

6. Ларин О.Н., Латыпов Э.Р., Вязовский В.В. Современные задачи развития транзитных провозных возможностей транспортных систем // Вестник ТОГУ. – 2011. – № 3 (22). – С. 57-62.

7. Таможенная статистика внешней торговли Челябинской области. – годовой сборник / Федеральная таможенная служба. – Екатеринбург: Уральское таможенное управление, 2012. – 81 с.

8. Информационный портал по логистике, транспорту и таможне [Электронный ресурс]. URL: www.Logistic.ru.

9. Официальный сайт Министерства транспорта Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: www.mintrans.ru.

10. Официальный сайт Федеральной статистической службы Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: www.gks.ru.

УДК 656.022.838

ПЛАНИРОВАНИЕ МАРШРУТИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТА В УСЛОВИЯХ КРУПНОГО ГОРОДА

Зубарев А.К.

*ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей
связи» (УрГУПС),*

*620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66,
кафедра «Мировая экономика и логистика»*

Аннотация

Современная транспортная, а в частности уличная инфраструктура, все больше наталкивается на пределы пропускной способности. Существующая система организации перевозок в условиях повышения плотности маршрутной сети не всегда удовлетворяет возникающий спрос на транспортные услуги. Поскольку мероприятия по расширению инфраструктуры едва ли могут удовлетворить неудержимый рост числа транспортных единиц на городских улицах, задачи планирования перевозок начинают изменяться. Сложность поставленной задачи требует новых форм планирования, или, по крайней мере, изменения акцентов планирования движения транспорта. Задача маршрутизации транспорта может быть решена путем построения одного или нескольких кольцевых маршрутов. Для их построения известны как методы точного линейного программирования, так и приближительные эвристические методы. Нужно учесть, что перед использованием тех или иных методов, их необходимо тестировать на применимость в зависимости от определенных параметров маршрутов движения.

Ключевые слова: городская логистика, задача коммивояжера, маршруты движения, методы оптимизации, эвристические методы.

PLANNING OF ROUTE TRAFFIC IN THE BIG CITY

Zubarev A.

Ural State University of Railway Transport

Abstract

In the article considers the problem of determining the level of logistics service. Proposed the method of determining the optimal service level, based on the minimization of logistics tariffs, which does not set limits on the creation of the material-technical base and the development of the of personnel reserve and allows to maintain a high level of service.

Key words: city-logistics, travelling salesman problem, route, optimization techniques, heuristics.

Современная задача маршрутизации заключается в определении самого выгодного маршрута, проходящего через указанные точки как минимум один раз с последующим возвратом в исходную точку.

Математическая интерпретация задачи маршрутизации сводится к постановке классической задачи коммивояжера (Travelling salesman problem).

Комбинаторная постановка задачи коммивояжера состоит в поиске такого замкнутого маршрута с началом и концом в одной вершине, который включает в себя все остальные вершины и длина его при этом минимальна [1]. Формальную постановку задачи можно записать в виде

$$L(\mu_k^{n-1}) = \sum_{(i,j) \in \mu_k} c_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$
$$\mu_k^{n-1} = \langle k, \dots, j, \dots, k \rangle \in \{\mu_k^{n-1}\}^1,$$

где $L(\mu_k^{n-1})$ – длина цикла как сумма длин дуг (i, j) , входящих в цикл μ_k^{n-1} ; μ_k^{n-1} – контур (цикл), содержащий в качестве промежуточных все $n - 1$ остальных вершин графа (гамильтонов цикл).

Проводя наше исследование, мы исходили из того, что в условиях города задача маршрутизации автомобильного транспорта может быть решена путем построения кольцевых маршрутов. При этом проблемой поиска оптимальной последовательности прохождения транспортного средства по точкам маршрута является большое число вариантов конфигураций.

Традиционно применявшиеся в прошлом методы планирования маршрутов городского транспорта без поддержки компьютерных технологий достигли пределов в своем совершенствовании и не отвечают заданным требованиям времени. Очевидным становится то, что дальнейший путь оптимизации лежит в создании систем поддержки принятия логистических решений, допускающих активное взаимодействие диспетчера, принимающего решения и компьютера со специализированным

программным обеспечением. При этом весомой проблемой планирования перевозок следует считать эффективный перебор вариантов решений в задачах, имеющих большие исходные размеры и большое число ограничений

Если проблему маршрутизации транспорта рассматривать как комбинаторную, она может иметь очень большую размерность. Например, согласно исследованию профессора Дитера Файге, для формирования оптимального маршрута по двадцати маршрутным точкам современному компьютеру, просчитывающему десять миллионов вариантов в секунду, чтобы найти оптимальное решение методом полного перебора, потребуется 381 год [2]. При этом необходимо отметить, что количество маршрутных точек в реальных задачах маршрутизации городского транспорта доходит до тысячи.

Таким образом, возникает настоятельная необходимость в исследовании методов, которые удовлетворяли бы не только критериям точности решения, но и имели бы приемлемую скорость получения результата.

В исследовании мы исходили из того, что подходящими для решения рассматриваемых задач являются эвристические методы оптимизации. Они обладают требуемой универсальностью, высоким быстродействием, устойчивостью результатов вычисления.

В качестве методов поиска решения, мы использовали следующие:

- 2-opt – метод «2-опт»;
- SA – Simulated Annealing - Алгоритм имитации отжига;
- TA – Threshold Accepting – Приемлемость предельного значения;
- GD – Great Deluge – Алгоритм всемирного потопа;
- RR – Ruin and Recreate Principle – Алгоритм разрушения-восстановления;
- Neuro – Neuronales Netz – Нейронные сети.

Основная идея метода «2-опт» заключается в том, что имеющийся маршрут разбивается путем изъятия двух произвольных звеньев на два фрагмента, которые затем опять объединяются в один маршрут путем включения в него звеньев, не совпадающих с удаленными звеньями. Для восстановления такого маршрута существует только два звена и один вариант объединения маршрута. Последовательно заменяя пары звеньев, дающие наибольшую выгоду, можно получить маршрут, который нельзя больше улучшить. Такой маршрут считается 2-оптимальным.

«Алгоритм имитации отжига» – это один из методов Монте-Карло, основанный на имитации физического процесса, который происходит в ходе кристаллизации вещества из жидкого состояния в твердое. При выстраивании атомов в кристаллическую решетку еще допустимы переходы отдельных атомов из одной ячейки в другую. Предполагается, что про-

цесс протекает при постепенно понижающейся температуре. Устойчивая кристаллическая решетка соответствует минимуму энергии атомов, поэтому атом либо переходит в состояние с меньшим уровнем энергии, либо остается на месте.

Метод «приемлемость предельного значения» является частным случаем предыдущего метода. В противоположность предыдущему методу, при переходе от точки к точке маршрута приемлемость предельного значения не принимает худшие решения по отношению к предыдущим решениям – они игнорируются процессом оптимизации. Кроме того, применяя этот метод, мы увеличиваем скорость получения решения за счет отмены функции вероятности и определения случайного числа [1].

Метод «алгоритм всемирного потопа» позволяет моделировать поведение человека в ходе наводнения. Человек, спасаясь от затопления, стремится подняться на холм. Если человек «промок», то это означает, что одно из самых высоких мест было достигнуто и, таким образом, было получено приемлемое решение.

Действие «алгоритм разрушения-восстановления» сводится к: идентификации уровня препятствия оптимальному решению, разрушению значительных препятствий и последующему использованию процедур восстановления для разрушенной части решения. Наиболее трудоемка часть алгоритма – восстановление решения (до 90% вычислительного времени) [1].

Шестой эвристический метод – нейронные сети. Поиск приемлемого маршрута при помощи метода нейронных сетей основывается на математической модели, построенной по принципу организации и функционирования сетей нервных клеток живого организма.

Для проведения экспериментальных исследований была использована компьютерная программа «Metaheuristikien» по определению наилучших методов поиска оптимальных маршрутов. Программа написана на языке программирования «Borland Delphi», под операционную систему Windows 98/Me/2000/XP/7. Данная программа реализует алгоритм перебора пунктов, включаемых в маршрут, и обеспечивает рационализацию порядка их объезда методами поисков решений, описанных выше [2].

Принцип работы программного обеспечения следующий: генерируется сеть с определенным числом точек маршрута, после чего выбирается метод анализа и программа вычисляет оптимальный маршрут. После того как проведены расчеты по всем методам, изменяется количество точек, сеть генерируется заново, и расчеты проводятся уже для нового числа точек. Нами была сделана выборка из 195 решений по каждому методу и определено среднее значение.

На рис.1 представлены результаты оценки эвристических методов поиска оптимальных маршрутов в интервале 5-55 маршрутных точек. По оси абсцисс отмечено количество маршрутных точек, по оси ординат – протяженность маршрута. В результатах, получаемых разными методами, но при одном количестве точек, прослеживается сходство, выраженное в закономерных пиках и падениях. В интервале 40-55 точек заметны существенные отклонения в результатах.

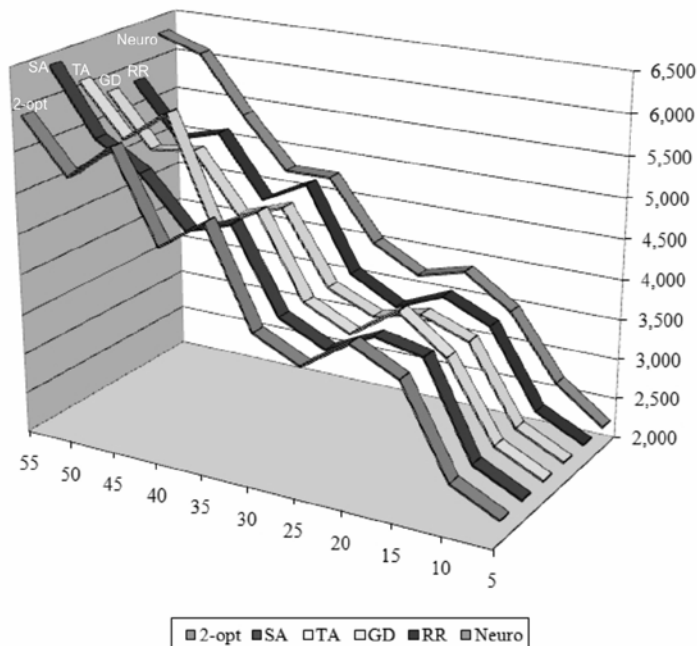


Рис. 1. Графическое представление результатов экспериментальной оценки поиска оптимальных маршрутов эвристическими методами в интервале 5 – 55 маршрутных точек

Анализируя результаты экспериментальной оценки методов поиска в компьютерной программе «Metaheuristiken» мы можем сделать вывод о том, что в диапазоне 5 – 55 маршрутных точек, наилучшим методом поиска является «Алгоритм всемирного потопа» (GD), который показывает минимальные значения протяженности маршрута.

Вычисленный показатель стандартного отклонения показал, что разброс значений в представленном множестве со средней величиной множеству достаточно низкий (табл.1).

Современные методы поддержки принятия комплексных решений по транспортному обеспечению городского движения требуют информа-

ции не только о месторасположении основных, но и дополнительных точек: множественные перекрестки, мосты, путепроводы и т.п. Поэтому был выбран диапазон 25 – 1000 точек и проведен эксперимент с данным диапазоном, по результатам которого можно сделать следующие выводы (рис.2). Метод «нейронных сетей» показывает наихудшие решения в этом диапазоне, причем, в районе 625 точек сети кривая решений этого метода резко уходит вверх, что говорит о неприемлемости использования данного метода в диапазоне 625 – 1000 пунктов сети. Наилучшим методом поиска для данного диапазона является «алгоритм разрушения-восстановления» (RR), однако этот метод сопряжен со значительными временными затратами на получение решения.

Таблица 1

Экспериментальная оценка точности результатов поиска оптимального маршрута, охватывающего 50 точек

Маршрут, охватывающий 50 точек (выборка - 195 решений)			
№ п/п	Модель оптимизации	Среднее значение	Стандартное отклонение (s)
1	2-opt	5,481	0,000000000000004
2	SA	5,332	0,069585935210100
3	TA	5,420	0,092036758106211
4	GD	5,220	0,098607860088836
5	RR	5,335	0,022401258650111
6	Neuro	5,764	0,238078090135044

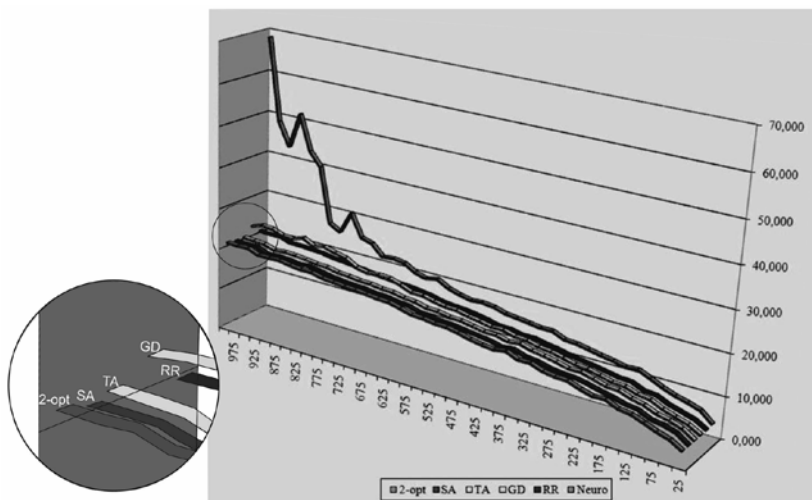


Рис. 2. Графическое представление результатов экспериментальной оценки поиска оптимальных маршрутов эвристическими методами в интервале 25 – 1000 маршрутных точек

Следующим методом после «алгоритма разрушения-восстановления», на основе которого получаются минимальные значения решения в заданном диапазоне точек маршрутной сети с приемлемым расчетным временем, является «алгоритм имитации отжига» (SA).

Таблица 2

Результаты оценки временных затрат на поиск оптимального маршрута

№ n/n	Метод	Время на поиск оптимального маршрута	
		Сеть из 50 точек	Сеть из 1000 точек
1	2-opt	2 сек	21 сек
2	SA	28 сек	8 мин 7 сек
3	TA	57 сек	12 мин 31 сек
4	GD	1 мин 16 сек	9 с - 42 сек
5	RR	1 ч 14 мин 37 сек	1 ч 39 мин 15 сек
6	Neuro	4 сек	55 сек

Теория предлагает достаточный и все расширяющийся арсенал методов для повышения качества принимаемых решений. Среди них нельзя выделить более или менее важные. Каждый из них в определенной ситуации может играть решающую роль в достижении поставленных целей. Однако, как показывает практика применения экономико-математических методов для планирования маршрутов городского транспорта, точные методы не всегда оказываются эффективными из-за предельно ограниченных сроков оперативного планирования, существующих в условиях современного городского движения. Поэтому мы предлагаем использовать эвристические методы маршрутизации городского автомобильного транспорта.

Библиографический список

1. Christofides N., Eilon S. Algorithm for large-scale traveling salesman problems. – Operational Research Quartlery, New York, 2002.
2. Feige D., Klaus P., Werr H. Decision Support for Cooperative Distribution Networks. Springer Verlag, Berlin, 1999.
3. Самуйлов В.М., Петров А.В., Богданова М.М. Транспортно-сетевая концепция распределения товаров // Транспорт Урала. – 2009. – № 1 (20). – С.6-10.
4. Самуйлов В.М., Петров А.В., Зубарев А.К. Сравнительный анализ эвристических методов маршрутизации городского транспорта // Транспорт Урала. – 2012. – № 4 (35). – С.12-16.