

# Открытая задача маршрутизации транспортного средства с временными сроками: методы решения и применения

Zeynep Özyurt, Deniz Aksen, Necati Aras

Автор перевода: Александрова О.А.

Источник: <http://portal.ku.edu.tr/~daksen/Ozyurt-Aksen-Aras-GOR2005-OVRPTD.pdf>

## РЕЗЮМЕ

В открытой транспортной версии хорошо известной задачи маршрутизации транспортного средства, транспортные средства не обязаны возвращаться на склад; а в случае необходимости - они возвращаются назад проезжая тем же самым маршрутом. В этом исследовании мы представляем измененный параллельный алгоритм выигрышей Кларка-Райта, алгоритм ближайшей вставки и эвристический метод поиска табу для открытой задачи маршрутизации транспортных средств с временными сроками. Некоторые случайные тестовые задачи и реальная задача маршрутизации школьного автобуса решены этими эвристиками, сравнены полученные результаты.

## ВВЕДЕНИЕ

Задача маршрутизации транспортных средств с учетом грузоподъемности (ЗМТ) может быть определена как определение ряда маршрутов для парка транспортных средств, основанных на одном или нескольких складах. Цель ЗМТ состоит в том, чтобы осуществить поставки набору географически рассредоточенных местонахождений или клиентов с известными спросами по минимально стоящим турам транспортных средств начинающихся и завершающихся в складе. Открытая задача маршрутизации транспортного средства (ОЗМТ), является вариантом ЗМТ, где транспортные средства не обязаны возвращаться на склад, или если они должны, тогда они возвращаются назад проезжая тем же самым маршрутом. Хотя ОЗМТ получила мало внимания от исследователей до последних лет, она обычно встречается в бизнесе транспортировки.

В этом исследовании ОЗМТ с временными сроками (ОЗМТ-ВС) решена измененным параллельным алгоритмом выигрышей Кларка-Райта, жадным методом ближайшей вставки и эвристическим методом табу поиска. В ОЗМТ-ВС каждый клиент должен быть обслужен раньше, чем определенный временный срок. Выбор времени предоставления услуг, которое происходит как время прибытия транспортного средства в задачах маршрутизации, является важной гарантией качества обслуживания (КО), чтобы оправдать надежды клиента в системах сервиса.

## 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР И АНАЛИЗ ЗАДАЧИ

Исследования ОЗМТ, о которых напечатано в литературе, также не в изобилии, как и исследования ЗМТ. Во-первых, упоминания Schrage (1981) о ОЗМТ в статье, освещающей реальные задачи маршрутизации. Sariklis и Powell (2000) решают симметричную ОЗМТ двухшаговым алгоритмом, который использует механизм - "кластер первой секунды маршрута".

Tarantilis и Kiranoudis (2002) решают реальный пример многоскладской ОЗМТ для нового распределения мета эвристикой, которую они назвали "основанный на списке пороговый алгоритм". Пространственная система поддержки принятия решений (ПСППР) предложена Tarantilis и др. (2004). Tarantilis и др. (2004) предложили основанный на отжиге модели-

руемый алгоритм с единственным параметром для той же самой задачи. Brandão (2004) предложил поисковый алгоритм табу (ПАТ) для ОЗМТ с максимальным ограничением длины маршрута. Другой алгоритм ПАТ опять подчинен максимальному ограничению длины маршрута. Эти два алгоритма ПАТ отличаются по своим начальным решениям, структурам окрестности, целевым функциям и определениям табу. Оба алгоритма, кажутся превосходящими по быстродействию решения Powell's и Sariklis; однако, процессорные времена Sariklis и Powell значительно лучше. Хотя ПАТ улучшают решения для нескольких из задач в статье Brandão, для некоторых других они находят худшие решения в отношении полного расстояния поездки и числа используемых транспортных средств.

Устраняя ограничения, что все транспортные средства должны возвратиться на склад, не делает ОЗМТ более простой задачей. Кроме того, хорошее решение для ЗМТ не может быть преобразовано к хорошему решению ОЗМТ, просто понижая входящие дуги склада. Таким образом, ОЗМТ должна быть изучена отдельно. Наша задача отличается от текущей литературы по ОЗМТ по двух пунктам: во-первых это включение временных сроков. Каждый клиент должен быть посещен ранее, чем его временный срок. Второе отличие - ограничение, что каждый маршрут заканчивается в одном из узлов водителя, которые определены заранее. Узлы водителя фактически соответствуют местам для стоянки автомобилей или домам водителей. Присутствие таких установленных узлов водителей подходит особенно тем ситуациям, в которых поставки клиентам произведены на стороне от транспортной компании, или водители используют те же самые транспортные средства также, чтобы добираться между домом и складом.

## **1.1 Параллельный алгоритм выигрышей Кларка-Райта, модифицированный для ОЗМТ**

Данный метод предложен Кларком и Райтом в 1964 году (КР) для ЗМТ с одним складом. Так как алгоритм эффективен и прост в реализации, он все еще остается популярным до настоящего времени. Чтобы адаптировать КР к ОЗМТ-ВС, мы изменяем расстояния между клиентами и складом, и водителями и складом. Измененные расстояния назначаются следующим образом. Расстояние Клиент-Склад устанавливается в бесконечность, потому что транспортное средство не должно возвратиться к складу непосредственно от узла клиента. Расстояние Водитель-Клиент - также бесконечность, потому что транспортному средству не позволено переходить от водителя к клиенту. То же самое также истинно для расстояния Водитель-Водитель. Наконец, расстояние Водитель-Склад взято как нуль, чтобы гарантировать, что транспортное средство возвратится к складу от узла водителя, не увеличивая целевое значение.

В результате этих измененных расстояний маршрут гарантировано начнется со склада, посетит одного или более клиентов и закончит в узле водителя.

## **2.2 Алгоритм табу поиска**

Табу поиск (ТП) является мета-эвристическим алгоритмом, который ведет местный поиск, чтобы предотвратить его от попадания в ловушку в преждевременных местных оптимумах, запрещая те перемещения, которые заставляют возвращаться к предыдущим решениям и циклической работе. ТП начинается с исходного решения. На каждой итерации генерируется окрестность решений, и лучшее из этой окрестности выбирается как новое решение. Определенные атрибуты предыдущих решений сохраняются в табу-списке, который обновляется в конце каждой итерации. Выбор лучшего решения в окрестности происходит таким образом, что он не принимает ни одного из запрещенных атрибутов. Лучшее допустимое ре-

шение в настоящее время (действующее), обновляется, если новое текущее решение лучше и допустимо. Процедура продолжается, пока не выполнится любой из двух критериев останова, которыми являются максимальное число выполняемых итераций и максимальное число не улучшающих итераций во время которых действующее решение не улучшается. Характеристики эвристики ТП, предложенной для ОЗМТ-ВС, могут быть сформулированы следующим образом:

### ***Начальное Решение***

Два различных метода формирования начального решения используются в начале ТП. Первый - известный параллельный алгоритм выигрышей Кларка-Райта (КР). Если КР не в состоянии создать допустимое начальное решение из-за строгости временных сроков, мы пытаемся исправить или по крайней мере уменьшить эту недопустимость, перемещая узлы клиента с их текущих позиций на новые позиции на том же самом или на другом маршруте.

Второй - жадная конструктивная эвристика, названная методом ближайшей вставки (БВ). В этом методе мы начинаем с таким количеством маршрутов как число водителей. Каждый маршрут первоначально состоит из склада и узла водителя. Клиенты потом вставляются в эти маршруты один за другим. Все допустимые позиции вставки исследуются для всех клиентов, ожидающих вставки. Каждый раз, выбирается тот определенный клиент, который имеет наименее дорогую позицию вставки. Процедура повторяется, пока все клиенты не будут вставлены. Для  $n$  клиентов БВ создает начальное решение за время  $O(n^3)$ . Когда допустимая точка вставки вообще не может быть найдена, тогда выбирается наименее недопустимая позиция относительно грузоподъемности транспортного средства и пределов времени.

В обоих методах, описанных выше, когда допустимое начальное решение не может быть сгенерировано, полагают, что допустимость будет восстановлена во время итераций ТП.

### ***Оценка Решений***

В нашем эвристическом методе ТП мы применяем стратегическое колебание принятием недопустимых решений в процедуру. Оценка таких решений отличается от оценки допустимых решений, в том, что стоимость штрафа за нарушения грузоподъемности и временные ограничения будет добавлена к их целевому значению. Этот штраф добавлен, чтобы препятствовать тому, чтобы алгоритм исследовал недопустимые регионы области поиска в избытке.

Стоимости штрафа повышаются и падают согласно числу допустимых и недопустимых посещенных решений. Каждые 10 итераций, количества посещаемых допустимых и недопустимых решений сравниваются. Если допустимые решения посещаются больше, чем недопустимые, термины штрафа делятся на 1.5; иначе термины штрафа умножаются на 1.5.

Целевое значение для решения выглядит следующим образом:

$$\sum_{r=1}^K [D(r) + p_c V_c(r) + p_t V_t(r)] \quad (1)$$

где  $D(r)$  обозначает полное расстояние проезжаемое на маршруте  $r$ ,  $K$  обозначает общее количество маршрутов,  $V_c$  обозначает сверх грузоподъемность (полный спрос клиентов на маршруте  $r$  – грузоподъемность транспортного средства),  $V_t$  обозначает общее запаздывание на маршруте  $r$ ,  $p_c$  и  $p_t$  обозначают коэффициенты штрафа за сверхгрузоподъемность и общее запаздывание на маршруте, соответственно.

### ***Структура окрестности***

Три оператора перемещения используются, чтобы сгенерировать окрестность для текущего решения. Для каждого перемещения два клиента выбираются случайным образом как экспериментальные узлы:

1. 1-0 перемещение: один из выбранных узлов берется с его текущей позиции и вставляется после другого узла.

2. 1-1 обмен: два выбранных узла меняются, сохраняя их исходные позиции.

3. 2-0 перемещение: для двух экспериментальных узлов в том же самом маршруте, порядок посещения между ними меняется. Если экспериментальные узлы находятся в различных маршрутах, то сегменты маршрута после них меняются, сохраняя порядок узлов на каждом сегменте.

Помимо генерации окрестности, местный поиск с этими перемещениями включен в ТП как инструмент местной объявленной оптимизации (ЛОО). В применении ЛОО все клиенты устанавливаются один за другим как первый экспериментальный узел. Для определенного клиента, установленного как первый экспериментальный узел, второй экспериментальный узел перемещения выбирается таким образом, что перемещение приносит самое большое усовершенствование общего проеханного расстояния, не вызывая никакой недопустимости. В конце каждых 100 итераций так же как когда обновляется действующее решение, применяются серии ЛОО к текущему решению. Этот ЛОО включает 1-1 обмен, 2-0 перемещение, 1-0 перемещение и еще раз 2-0 перемещение.

#### ***Табу атрибуты и владение табу***

Определения табу атрибута для трех операторов перемещения следующие:

1. 1-0 перемещение: если клиент  $i$  вставлен после клиента  $j$ , позиция клиента  $i$  не может быть изменена тем же самым перемещением, когда она табу-активна.

2. 1-1 обмен: если клиенты  $i$  и  $j$  меняются,  $i$  и  $j$  не могут меняться снова, когда они являются табу активными.

3. 2-0 перемещение: если это применено к клиентам  $i$  и  $j$ , это не может быть применено снова тем же самым клиентам, когда они являются табу-активными.

На каждой итерации владение табу выбирается случайно между 5 и 15 итерациями. В некоторых случаях, а именно, если критерий стремления удовлетворен, перемещение может быть выполнено, хотя его атрибуты табу-активны. Критерий стремления удовлетворен, когда полное расстояние, получающееся из перемещений лучше, чем целевое значение действующего решения.

## **2 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

Все коды в исследовании написаны на языке ANSI C, откомпилированы и выполнены в Visual C++ 6.0 на Pentium 3.40 ГГц 4/HT PC с 2 GB RAM. Пять случайных примеров ОЗМТ-ВС и реальная ОЗМТ решены ТП, КР и БВ, сопровождающейся строгим ЛОО. Реальный пример взят у компании, которая перевозит студентов начальной школы в столичном городе Стамбуле. 22 транспортных средства собирают 434 студентов из дома утром и отвозят их назад домой днем.

В таблицах 1 и 2, ТП-БВ обозначает ТП, начальное решение которого сгенерировано ближайшим методом вставки (БВ), а ТП-КР обозначает ТП, начальное решение которого сгенерировано КР. Их результаты сравнены, чтобы увидеть эффект начального решения. Лучшие, средние, и наихудшие расстояния и секунды ЦП 20 случайных запусков приведены. Таблица 1 показывает результаты для пяти случайных тестовых задач, и Таблица 2 показывает результаты для школьной автобусной задачи. ТП также сравнен с чистым КР и чистым БВ, оба из которых сопровождаются ЛОО. КР+ЛОО обозначает КР с серией ЛОО, состоящей из 1-1 обмена, 2-0 перемещения, 1-0 перемещение и еще раз 1-1 обмен. Точно так же БВ+ЛОО обозначает БВ с той же самой серией ЛОО.

По сравнению с классической эвристикой улучшенной ЛОО ТП находит лучшие решения с обоими методами генерации начального решения. Единственное исключение к этому - задача с 75 клиентами. Здесь, КР+ЛОО находит немного лучшее полное значение расстояния, чем лучшее полное расстояние ТП-БВ. Испытание, запущенное с ТП является неокончательным из-за эффекта метода нахождения начального решения, как может быть замечено в таблицах. Наконец, полное эвклидово расстояние, которое проехал школьный автобус компании в реальном примере составляет 1 192 230 м. согласно их текущему плану маршрутизации. Это расстояние в лучшем решении, найденном КР+ЛОО, составляет 351 809 м., в то время как среднее расстояние вычислено как 354 987 м. ТП+КР обеспечивает усовершенствование на 70.5 % над планом движения компании и усовершенствование на 2.3 % над эвристикой КР+ЛОО.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В этой статье ОЗМТ-ВС представляется с ограничением, что маршруты заканчиваются в одном из узлов водителя. Задача решена двумя классическими эвристическими методами, усовершенствованными локальной объявленной оптимизацией, и с мета эвристикой табу поиска. В последней, недопустимые решения штрафуются динамически, что отличает её от предыдущей мета эвристики, предложенной в литературе ОЗМТ. В тестовых задачах, которые колеблются в размере от 25 до 100 клиентов, табу поиск с начальным решением Кларка-Райта выполняется лучше, чем классическая эвристика с локальной объявленной оптимизацией. Ограниченные эмпирические свидетельства показывают, что эффект начального решения для качества конечного решения табу поиском зависит от задачи. Для реальной задачи маршрутизации школьного автобуса табу поиск с начальным решением Кларка-Райта, улучшает текущий план движения компании на 70.5 %.

Таблица 1 Общие расстояния и время выполнения для различных тестовых примеров

Задачи	ТП+КР			ТП+БВ			Классическая эвристика	
	мин	макс	средн	мин	макс	средн	КР+ЛОО	БВ+ЛОО
25 клиентов 5 водителей	2030.1 5.09	2080.0 6.12	2193.9 6.42	1782.9 4.67	2071.9 5.82	2193.8 6.61	2030.2 0.00	2033.2 0.00
50 клиентов 10 водителей	1104.9 1.59	1116.8 13.19	1140.6 22.13	1081.1 1.75	1108.5 11.05	1157.6 19.70	1148.2 0.00	1142.5 0.00
75 клиентов 5 водителей	1199.8 6.83	1223.1 24.43	1274.0 31.41	1211.6 15.56	1228.6 24.97	1275.1 29.92	1210.7 0.02	1231.2 0.00
80 клиентов 8 водителей	1467.8 6.91	1501.9 29.18	1530.6 50.09	1476.3 6.94	1521.7 22.80	1558.2 43.42	1562.9 0.00	1622.1 0.00
100 клиентов 15 водителей	2382.9 4.64	2445.7 10.12	2516.3 25.80	2362.1 6.42	2443.2 11.33	2527.7 21.75	2431.5 0.02	2411.4 0.02

Таблица 2 Общие расстояния и время выполнения для реальной задачи маршрутизации школьного автобуса

	ТП+КР			ТП+БВ			Классическая эвристика	
	мин	макс	средн	мин	макс	средн	КР+ЛОО	БВ+ЛОО
Общее расстояние (м)	351809.4	354986.7	358381.6	355695.4	366647.7	386925.8	359917.4	397202.0
Время выполнения (сек)	48.3	105.45	166.77	50.19	117.7	244.22	0.64	1.16

## ЛІТЕРАТУРА

1. Brandão J, (2004). A tabu search heuristic algorithm for open vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research* 157: 552–564.
2. Clarke G, Wright JW (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research* 12: 568–581.
3. Fu Z, Eglese R, Li LYO (2005). A new tabu search heuristic for the open vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society* 56: 267–274.
4. Sariklis D, Powell S (2000). A heuristic method for the open vehicle routing problem. *Journal of the Operational Research Society* 51: 564–573.
5. Schrage L (1981). Formulation and structure of more complex/realistic routing and scheduling problems. *Networks* 11: 229–232.
6. Tarantilis CD, Diakoulaki D, Kiranoudis CT (2004). Combination of geographical information system and efficient routing algorithms for real life distribution operations. *European Journal of Operational Research* 152: 437–453.
7. Tarantilis CD, Ioannou G, Kiranoudis CT, Prasadacos GP (2004). Solving the open vehicle routing problem via single parameter meta-heuristic algorithm. *Journal of the Operational Research Society*: 1–9.
8. Tarantilis CD, Kiranoudis CT (2002). Distribution of fresh meat. *Journal of Food Engineering* 51: 85–91.