог, имеющих в своём составе маршрутизатор для автоматической прокладки траектории движения по улицам и автодорогам с учётом организации дорожного движения. Таким образом, до включения потребителя груза в подмножество пунктов, планируемых к обслуживанию конкретным автомобилем, проверяется возможность расширения границ формируемой зоны обслуживания транспортного средства.

По завершению формирования «куста» переходят к построению маршрута выбран-

ным к использованию методом получения приближённого (точного) решения. При отсутствии ограничений на время доставки (временных окон) маршрут фактически уже построен на первом этапе планирования, а при наличии таковых может потребоваться корректировка с заменой части имеющихся в кластере ГПП. Рекомендуется до начала формирования «куста» предусмотреть резервное время нахождения автомобиля в наряде.

Применительно к данному примеру сформировано два маршрута с общим пробегом $L_{\text{общ}} = 15,3 + 14,33 = 29,6$ км (рис. 2). Наглядно видно, что представленное решение не рационально, так как в обеих траекториях движения содержатся значительно удалённые от ГОП точки, что приводит к необоснованным, завышенным значениям их суммарной протяжённости.

Далее проведём решение задачи приёмом декомпозиции по эвристикам метода Кларка–Райта. Дополнительно к исходной информации необходимо рассчитать матрицу эвристик (оценок, «функций выго-



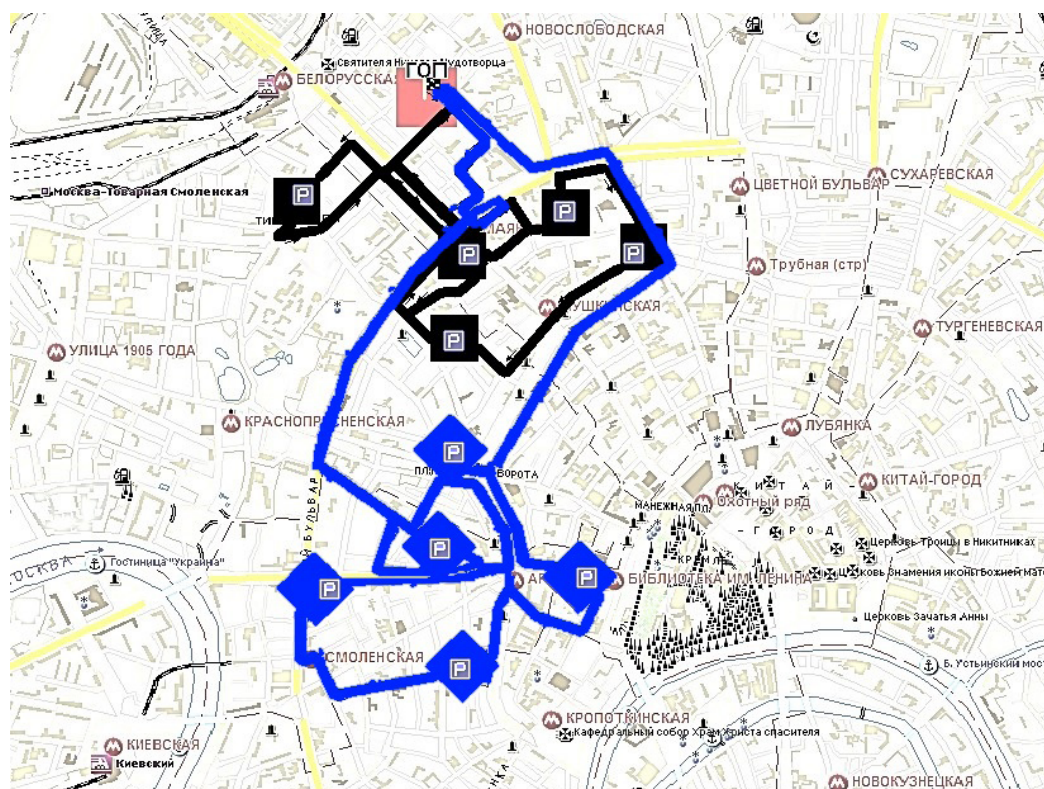


Рис. 3. Маршруты для «кустов», сформированных способом декомпозиции по эвристикам.

ды», выигрышей). Вначале, как и в первом случае, по МКР включается в «куст» наиболее удалённый от ГОП потребитель. К имеющемуся пункту добавляется вершина, объединение которой, в пару с уже включённой, имеет максимальную оценку. Затем с имеющимися в кластере двумя точками определяется пара с наибольшей оценкой или от объединения с первым пунктом, или со вторым. Потом из трёх ГПП, имеющих в «кусте», формируются пары вершин и определяется пункт с наибольшей оценкой. И так действия продолжают для всех уже находящихся в подмножестве грузополучателей по принципу максимального численного значения эвристики, а в случае равенства «функций выгоды», то и наименьшего расстояния между пунктами.

Подключение очередного потребителя груза в «куст» проводится после проверки на удовлетворение заданным техническим, технологическим и организационным ограничениям. В отличие от декомпозиции по матрице кратчайших расстояний, где необходимость включения точек в кластер оце-

нивается только взаимным расположением вершин относительно друг друга, предлагаемый метод учитывает и дислокацию пунктов по отношению к грузообразующему пункту. Формирование подмножества заканчивается, когда невозможно подключить очередной пункт без нарушения заданных ограничений или все ГПП обслужены.

В итоге сформировано два маршрута с пробегом $L_{\text{общ}} = 15,3 + 11,5 = 26,8$ км (рис. 3). Эффект от сокращения суммарного пробега для вновь сформированного сменно-суточного плана составляет 9,45 %.

На рассмотренном примере можно заметить, что применение эвристик метода Кларка–Райта может повысить эффективность решения задачи за счёт комплексной оценки расположения пунктов по отношению друг к другу и пункту производства продукции.

Для проверки алгоритма декомпозиции проведён тестовый расчёт для практической задачи сменно-суточного планирования.

Имеется один ГОП и 84 ГПП. Грузоподъёмность автомобиля — 1,5 т, время

погрузки — 30 мин., разгрузки — 12 мин., время нахождения автомобиля в наряде не нормировано (но не более 10 часов), время подготовительно-заключительных операций — 18 мин. Заданы массы доставляемых грузов и технические скорости в зависимости от расположения пунктов потребления на территории Москвы. Необходимо сформировать по критерию минимума суммарного общего пробега систему развозочных маршрутов при доставке грузов из ГОП в грузопоглощающие пункты.

Контрольный расчёт с использованием метода декомпозиции по матрице кратчайших расстояний показал, что следует иметь семь маршрутов доставки груза с общим пробегом 963,9 км. Расчётом с декомпозицией по эвристикам получено семь маршрутов с суммарным общим пробегом — 963,5 км.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Контрольные расчёты подтверждают предположение об эффективности использования предложенного приёма декомпозиции. Есть смысл продолжить работу по его исследованию путём формирования статистической базы сравнительных расчётов на различных вариантах исходных данных.

Предлагается сформулировать рекомендации по вариантам применения различных методов декомпозиции при решении задач маршрутизации транспорта в зависимости от структуры, достоверности и объёма исходной информации, задаваемой для планирования, а также плотности дислокации клиентуры в регионе транспортного обслуживания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксёнова О. А., Просов С. Н. Модель задачи о назначениях в эвристических алгоритмах маршрутизации транспорта с временными интервалами доставки // Вестник МАДИ. — 2017. — № 3. — С. 127–134.
2. Атрохов Н. А., Андроникова Л. Н. Алгоритм решения задачи перевозок мелких партий грузов с учётом ограничений на движение грузового автомобильного транспорта // Автоматизация и управление в технических системах. — 2015. — № 2. — С. 73–82.
3. Атрохов Н. А., Мороз Д. Г. Альтернативные технологии перевозок мелких партий грузов // Вестник МАДИ. — 2017. — № 4. — С. 92–100.

4. Горев А. Э. Грузовые автомобильные перевозки: Учеб. пособие. — 5-е изд., испр. — М.: Академия, 2008. — 287 с.

5. Мороз Д. Г., Просов С. Н. Декомпозиционная модель маршрутизации перевозок грузов мелкими партиями с учётом мест хранения подвижного состава // Автотранспортное предприятие. — 2014. — № 5. — С. 47–49.

6. Мороз Д. Г., Просов С. Н. Методические рекомендации по планированию перевозок мелкопартионных грузов с множеством конечных пунктов маршрутной сети // Автоматизация и управление в технических системах. — 2014. — № 12. — С. 103–110.

7. Миргородский М. А., Витвицкий Е. Е., Афанасьев Н. Д. Выбор подвижного состава при перевозке грузов мелкими отправлениями в городах: Монография. — Омск: Полиграфический центр КАН, 2012. — 142 с.

8. Мельникова Т. Е., Филиппова Н. А. Методические материалы практических (семинарских) занятий по дисциплине (модулю) «Теория транспортных процессов и систем». — М.: Техполиграфцентр, 2017—87 с.

9. Просов С. Н. Проектирование автотранспортных систем доставки: Учеб. пособие. — М.: МАДИ, 2017. — 100 с.

10. Филиппова Н. А., Беляев В. М. Методология организации и функционирования систем доставки грузов в северные регионы. — М.: Техполиграфцентр, 2015. — 208 с.

11. Филиппова Н. А., Шилимов М. В., Кошкарёв П. П., Сулакова Т. И. Проблемы автомобильного транспорта при движении в крупном городе // Наука сегодня: опыт, традиции, инновации / Материалы международной научно-практ. конференции. — М., 2017. — С. 46–48.

12. Prosov S. N., Gayazova Z. M. A modification of the method called «sum» with the time constraints of delivery of goods // International journal of advanced studies. — 2016. — № 4. — С. 56–62.

13. Aleman R. E., Hill R. R. A tabu search with vocabulary building approach for the vehicle routing problem with split demands // Int. J. Metaheuristics. — 2010. — Vol. 1. — No. 1. — Pp. 55–80.

14. Berbotto L., Garcia S., Nogales F. G. A randomized granular tabu search heuristic for the split delivery vehicle routing problem // Annals of Operations Research. — 2014. — Vol. 222. — Pp. 153–173.

15. Duhamel C., Lacomme P., Prod'homme C. Efficient frameworks for greedy split and new depth first search split procedures for routing problems // Comp. Oper. Res. — 2011. — Vol. 38. — No. 4. — Pp. 723–739.

16. Ropke S., Pisinger D. A unified heuristic for a large class of vehicle routing problems with backhauls // European Journal of Operational Research. — 2006. — Vol. 171. — No. 3. — Pp. 750–775.

17. Vacic V., Sobh T. M. Vehicle Routing Problem with Time Windows // International Journal of Computing. — 2004. — Vol. 3. — No. 2. — Pp. 72–80.

18. Vidal T., Crainic T. G., Gendreau M., Prins C. A Unified Solution Framework for Multi-Attribute Vehicle Routing Problems // Eur. J. Oper. Res. — 2014. — Vol. 234. — No. 3. — Pp. 658–673. ●

Координаты авторов: **Просов С. Н.** — sergeypros@mail.ru, **Кузьменко Е. А.** — kateya97@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 02.04.2018, принята к публикации 21.06.2018.

