

Алгоритм муравьиных колоний для задачи проектирования рациональных маршрутных сетей городского пассажирского транспорта

Е.А. Кочегурова, Я.А. Мартынов, Ю.А. Мартынова, С.Г. Цапко¹

Актуальность исследования обусловлена необходимостью оптимизации стихийно сложившихся маршрутных сетей городского пассажирского транспорта. Эффективное решение данной проблемы – применение систем поддержки принятия решений. Однако автоматизация подобных задач требует проведения научных исследований с целью получения эффективных алгоритмов, пригодных для использования на практике. Целью работы является предложение новой модели оптимизации системы городского пассажирского транспорта, позволяющей учитывать противоположные интересы её участников, и адаптация метаэвристического алгоритма муравьиных колоний к задаче проектирования маршрутных сетей городского общественного транспорта. Тестирование предложенной модели и алгоритма проводилось на двух наборах данных. Первое тестирование позволило оценить работоспособность алгоритма и модели на простой сети; второе тестирование позволило оценить эффективность работы алгоритма и модели на реальной маршрутной сети города Томска (Россия). Полученные результаты показали, что оптимизированная маршрутная сеть города является более эффективной по сравнению с существующей за счет сокращения количества пересадок и времени, проводимого пассажирами в пути.

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, маршрутная сеть, проектирование, оптимизация, оптимизационная модель, метаэвристические алгоритмы, алгоритм муравьиных колоний.

1. Введение

Пассажирский транспорт относится к числу важнейших отраслей жизнеобеспечения города, от функционирования которого зависят качество жизни населения, эффективность работы отраслей экономики города и возможность использования её градостроительного и социально-экономического потенциала.

За последние годы во многих городах России значительно изменилась структура спроса на пассажирские перевозки. Это обусловлено процессом динамичного социально-экономического развития городов, который вызвал появление новых объектов и зон притяжения пассажиропотоков, таких как деловые, торговые, развлекательные и спортивные центры, изменения в структуре расселения жителей города в связи с появлением новых зон активной жилой застройки.

¹ Результаты работы получены в ходе выполнения договора №4-523/13 «Разработка и апробация экспертного диагностического алгоритма оптимизации маршрутной сети городского пассажирского транспорта города Томска на базе совершенствования методики обследования пассажиропотоков с применением современных информационных технологий».

Одновременно с ростом уровня автомобилизации населения возросла нагрузка на дороги, одну из существенных частей которой составляет пассажирский транспорт.

Все это предопределяет необходимость оптимизации стихийно сложившейся системы городского пассажирского транспорта (ГПТ), не отвечающей потребностям сегодняшнего дня. Эффективным решением данной проблемы является применение систем поддержки принятия решений в области маршрутизации транспорта [1]. Однако автоматизация задач данной отрасли требует проведения научных исследований с целью получения эффективных алгоритмов, пригодных для использования на практике.

Задача проектирования маршрутной сети пассажирского транспорта является обобщением известной задачи коммивояжера, при которой необходимо построить сразу несколько незамкнутых маршрутов. Эти задачи относятся к классу задач комбинаторной оптимизации и являются NP-трудными. Точные методы решения за конечное время не применимы для таких задач с более чем 15–20 вершинами.

В последнее время наибольший интерес проявляется к приближённым алгоритмам. В начале 60-х годов XX века активное развитие получили эвристические методы, в наши дни называемые классическими. В последние двадцать лет основные усилия были направлены на развитие так называемых метаэвристических методов. Большинство этих методов основано на наблюдениях за живой и неживой природой. Их отличительная особенность заключается в способности преодоления точки локального оптимума для продолжения поиска, поэтому потенциально в сравнении с классическими эвристиками метаэвристические методы способны находить более качественные решения [2].

Одним из методов решения задач поиска оптимальных маршрутов на графах является алгоритм оптимизации подражанием муравьиной колонии, иначе Муравьиный алгоритм (англ. Ant Colony Optimization, ACO). Суть подхода заключается в использовании модели поведения муравьёв, ищущих путь от колонии к источнику пищи, и представляет собой метаэвристическую оптимизацию.

Отправной точкой в изучении алгоритма послужили эксперименты по изучению поведения реальных муравьёв, проводимые Госсом (1989 г.) и Денеборгом (1990 г.) [3]. Однако первым, кто формализовал поведение муравьёв и выработал стратегию решения для задачи о кратчайших путях, стал Марко Дориго (Университет Брюсселя, Бельгия, 1992 г.). Ему же приписывается авторство алгоритма [4].

Преимуществами данного алгоритма можно назвать высокую эффективность по сравнению с другими методами глобальной оптимизации (например, нейронные сети, генетические алгоритмы), адаптируемость и масштабируемость, а также гарантированную сходимость, что позволяет получить оптимальное решение независимо от размерности графа.

2. Классический алгоритм муравьиных колоний

Муравьиный алгоритм относится к категории алгоритмов роевого интеллекта и моделирует поведение муравьиной колонии. Муравьи – это социальные насекомые, способные образовывать коллективы (колонии). Именно коллективная система позволяет эффективно решать задачи динамического характера, которые не могли бы быть выполнены отдельными элементами системы без наличия соответствующего внешнего управления и координации. Основу поведения муравьиной колонии составляет способность самоорганизации, позволяющая быстро адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды и обеспечивающая достижение общих целей колонии на основе низкоуровневого взаимодействия.

Взаимодействие происходит посредством феромонов, которыми отдельные особи помечают пройденный ими путь. Чем больше феромонов, тем чаще используется тропа, что указывает на оптимальность маршрута с точки зрения его длины.

Рассмотрим поведение муравьёв на конкретном примере (рис. 1). Задача состоит в том, чтобы найти оптимальный путь от гнезда (N) до цели (источника пищи, F).

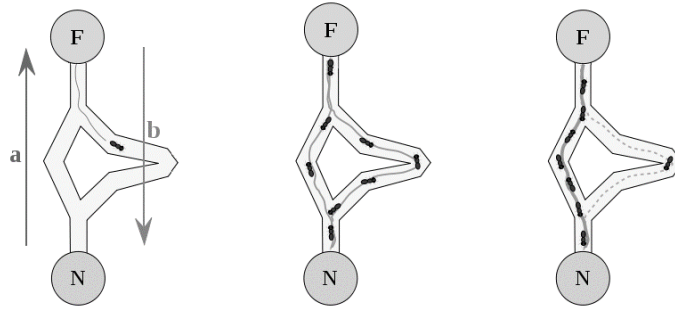


Рис. 1. Поиск оптимального пути муравьиной колонией

Логично предположить, что изначально муравьи будут обходить препятствие как слева, так и справа с равной вероятностью. Однако те представители колонии, которые случайно выберут кратчайший путь, преодолеют расстояние от начальной точки до цели и обратно за более короткий промежуток времени, а значит, за несколько передвижений этот путь больше обогатится феромонами. А поскольку ориентиром при движении для муравьёв служит именно феромон, то путь с большей концентрацией будет выбран остальными членами колонии.

Муравьиный алгоритм можно описать следующей последовательностью действий [5]:

1. Создание муравьёв. Способ размещения муравьёв является определяющим и зависит от условий задачи: все муравьи могут быть помещены в одну точку, либо в разные. Также в момент создания муравьёв необходимо задать начальный уровень феромона, характеризующийся некоторым небольшим положительным числом. Это необходимо для обеспечения ненулевой вероятности перехода в следующую точку на начальном шаге.

2. Поиск решения. Маршрут представляет собой совокупность вершин графа. Вероятность перехода из вершины i в вершину j определяется по следующей формуле:

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha \cdot \eta_{ij}^\beta}{\sum_{h \notin \text{tabu}_k} \tau_{ih}^\alpha \cdot \eta_{ih}^\beta}, & \text{если } j \notin \text{tabu}_k \\ 0 & \end{cases}, \quad (1)$$

где τ_{ij} – количество феромона на ребре (i, j) , «обоняние» муравья;

η_{ij} – привлекательность ребра (i, j) , $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$, d_{ij} – расстояние между вершинами i и j , «зрение» муравья;

α , β – регулируемые параметры, определяющие важность составляющих (вес ребра и уровень феромонов) при выборе пути;

tabu_k – список уже посещённых вершин, «память» муравья.

При $\alpha = 0$ алгоритм вырождается в жадный, т.к. выбор ближайшей вершины производится без учёта количества феромона. При $\beta = 0$ выбор основывается только на величине феромона, не учитывается длина пути.

3. Обновление феромонов. После того, как все муравьи закончили свой путь, количество феромона должно обновиться. Этот процесс состоит из двух этапов: сначала необходимо уменьшить значение феромона на всех дугах на определённую константную величину, затем увеличить уровень феромона на тех рёбрах, которые посещали муравьи.

Имитация испарения феромона производится по формуле:

$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij}, \quad (2)$$

где ρ – параметр, контролирующий интенсивность испарения феромона.

Параметр ρ позволяет избежать бесконечного накопления феромонов на рёбрах пути, что в свою очередь приведёт к тому, что алгоритм не будет «забывать» плохие решения, полученные ранее. В случае если ребро не было выбрано муравьями, то связанный с ним уровень феромона с каждой итерацией будет экспоненциально уменьшаться.

После испарения все муравьи изменяют уровень феромона на рёбрах, которые они посетили. Для ребра (i, j) количество откладываемого феромона задаётся в виде:

$$\tau_{ij} = \tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k, \quad (3)$$

где $\Delta \tau_{ij}^k$ – количество феромона, откладываемого k -ым муравьем на ребре, которое он посетил.

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} Q/L, & \text{если ребро } (i, j) \in L \\ 0 & \end{cases}, \quad (4)$$

где Q – константа, искусственно добавляющая феромон;

L – общая длина пройденного пути.

Согласно (4), чем лучше путь, тем больше феромона будет принадлежать рёбрам этого пути. В общем случае рёбра, которые используются большим количеством муравьёв и которые являются частью наиболее короткого пути, получают больше феромонов, и поэтому наиболее часто будут выбираться муравьями в следующих итерациях.

Этот итерационный процесс будет продолжаться до выполнения определённого условия завершения:

- выполнено заданное количество итераций;
- все заданное количество муравьёв завершило поиск;
- достигнуто требуемое качество решения;
- истёк квант процессорного времени.

3. Оптимизационная модель

В упрощённом виде система ГПТ представляется в виде трёх взаимовлияющих подсистем: «город», «транспорт», «пассажиры» (рис. 2) [6].



Рис. 2. Система городского пассажирского транспорта

Подсистема «город» включает в себя такие элементы, как «промышленность», «жилая застройка», «улично-дорожная сеть», а также обслуживание и управление этими элементами. Основным требованием подсистемы «город» к работе ГПТ является обеспечение бесперебойной перевозки городского населения.

Подсистема «транспорт» включает организации, обеспечивающие пассажирские перевозки.

Для подсистемы «пассажиры» эффективность функционирования транспортной системы определяется качеством удовлетворения спроса на перевозки.

Очевидно, что показатели эффективности с точек зрения участников системы ГПТ являются противоречивыми. Так, например, сокращение времени ожидания пассажиров очевидным образом связано с увеличением количества подвижного состава на маршруте, а следовательно, со снижением его загруженности и экономической выгоды. С другой стороны, стремление увеличить прибыльность транспортных организаций может привести к отказу

населения от перевозок и появлению конкурирующих организаций. Таким образом, оценка показателей эффективности должна проводиться с учётом потребностей всех участников системы ГПТ.

В качестве такого критерия оптимизации для системы ГПТ можно предложить плотность пассажиров прямого сообщения на исследуемом участке дороги [7], т.е. количество пассажиров, едущих без пересадки из пункта А в пункт В, на единицу пути. Таким образом, модель оптимизации незамкнутой маршрутной сети ГПТ будет выглядеть следующим образом:

$$D_{AB} = \frac{Q_{AB}^{\text{sum}}}{L_{AB}} = \frac{\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} T_{ij} x_{ij}}{\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \Delta_{ij} l_{ij} x_{ij}} \rightarrow \max,$$

$$\begin{cases} L_{\min} \leq L_{AB} \leq L_{\max} & (a) \\ Q_{AB}^{\text{sum}} > Q_{\min} & (b) \\ A, B \in F & (c) \\ A \neq B & (d) \\ 0,2\text{km} \leq \forall l_{ij} \leq 0,8\text{km} & (e) \\ q = \frac{L_{AB}}{P_{AB}^{\text{sh}}} \leq 1.5 & (f) \end{cases} \quad (5)$$

где D_{AB} – плотность пассажиров прямого сообщения на маршруте А-В;

$Q_{AB}^{\text{sum}} = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} T_{ij} x_{ij}$ – общее количество пассажиров прямого сообщения на маршруте

А-В;

$L_{AB} = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \Delta_{ij} l_{ij} x_{ij}$ – длина рассчитываемого маршрута А-В;

i, j – номера остановок;

T_{ij} – количество пассажиров прямого сообщения между остановками i и j ;

x_{ij} – булева переменная, определяющая принадлежность остановок i и j маршруту А-В;

Δ_{ij} – булева переменная, определяющая принадлежность участка пути i - j маршруту А-В;

l_{ij} – длина участка пути i - j ;

$L_{\min} / L_{\max}$ – минимально / максимально допустимое значение длины маршрута;

$Q_{\min}$ – минимально допустимое количество пассажиров для маршрута;

F – массив конечных остановок;

A – начальная остановка;

B – конечная остановка;

q – коэффициент прямолинейности маршрута;

P_{AB}^{sh} – наикратчайшее расстояние между остановками А и В.

Предлагаемый критерий оптимизации позволяет учесть интересы пассажиров и перевозчиков. С точки зрения пассажиров, максимизация критерия приведет к сокращению пересадок, а следовательно, к сокращению общего времени, затрачиваемого на поездку. Увеличение количества пассажиров на единицу пути означает увеличение пассажиропотока, обслуживаемого перевозчиками, что, в свою очередь, приведёт к увеличению прибыли транспортных компаний.

4. Алгоритм муравьиных колоний для задачи проектирования маршрутных сетей ГПТ

Главная идея проектирования маршрутной сети общественного транспорта заключается в поиске оптимальных пар начальных и конечных остановок. Различные пары могут формировать различные маршруты с различной плотностью пассажиров прямого сообщения (D_{AB}). Если рассматривать автобусы как колонии муравьев, начальные остановки – гнезда, откуда муравьи начинают свой путь, а конечные остановки – источник пищи, то задача проектирования маршрутных сетей городского транспорта может быть упрощена до процесса поиска муравьиными колониями пищи по феромонам, т.е. поиск оптимальных автобусных маршрутов от начальной остановки до конечной с учётом плотности пассажиров прямого сообщения.

Основные шаги алгоритма описаны ниже.

Шаг 1. Инициализация

– Инициализация маршрутной сети: Маршрутная сеть представляет собой граф, узлы которого – это остановки (начальные, конечные и промежуточные), а рёбра – это расстояние между остановками. Таким образом, маршрутная сеть представляется в виде $G = (S, L)$, где S – остановки, L – связи между ними.

– Инициализация матрицы корреспонденций: Матрица корреспонденций – это количественная характеристика передвигающихся по городу объектов, т.е. объём потока между каждой парой остановок [8].

– Инициализация параметров алгоритма: К основным параметрам алгоритма относятся количество колоний m , количество муравьев в колониях n и топология их размещения на графе [9].

– Инициализация матрицы феромонов: В качестве начальных значений элементов матрицы феромонов $\tilde{\tau}$ предлагается использовать среднюю величину плотности пассажиров прямого сообщения по всей матрице корреспонденций ($\tilde{\tau} = \sum_{i,j \in N} T_{ij} / \sum_{i,j \in N} l_{ij}$).

Шаг 2. Выбор начальной и конечной остановок

Прежде, чем приступить к поиску маршрута, необходимо выбрать начальную и конечную остановки. Пара остановок считается допустимой, если не лежит внутри уже существующего маршрута и удовлетворяет всем ограничениям.

Шаг 3. Поиск пути

– Выбор следующей остановки: Принятие решения о выборе следующей остановки основывается на вероятностном правиле перехода с учётом количества феромонов τ_{ij} и расстояния между остановками d_{ij} по формуле (1).

– Расчёт количества пассажиров между двумя соседними остановками: Как показано на рис. 3, количество пассажиров между остановками k и l определяется количеством пассажиров между областями X_k и Y_l .

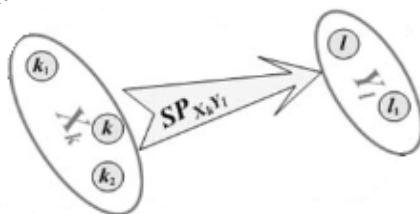


Рис. 3. Количество пассажиров между соседними остановками

Область X_k содержит остановки шаговой доступности от остановки k , т.е. $X_k = \{k, k_1, k_2\}$, область Y_l содержит остановки шаговой доступности от остановки l , т.е. $Y_l = \{l, l_1\}$. Таким образом, количество пассажиров прямого сообщения от остановки k к l равно количеству пассажиров из X_k в Y_l , т.е. $T_{X_k Y_l} = T_{kl} + T_{kl_1} + T_{k_1 l} + T_{k_1 l_1} + T_{k_2 l} + T_{k_2 l_1}$.

– Расчёт количества пассажиров на участке маршрута: Как показано на рис. 4, количество пассажиров на участке маршрута (k, l) Q^{kl} рассчитывается как сумма пассажиров из X_k до Y_l и из X_k до Z_m , т.е. $Q^{kl} = T_{X_k Y_l} + T_{X_k Z_m}$.

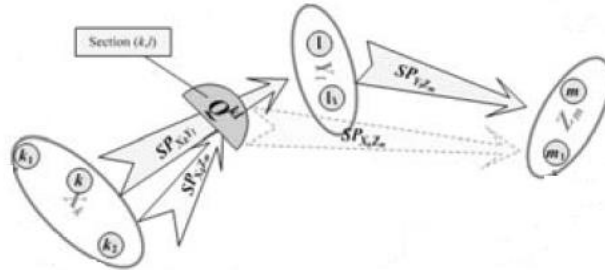


Рис. 4. Количество пассажиров на участке маршрута

– Расчёт общего количества пассажиров на маршруте: $Q^{\text{sum}} = \sum_{k,l \in S_{AB}} Q_{kl}$.

– Расчёт длины маршрута: $L = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \Delta_{ij} l_{ij} x_{ij}$.

– Расчёт плотности пассажиров прямого сообщения на маршруте: $D_{AB} = Q^{\text{sum}} / L$.

Если параметры найденного маршрута удовлетворяют всем заданным ограничениям (5), то выполняется обновление маршрутной сети, иначе маршрут удаляется и алгоритм возвращается на шаг 2.

Шаг 4. Обновление феромонов

После нахождения маршрута происходит обновление матрицы феромонов по формуле (3).

Шаг 5. Условие завершения алгоритма

Процесс построения маршрутной сети прекращается, если все маршруты между необходимыми парами начальных и конечных остановок найдены.

На рис. 5 приведена блок-схема описанного алгоритма.

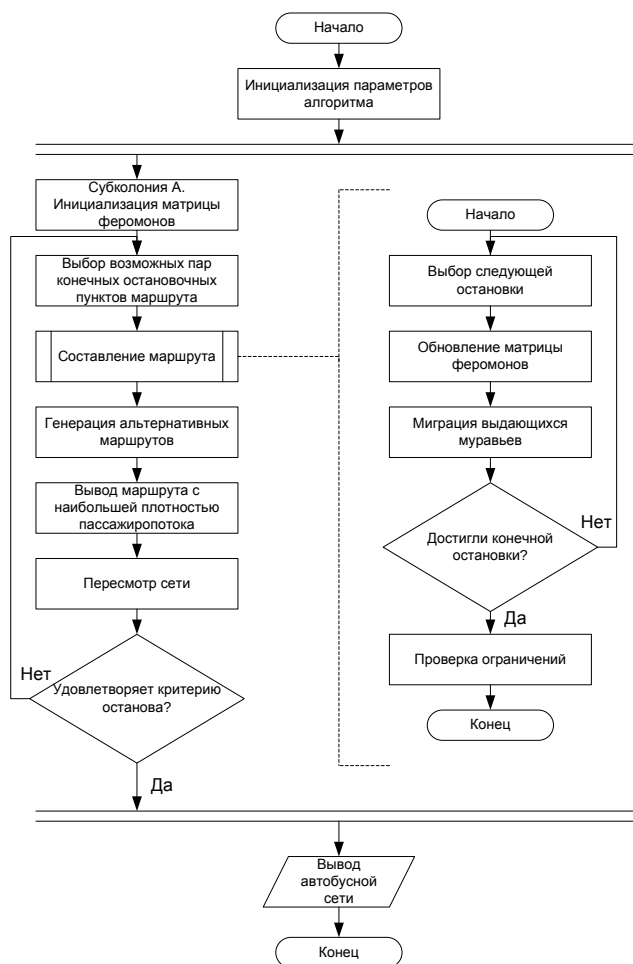


Рис. 5. Блок-схема алгоритма муравьиных колоний для задачи проектирования маршрутных сетей

5. Тестирование алгоритма

Апробация предложенного алгоритма проектирования маршрутных сетей ГПТ и модели оптимизации на основе максимизации плотности пассажиров прямого сообщения была проведена на примере двух наборов данных. Первое тестирование позволило оценить работоспособность алгоритма и модели на простой сети; второе тестирование позволило оценить эффективность работы алгоритма и модели на реальной маршрутной сети города Томска, Россия.

5.1. Тест 1

На рисунке 6 представлен граф, состоящий из 50 узлов и 64 связей, который был выбран для тестирования предлагаемого алгоритма. В качестве исходных данных для задачи также использовалась матрица пассажирских корреспонденций (50×50), заполненная случайными числами.

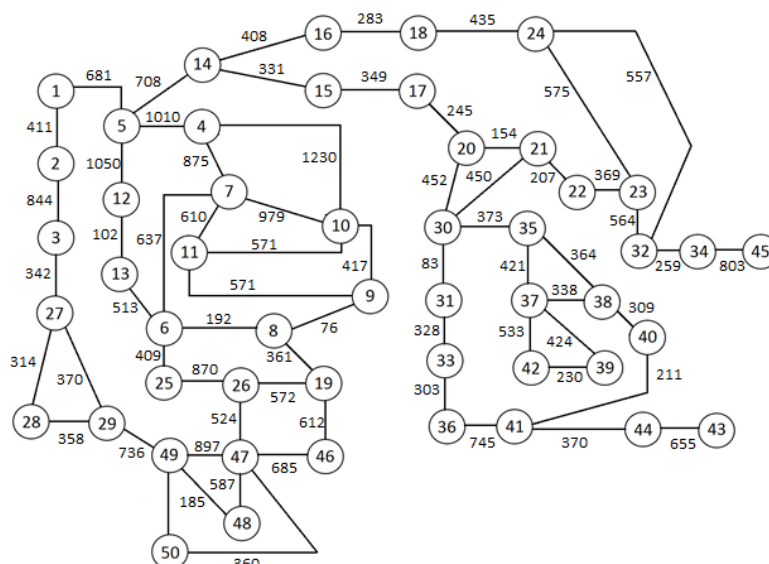


Рис. 6. Структура графа для тестирования

Прежде чем приступить к построению маршрутов на графе, необходимо исследовать влияние значений регулируемых параметров алгоритма муравьиных колоний на его сходимость и качество получаемого решения.

Это исследование проводилось на примере построения маршрута между узлами 1 и 43. При проведении исследования изменялись значения переменных α , β , отвечающих за вес ребра и количество феромона на нём. Значения параметров Q и p не изменялись, им были присвоены значения 30 и 0.5 соответственно. В табл. 1 приведены результаты эксперимента.

Таблица 1. Результаты экспериментов

№	Параметр	Значение
1	α	0,5
	β	1
	Общая длина пути	5 250 м
	Маршрут	1-5-14-15-17-20-30-31-33-36-41-44-43
	Время поиска решения	4.543 с
2	α	1
	β	2
	Общая длина пути	5 402 м
	Маршрут	1-5-14-15-17-20-21-30-31-33-36-41-44-43
	Время поиска решения	4.943 с
3	α	1
	β	1
	Общая длина пути	6 600 м
	Маршрут	1-5-14-16-18-24-23-22-21-20-30-31-33-36-39-44-43
	Время поиска решения	5.272 с
4	α	1
	β	5
	Общая длина пути	-
	Маршрут	-
	Время поиска решения	> 7 минут

Как видно из табл. 1, лучшее решение получено при значениях $\alpha = 0.5$ и $\beta = 1$, в случае небольшого увеличения разницы значений решение находится, но оно не оптимально. В случае значительного увеличения разницы этих значений решение не находится.

В табл. 2 приведены результаты построения нескольких маршрутов на одном графе, символизирующем маршрутную сеть.

Таблица 2. Маршрутная сеть на графе

Начальный/ конечный узел	Маршрут	Пассажиры прямого сообщения	Длина маршрута	Плотность пассажиров прямого сообщения
1 – 43	1-5-14-15-17-20-30-31-33-36-41-44-43	1507	5250	28.7
1 – 45	1-5-14-16-18-24-32-34-45	1418	4134	34.3
1 – 50	1-2-3-27-29-49-50	1261	3400	37.1
4 – 28	4-10-9-8-19-26-47-48-49-29-28	2149	5046	42.6
11 – 23	11-7-4-5-14-15-17-20-21-22-23	957	4858	19.7
35 – 43	25-38-40-41-44-43	554	1909	29.0
39 – 24	39-37-35-30-21-22-23-24	882	2819	31.3
50 – 5	50-47-26-8-6-13-12-5	797	3675	21.7

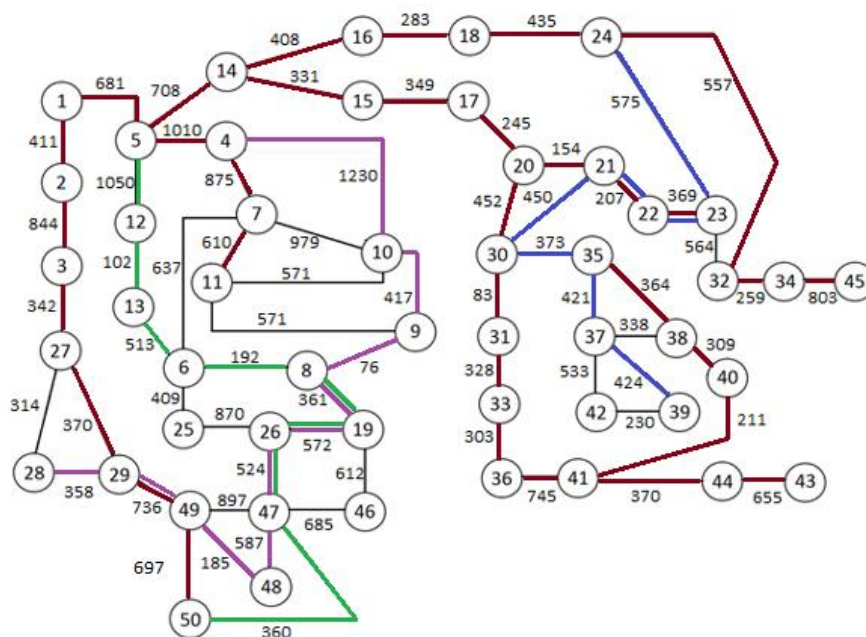


Рис. 7. Маршрутная сеть на графе

5.2. Тест 2

В рамках научно-исследовательской работы № 4-523/13 совместно с Муниципальным бюджетным учреждением города Томска «Центр организации и контроля пассажироперевозок» было проведено исследование по оптимизации маршрутной сети города Томска.

Население города составляет около 570 тысяч человек, общая площадь города около 290 км². В настоящее время в городе Томске 45 автобусных маршрутов и около 900 маршрутных остановок. С помощью методики обследования пассажиропотоков на основе анализа геоданных электронных карт была получена матрица пассажирских корреспонденций города [10].

В результате на основе адаптированного алгоритма муравьиных колоний и предлагаемой модели оптимизации на основе максимизации плотности пассажиров прямого сообщения было получено 38 маршрутов городского пассажирского транспорта. До оптимизации уровень плотности пассажиров прямого сообщения составлял 25 человек/км, после оптимизации – 38 человек/км.

6. Выводы

Рост городов и улучшение качества жизни населения привели к увеличению уровня автомобилизации. Эти факторы свидетельствуют о необходимости оптимизации спонтанно сложившейся городской транспортной системы, которая не отвечает требованиям современного общества.

В статье предлагается новая модель оптимизации городских транспортных сетей, максимизирующая количество пассажиров прямого сообщения на маршруте. Модель призвана сократить среднее время поездки пассажиров за счёт уменьшения количества пересадок. С другой стороны, модель максимизирует прибыль транспортных компаний за счёт повышения эффективности работы и сокращения общей длины автобусных маршрутов.

Задача проектирования маршрутных сетей общественного транспорта имеет ряд особенностей, которые делают невозможным применение традиционных методов решения. В работе в качестве инструмента решения проблемы предлагается метаэвристический подход – алгоритм муравьиных колоний. Мета-эвристические методы являются наиболее перспективными для решения подобных задач.

По результатам тестирования на реальной маршрутной сети города Томска и анализа некоторых показателей оптимизированной маршрутной сети и существующей, можно сделать вывод, что предложенный алгоритм и модель оптимизации успешны и эффективны в решении проблемы проектирования маршрутных сетей городов.

Литература

1. Горев А.В. Основы теории транспортных систем: учеб. пособие / СПбГАСУ. – СПб., 2010. – 214 с.
2. Кочегурова Е.А., Мартынова Ю.А. Оптимизация составления маршрутов общественного транспорта при создании автоматизированной системы поддержки принятия решений // Известия ТПУ. - 2013. - Т.323, № 5: Управление, вычислительная техника и информатика. – С. 75-78.
3. S. Goss, S. Aron, J.L. Deneuborg, Self-organized shortcuts in the Argentine ant // Naturwissenschaften. – vol. 76, 1989. – P. 579-581.
4. M. Dorigo, Optimization, learning and natural algorithm, Ph.D. thesis, Politecnico di Milano, Italy, 1992.
5. M. Dorigo, Th. Stützle, Ant Colony Optimization, 2004. Massachusetts Institute of Technology, 306 pp.
6. Корягин М.Е. Равновесные модели системы городского пассажирского транспорта в условиях конфликта интересов. – Новосибирск: Наука, 2011. – 140 с.
7. Zhongzhen Ya., Bin Yu, Chuntian Ch. Parallel ant colony algorithm for bus network optimization // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. – 2007. – 22. P. 44-55.
8. Кочегурова Е.А., Мартынов Я.А., Мартынова Ю.А., Фадеев А.С. Получение матрицы пассажирских корреспонденций на основе данных электронных карт // Системы управления и информационные технологии (Перспективные исследования). - 2013. - №4(54).
9. Yu B., Yang Z. Optimizing bus transit network with parallel ant colony algorithm // In Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. – 2005. – 5. P. 374-389.

10. *Васильева А.Н., Мартынов Я.А., Мартынова Ю.А.* Получение массива отправок пассажиров городского общественного транспорта на основе данных электронных карт // Молодёжь и современные информационные технологии: сборник трудов XI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Томск, 13-16 ноября 2013 г.

Статья поступила в редакцию 08.09.2014

Кочегурова Елена Алексеевна

к.т.н., доцент кафедры автоматики и компьютерных систем Института кибернетики ТПУ, (634028, Томск, пр. Ленина, 2, ауд. 112а) тел. (3822) 41-89-07, e-mail: kocheg@mail.ru.

Мартынов Ярослав Андреевич

ассистент кафедры автоматики и компьютерных систем Института кибернетики ТПУ, (634028, Томск, пр. Ленина, 2, ауд. 112б) тел. (3822) 41-89-07, e-mail: martynovyaa@tpu.ru.

Мартынова Юлия Алексеевна

ассистент кафедры автоматики и компьютерных систем Института кибернетики ТПУ, (634028, Томск, пр. Ленина, 2, ауд. 116б) тел. (3822) 41-89-07, e-mail: martynova@tpu.ru.

Цапко Сергей Геннадьевич

к.т.н., доцент кафедры автоматики и компьютерных систем Института кибернетики ТПУ, (634028, Томск, пр. Ленина, 2, ауд. 103а) тел. (3822) 41-89-07, e-mail: serg@aics.ru.

Ant colony algorithm for rational route network design of urban public transport

Kochegurova E.A., Martynov Y.A., Martynova Y.A., Tsapko S.G.

The relevance of the study is due to the need to optimize spontaneously formed route networks of urban public transport. Effective solution to this problem is the use of decision support systems. However, the automation of these tasks requires research in order to obtain efficient algorithms suitable for practical application. The aim is to offer a new model of optimization the system of urban public transport, enabling to consider the interests of its members, and adaptation of metaheuristic ant colony algorithm to the problem of designing route networks of urban public transport. Testing the proposed model and algorithm was performed on two data sets. The first test allowed us to estimate performance of the algorithm and model on a simple network; the second test allowed us to estimate the effectiveness of the algorithm and the model on a real route network of the city of Tomsk (Russia). The findings showed that the optimized route network of the city is more effective than the current one due to reducing the number of interchange stations and the time spent by passengers in public transport.

Keywords: public (urban) transport, transit (route) network, designing, optimization, optimization model, meta-heuristic algorithm, ant colony algorithm.