

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.021

ИССЛЕДОВАНИЯ И АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОБЛЕМ ГОРОДСКИХ СРЕД

А. С. Алёшкин, к.т.н., доцент кафедры КБ-3 «Безопасность программных решений», РТУ МИРЭА, Москва, Россия;
orcid.org/0000-0003-2190-700X, e-mail: antony@testor.ru

Рассматриваются подходы к задачам прогнозирования дорожной ситуации и построению систем оптимального планирования. Целью работы являются исследование и анализ проблем в области автоматизации дорожного движения, выполняемые через обзор зарубежных источников, посвященных задачам и алгоритмам данной предметной области. Проводится отбор различных тематик и подходов в заданной области. Приводится перевод-изложение зарубежных источников. Выявляются общие подходы и проблемы при решении задач прогнозирования дорожной ситуации.

Ключевые слова: прогнозирование трафика, сеть радиально-базисных функций, оптимизация ротации частиц, интеллектуальные транспортные системы, линейное планирование.

DOI: 10.21667/1995-4565-2021-78-63-74

Введение

Современная транспортная сеть является сложной динамической системой, со многими участниками движения (легковые и грузовые автомобили, персональный транспорт, такой как самокаты и велосипеды, транспорт, управляемый людьми), со многими компонентами дорожной сети (дороги, выделенные дороги, платные дороги, дороги с изменяющимися во времени характеристиками, сложные дорожные развязки, динамически управляемые светофоры и обычные (неуправляемые) светофоры, шлагбаумы) и с перспективой появления на городских улицах полностью автономного транспорта [1]. Такие системы становятся сложнее с каждым годом.

В данной работе мы рассмотрим подходы и алгоритмы (см. рисунок 1), применяемые в современном мире, которые используют для того, чтобы моделировать загруженность транспортных сетей и прогнозировать поведение участников дорожного движения.

При этом мы ограничимся некоторыми основными подходами.

В части задач прогнозирования трафика рассмотрим работы посвященные:

- сети с радиально-базисными функциями (radial basis function network, RBFNN);
- оптимизации ротации частиц (particle swarm optimization, PSO).

В части задач планирования и информационной поддержки дорожного движения:

- интеллектуальные транспортные системы (intelligent transportation systems, ITS);
- линейное планирование с выбором маршрута (line planning with route choice, LPRC);
- линейное планирование с назначением маршрута (line planning with route assignment, LPRA).

В части задач нахождения решений по маршрутизации:

- многопролетная маршрутизация транспортных средств (multi-compartment vehicle routing problems, MCVRP);

- маршрутизация гибридных транспортных средств (hybrid vehicle routing problems, HVRP);
- алгоритмы ant (алгоритмы на основе движения пути муравья);
- сжатия на основе словаря;
- маршрутизация при использовании ограниченных ресурсов с (resource-constrained project scheduling problem with routing, RCPSPR);
- генетические алгоритмы при маршрутизации транспортных потоков.

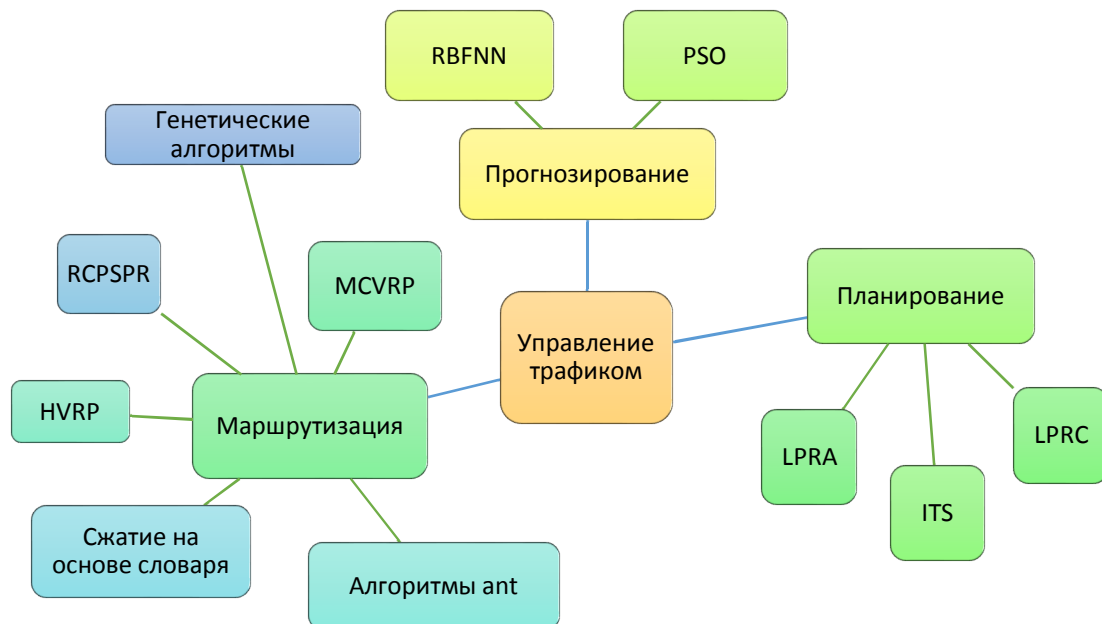


Рисунок 1 – Основные подходы к моделированию транспортных сетей
Figure 1 – Basic approaches for transport networks modelling

Теоретические исследования

В работе «Highway Traffic Flow Nonlinear Character Analysis and Prediction» [2] авторов M. Hui, L. Bai, Y. Li, Q. Wu был исследован метод прогнозирования краткосрочного трафика на шоссе. В исследовании было проведено сравнение эффективности нескольких алгоритмов и рассмотрены модель прогнозирования Вольтерра, а также RBFNN (radial basis function network – сеть радиально-базисных функций). Все данные о потоке трафика собирались на шоссе Ю-Ву в Чунцине, Китай. Время выборки начинается в 00:00 20 ноября 2013 года и заканчивается в 00:00 27 ноября 2013 года. Интервал времени составил 5 минут.

В основе исследования лежит исследование алгоритма модели прогнозирования Вольтерра, в котором для упрощения программирования алгоритмов данные потока трафика нормализуются следующим образом:

$$x(n) = \frac{z(n) - \overline{z(n)}}{\text{Max}[z(n)] - \text{Min}[z(n)]},$$

где $X(n)$ – временной интервал нормировки, а $z(n)$ является исходным временным рядом, $\overline{z(n)}$ является средним значением исходного временного ряда и $\text{Max}[z(n)]$, $\text{Min}[z(n)]$ являются максимальным и минимальным значением исходного временного ряда.

Упомянутый алгоритм RBFNN предназначен для нейронной сети с радиальной базовой функцией (RBF), и обычно такая сеть имеет три уровня: входной уровень, скрытый уровень с нелинейной функцией активации RBF и линейный выходной уровень. Вход может быть смоделирован как вектор действительных чисел $x \in \mathbb{R}^n$, выходной сигнал сети является скалярной функцией входного вектора $\phi: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ и задается следующим образом:

$$\varphi(x) = \sum_{i=1}^N a_i p(\|x - c_i\|),$$

где N – число нейронов в скрытом слое, c_i – является центральным вектором для нейрона i , a_i является весом нейрона i .

Таблица 1 – Ошибки в сравниваемых алгоритмах

Table 1 – Errors in the compared algorithms

Модель	2 h MAPE %	4 h MAPE %
Предложенный алгоритм Вольтерра	3,98	7,2
RBFFNN	5,21	10,04
Алгоритм Вольтерра	7,82	7,93

Исследование показало, что, при использовании различных значений и коэффициента корреляции, полученные данные дорожного трафика являются хаотичными временными рядами, поток трафика реконструируется по теории фазового пространства и подтверждается оптимальная временная задержка и размерность вложения. Результаты прогнозирования показывают, что алгоритм Вольтерра может эффективно прогнозировать краткосрочный поток трафика. Точность могла бы удовлетворить спрос на шоссе.

В работе «Spatial-temporal traffic flow pattern identification and anomaly detection with dictionary-based compression theory in a large-scale urban network» [3] авторов Zhang Z., He Q., Tong H., Gou J., Li X, было проведено исследование характеристик региональных схем трафика в крупных дорожных сетях. Авторы, используя теорию сжатия на основе словаря, определяют характеристики пространственных и временных моделей путем анализа многомерных данных, связанных с трафиком. Теория сжатия на основе словаря позволила идентифицировать идентичность регионального трафика и обнаружить аномалии в крупномасштабной сети трафика.

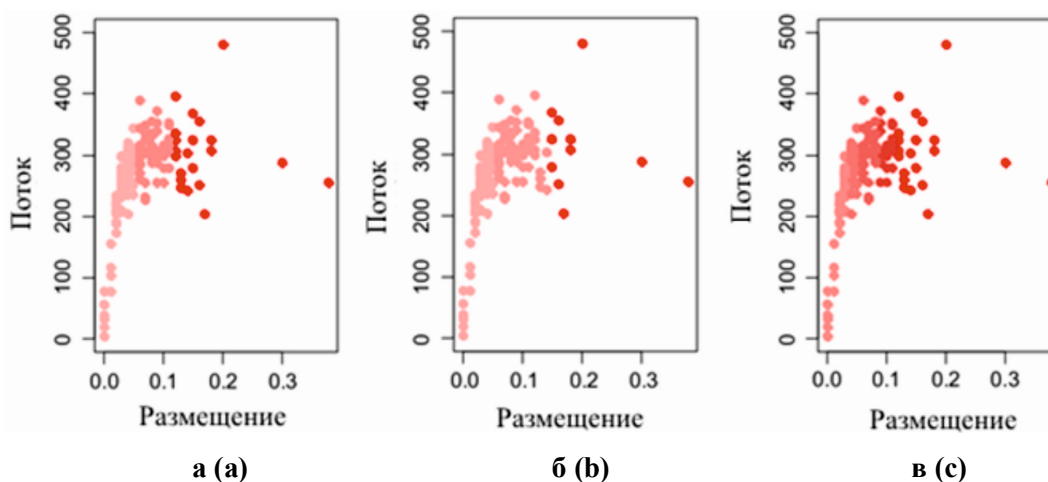


Рисунок 2 – Тепловая карта, показывающая транспортные аномалии в разное время суток
Figure 2 – A heat map showing transport anomalies at different times of the day

Эмпирические результаты, полученные с использованием трафика и занятости полос показывают адаптируемость такого подхода в транспортной области. У этого подхода есть три основных преимущества:

- Эффективное уменьшение размерности параметров.
- Четкие представления географически распределенных характеристик пространственных и временных потоков трафика: в тепловой карте места аномалий могут быть легко идентифицированы.
- Четкие представления о временных характеристиках пространственных шаблонов трафика.

В статье [4] авторы J. Guo, F. Chen, C. Xu создали гибридную гауссову регрессию процесса (GPR), оптимизированную с помощью оптимизации ротации частиц (PSO) для борьбы с прогнозированием неопределенного, нелинейного и сложного трафика для дорожного туннеля.

Оптимизация ротации частиц (PSO), которая была первоначально представлена Кеннеди и Эберхартом, представляет собой простую и мощную методику оптимизации, основанной на социальном поведении птицы, участвующей в рыбной ловле. Система PSO имитирует развитие знаний социального организма, в котором индивидуумы (частицы), представляющие собственные решения проблемы оптимизации, проходят через многомерное пространство поиска, чтобы определить оптимумы или субоптимумы. Положение каждой частицы оценивается в соответствии с целевой функцией, а частицы в локальной окрестности разделяют воспоминания о своих «лучших» позициях. Эти воспоминания используются для корректировки собственных скоростей частиц и их последующих позиций.

В основе работы лежит гауссовский процесс, который определяется следующей формулой:

$$f(x) \sim GP(\mu(x), C(x, x')),$$

где $x, x' \in X$ – случайная величина.

Прогнозируемые результаты (см. рисунок 3) показывают, что предлагаемый алгоритм PSO-GPR с функцией ядра способен прогнозировать поток трафика для дорожного туннеля с большей степенью точности.

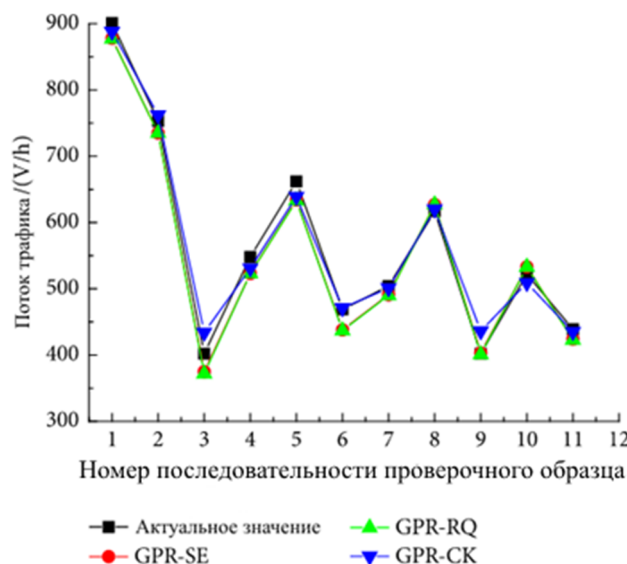


Рисунок 3 – Результаты прогнозирования потока трафика алгоритмом GPR

Figure 3 – Results of traffic flow forecasting by GPR algorithm

В работе «Traffic Flow Optimization on Freeways» [5] авторов B. C. Rampinelli Rota, M. Simic были исследованы интеллектуальные транспортные системы (ITS) – это технологии и приложения, интегрированные в транспортные сети с целью создания безопасной и эффективной транспортной среды.

Интеллектуальные транспортные системы основаны на трёх методах анализа трафика:

- Микроскопический масштаб основан на моделях динамики жидкости.
- Макроскопическая шкала основана на частичном дифференциале (PDE).
- Кинетическая шкала выражает теории трафика с использованием вероятности и статистики.

Исследования авторов в данной работе были сосредоточены на микроскопической модели, поскольку она приносит преимущества при описании заторов и узких мест.

В работе были рассмотрены модели движения с различной оплатой:

- Модель А: 6 полос движения. Из них 4 полосы для оплаты Telepass (бесконтактная система оплаты проезда) и 2 полосы для оплаты наличными.
- Модель В: 6 полос движения, все полосы Telepass.
- Модель С: безбарьерный дизайн.

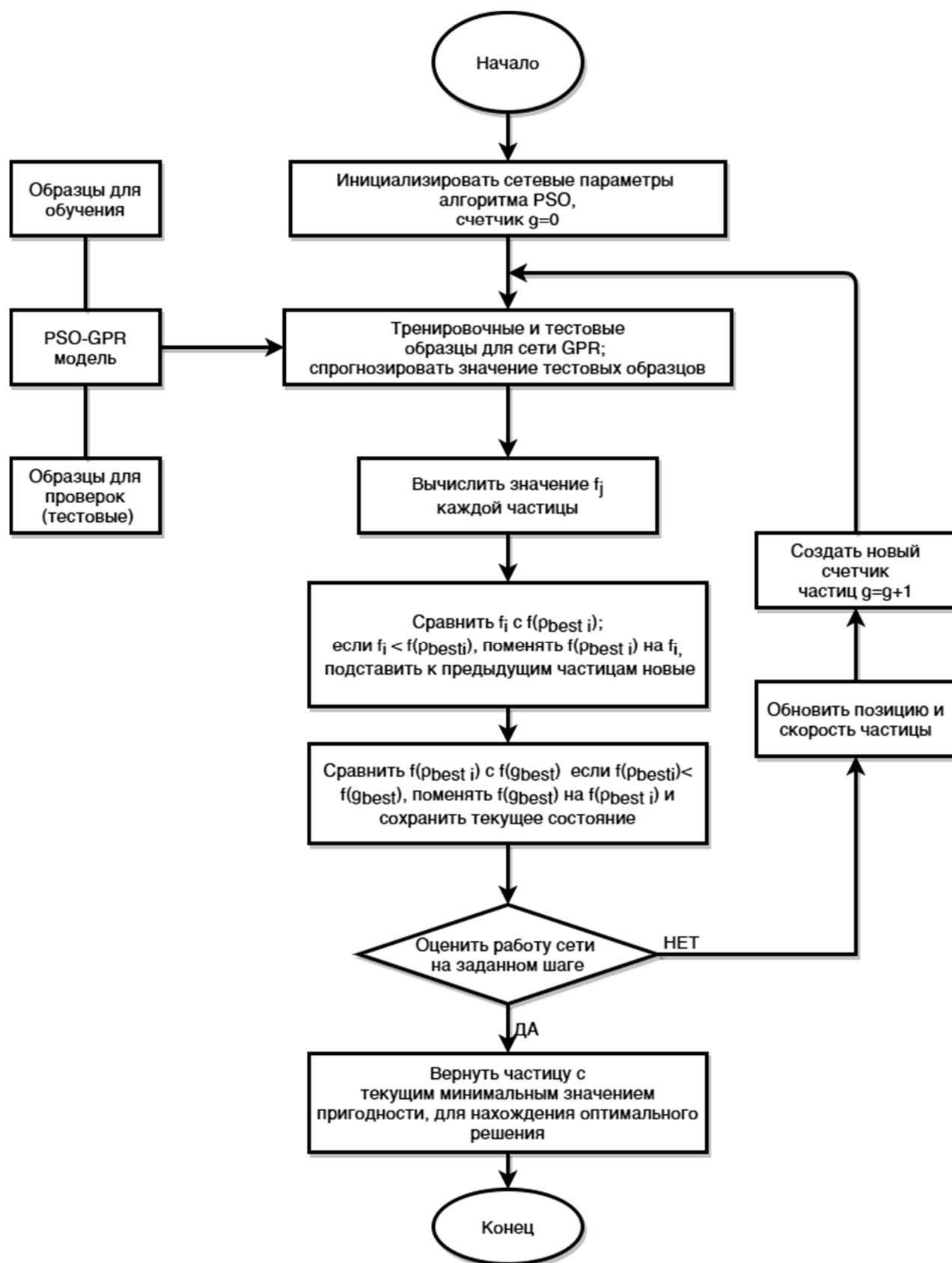


Рисунок 4 – Гибридный алгоритм PSO-GPR, представленный авторами
 Figure 4 – Hybrid PSO-GPR algorithm presented by the authors

По результатам исследования на рисунке 5 показано, что модели В и С имеют выдающиеся результаты с точки зрения пропускной способности транспортных средств и при их использовании можно достичь максимальной пропускной способности транспортных средств для каждого из рассмотренных годовых периодов. Модель В может почти удвоить максимальную пропускную способность, а модель С может достичь в четыре раза большей пропускной способности, что является выдающимся результатом.

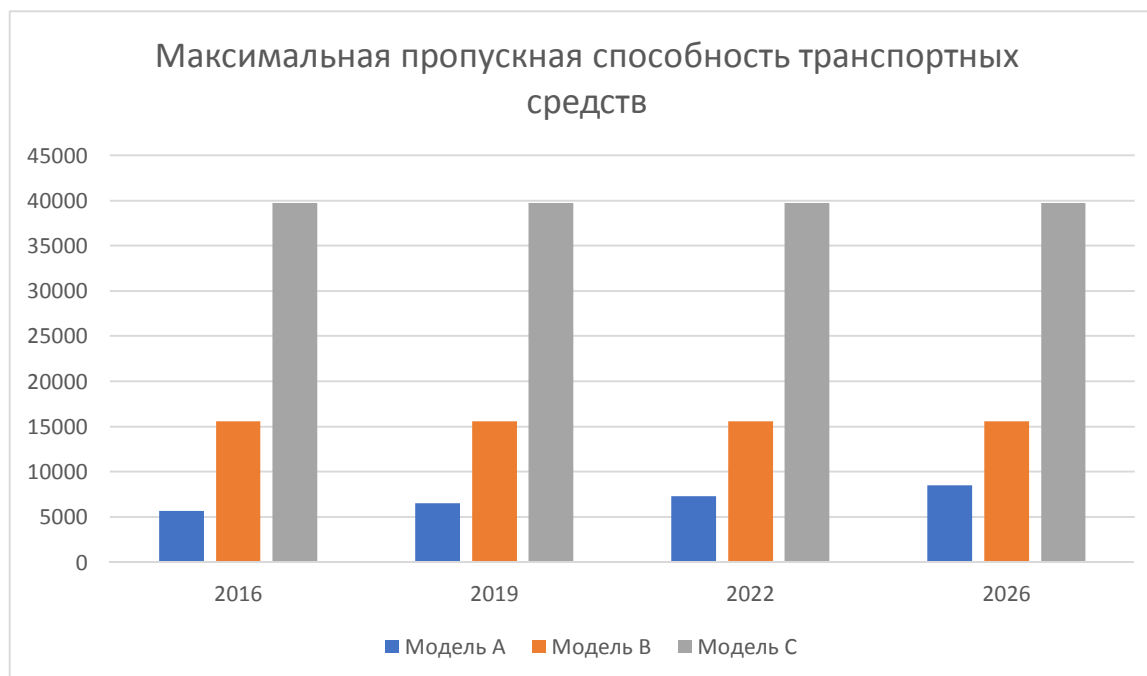


Рисунок 5 – Сравнение моделей движения с различной оплатой
Figure 5 – Comparison of traffic models with different payment types

В работе «Experimental and empirical investigations of traffic flow instability» [6] авторы R. Jiang, C. Jin, H. Zhang в экспериментальных и эмпирических исследованиях рассмотрели нестабильность транспортного потока.

Для определения нестабильности трафика авторы основывались на конкуренции между стохастическими нарушениями, которые имеют тенденцию не стабилизировать поток трафика и адаптацию водителей к изменяющимся скоростям, которые стремятся стабилизировать поток трафика. Для определения данной ситуации авторы использовали следующее выражение:

$$\frac{dv}{dt} = \lambda(v_1 - v) + \xi.$$

Здесь v и v_1 – скорость рассматриваемого и предыдущего автомобилей, λ – параметр чувствительности, ξ – равномерно распределенное ускоренное нарушение. Уравнение используется авторами для того, чтобы показать явления нестабильности в потоке трафика.

По результатам работы авторы проанализировали данные о трафике с автомагистрали Nanjing Airport Highway (см. рисунок 6). Наблюдалось несколько перегруженных потоков из-за движущихся узких мест.

Эмпирические данные подтверждают экспериментальное наблюдение существования критической скорости (см. рисунок 7). На основе экспериментальных и эмпирических данных был рассмотрен механизм нестабильности трафика. Такой механизм объясняет движение нестабильности как конкуренцию между эффектом адаптации скорости и стохастическими возмущениями и модели с простым уравнением ускорения, которое учитывало только адаптацию скорости и случайные нарушения скорости.

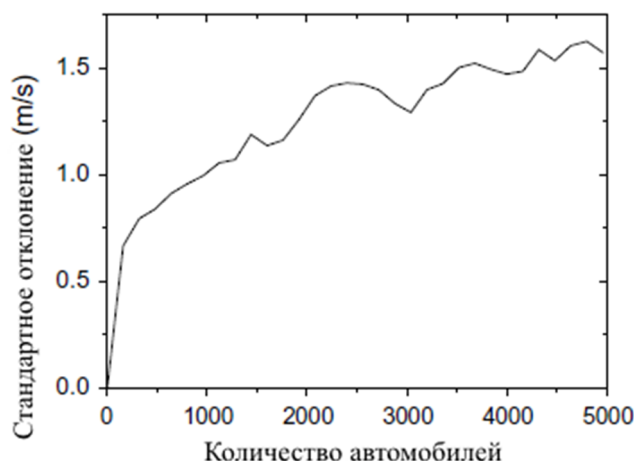


Рисунок 6 – Стандартное отклонение колебания скоростей
Figure 6 – Standard deviation of velocity fluctuations

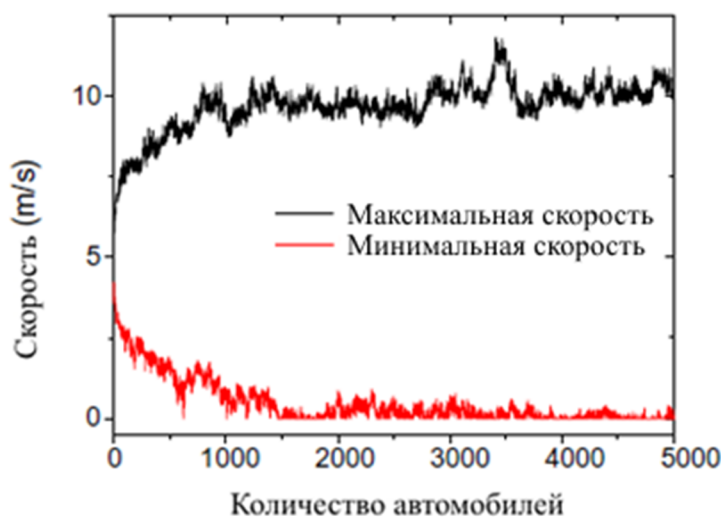


Рисунок 7 – Максимальная и минимальная скорость транспортных средств
Figure 7 – Maximum and minimum vehicles speed

В статье «An Iterated Tabu Search for the Multi-compartment Vehicle Routing Problem» [7] авторов Paulo Vitor Silvestrin, Marcus Ritt был рассмотрен вариант проблемы маршрутизации транспортных средств с многосекционной моделью.

Исследование основано на результирующей проблеме многопролетной маршрутизации транспортных средств (MCVRP). Основная задача MCVRP – выстраивание логистики совместной доставки мультиконтейнерного груза по определённым причинам, который должен храниться в отдельных отсеках. Начальные условия MCVRP включают в себя набор мест $V = \{V_0\} \cup V_+$, где V_0 – конечная точка маршрута, а $V_+ = \{V_1, \dots, V_n\}$ – промежуточные. Каждая пара локаций $i, j \in V$ имеет время в пути d_{ij} . Время t_i необходимо для загрузки/выгрузки.

MCVRP можно моделировать как целочисленную линейную программу следующим образом:

$$\min \sum_{i,j \in V} \sum_{k \in [r]} d_{ij} x_{ijk}, \quad (1)$$

$$s.t. \sum_{i \in V} x_{ijk} \leq 1, \forall j \in V_+, \forall k \in [r], \quad (2)$$

$$\sum_{i \in V} x_{ijk} = \sum_{j \in V} x_{ijk}, \forall j \in V, k \in [r], \quad (3)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1, \forall S \subseteq V_+, |S| \geq 2, k \in [r], \quad (4)$$

$$y_{jpk} \leq \sum_{i \in V} x_{jik}, \forall j \in V_+, k \in [r], p \in P, \quad (5)$$

$$\sum_{k \in [r]} y_{ikp} = 1, \forall j \in V_+, \forall p \in P, \quad (6)$$

$$\sum_{j \in V_+} c_{jp} y_{jpk} \leq C_p, \forall k \in [r], \forall p \in P, \quad (7)$$

$$\sum_{i, j \in V} (d_{ij} + t_j) x_{ijk} \leq D, \forall k \in [r]. \quad (8)$$

При данном подходе минимизируется общее время движения (1). Ограничение (2) устанавливает однократное посещение промежуточных точек за маршрут. Ограничение (3) устанавливает маршрут потока и ограничение (4) устраняет подпункт, который не включает начальную и конечную точку (в данном случае депо).

Ограничение (5) связывает пары переменных маршрутизации x для запроса переменных y . Ограничение (6) гарантирует доставку за один рейс. Ограничения емкости и общей длины гарантируются (7) и (8).

Для решения данной задачи, авторами был использован модифицированный алгоритм поиска с запретами (см. рисунок 8):

Алгоритм 2. Tabu Search.

Вход: решение s . Текущая внешняя итерация i

Выход: локальный минимум s^*

1: $\alpha \leftarrow 1; \beta \leftarrow 1$

2: выбрать случайные $\gamma \in [0, 1]; \xi \in [0, 1]$

3: **while** текущее состояние не достигло улучшений $\sqrt{(I-i)\pi}$ **do**

4: $s \leftarrow \text{bestShiftMove}(s, \xi)$

5: Каждая n_r итерация: $s \leftarrow \text{обработка}(s)$

6: $\text{updatePenalties}(\alpha, \beta, \gamma)$

7: $\text{updateTabuList}()$

8: **end while**

9: **return** s^*

Рисунок 8 – Модифицированный алгоритм поиска с запретами

Figure 8 – Modified search algorithm with restrictions

Для набора маршрутов $s = \{R_1, \dots, R_r\}$ необходимо определить дистанцию

$$D^+(s) = \sum_{R \in s} \max \{d(R) - D, 0\}.$$

По результатам данной работы авторы пришли к выводу, что данный алгоритм является оптимальным решением задачи многопроблетной маршрутизации транспортных средств.

В статье «The Hybrid Vehicle Routing Problem» [8] S. Mancini формализовала задачу маршрутизации гибридных транспортных средств (HVRP). Эта проблема является расширением классической проблемы маршрутизации, но в данном рассмотрении транспортные средства могут работать как на электрической энергии, так и с традиционным топливом. Транспортное средство может изменить режим движения в любой момент времени. Удельная стоимость поездки намного ниже для расстояний, покрытых режимом использования электроэнергии. Электрическая батарея имеет ограниченную емкость, но может перезаряжаться на станции подзарядки (RS). Доступно ограниченное количество RS. Когда аккумулятор полностью разряжен, автомобиль должен автоматически переключаться в традиционный режим подачи топлива.

В работе авторы основывались на следующих основных расчетах:

$$\min \sum_{i \in V_n} \sum_{j \in V_n} d_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in V_n} p(W_j + U_j), \quad (9)$$

$$\sum_{\substack{j \in V \\ j \neq i}} x_{ij} = 1, \forall i \in V, \quad (10)$$

$$\sum_{\substack{j \in V_0 \\ j \neq i}} x_{ij} \leq 1, \forall i \in F, \quad (11)$$

$$\sum_{\substack{i \in V_0 \\ i \neq j}} x_{ji} = \sum_{\substack{i \in V_0 \\ i \neq j}} x_{ij}, \forall j \in V_0. \quad (12)$$

Целевая функция определена как (9). Из ограничения (10) следует, что каждый клиент посещает место ровно один раз, в то время как каждую заправочную станцию можно посетить также только один раз, как указано в (11). Непрерывность маршрута обеспечивается ограничением (12).

Поясним основные элементы и их назначение:

x_{ij} – двоичная переменная, равная 1, если транспортное средство перемещается от узла i к узлу j и 0 в противном случае;

u_j – уровень заряда аккумулятора по прибытии на узел j ;

t_j – время прибытия на узел j ;

W_j – расстояние, покрытое традиционным топливом для достижения узла j ;

U_j – расстояние, покрытое традиционным топливом для достижения j (определено только для j в I).

Предлагаемый алгоритм работает следующим образом. Процедура начинается с возможного решения. Два маршрута уничтожаются на каждой итерации, и модель запускается снова, с коротким периодом времени (т.е. 10 с), только для тех клиентов, которые ранее были вовлечены в эти маршруты, в то время как другие маршруты оставлены неизменными. Модель может решить проблему до оптимальности (или почти до оптимальности) за очень короткое время.

По результатам работы авторы пришли к выводу, что рассмотренный метод эффективнее, чем классические подходы к поиску соседства, в которых простые операторы часто производят менее качественные решения и не достигают локального минимума окрестности, в то время как более сложные операторы затрачивают длительное вычислительное время для высококачественного решения.

```

set iter = 0
set  $S_b = S_0$ 
for  $a = 0; a \leq n; a++$  do
  for  $b = 0; b \leq n; b++$  do
    if  $iter \leq MAXITER$  then
      set  $R = R_{best}$ 
      destroy routes  $r_a$  and  $r_b$ 
      run the model with 2 vehicles and considering as customers only customers that were involved in  $r_a$  and  $r_b$ 
      obtain two new routes  $r'_a$  and  $r'_b$ 
      if the sum of the cost of  $r'_a$  and  $r'_b \leq$  the sum of the cost of  $r_a$  and  $r_b$  then
        substitute  $r_a$  and  $r_b$  with  $r'_a$  and  $r'_b$  in  $R$ 
        set  $R_{best} = R$ 
        set  $a = 0$  and  $b = 0$ 
      end if
      set  $iter = iter + 1$ 
    end if
  end for
end for
end for

```

Рисунок 9 – Предложенный авторами алгоритм решения проблемы
Figure 9 – The algorithm proposed by the authors for problem solution

В работе «An Improvement in ant Algorithm Method for Optimizing a Transport Route with Regard to Traffic Flow» [9] авторами V. Danchuk, O. Bakulich, V. Svatko была разработана модификация алгоритма для оптимизации маршрута транспортировки в отношении потока трафика в уличной сети.

Работа основана на модифицированном ant-алгоритме (алгоритме движения муравьёв), который является одним из наиболее эффективных полиномиальных алгоритмов поиска решений для решения проблем оптимизации маршрута. Моделирование поведения муравьёв связано с феромоном, который муравьи теряют на путях – графах. Вероятность включения связи в маршрут отдельного муравья пропорциональна количеству феромона, а количество феромона пропорционально длине маршрута. Чем короче маршрут, тем больше осталось феромона после маршрута и больше муравьёв включают его в синтез своих собственных маршрутов.

Основываясь на этом вероятностно-пропорциональном правиле, определяющим вероятность перехода муравьиного k из города I в город J , авторы определили следующую систему:

$$\begin{cases} P_{ij,k}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in J_{i,k}} [\tau_{il}(t)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta}, j \in J_{i,k}; \\ P_{ij,k}(t) = 0, j \notin J_{i,k}, \end{cases}$$

где τ_{ij} – количество феромона по ссылке (ij) в момент времени t , $J_{i,k}$ – список городов, которые муравей k должен посетить, и город i , где муравей находится, η_{ij} – доступность, обратно пропорциональная расстоянию между городами.

Для решения проблемы оптимизации, учитывая динамику потока трафика (изменение скорости, трафик перегрузки, несчастные случаи, ремонт дорог и т.д.), уличная сеть представлена в виде двухстороннего динамического графа с узлами, в которых есть пункты доставки товаров (склады, супермаркеты и т.д.) и ссылки соответствуют либо средней скорости (см. рисунок 10 б), либо времени (см. рисунок 10 с) транспортного средства, движущегося в потоке движения между двумя конкретными узлами графа.

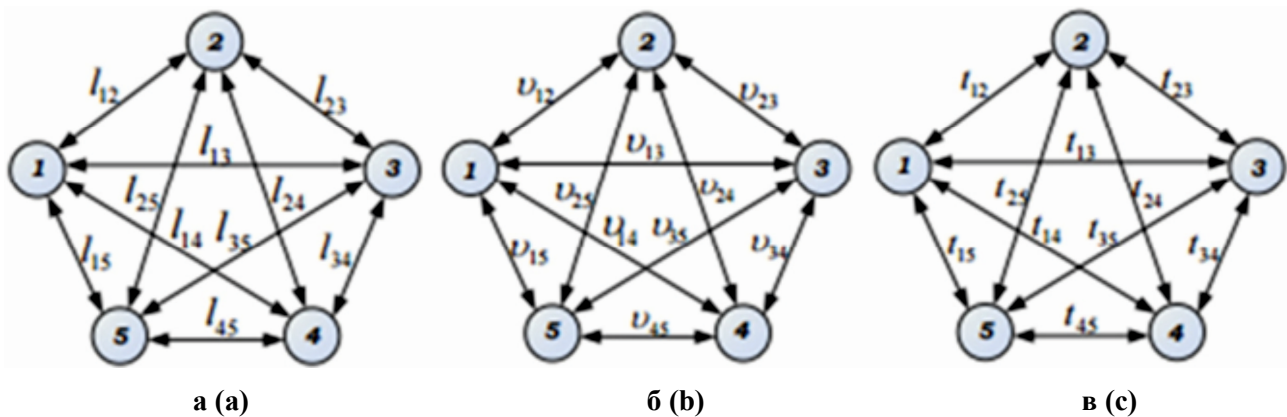


Рисунок 10 – Двусторонние ориентированные графы: а – длин между объектами;
б – средней скорости между объектами; в – времени проезда между объектами
Figure 10 – Two-sided directed graphs: а – of lengths between objects;
b – of average speed between objects; c – of travel time between objects

В статье авторами проведен количественный и сравнительный анализ для решения стационарной задачи оптимизации маршрутов доставки товаров в уличной сети с помощью алгоритма ant. Полученные результаты указывают на эффективность применения предложенного метода решения проблем маршрутизации. Модификация алгоритма ant для оптимизации маршрута транспортировки была разработана с учетом потока трафика и динамики в уличной сети. Полученные результаты исследования показывают перспективность применения предложенного метода, особенно для транспортных сетей, которые характеризуются высокой размерностью и динамическими параметрами.

Таблица 2 – Сравнительный анализ различных методов решения проблемы маршрутизации
Table 2 – Comparative analysis of various methods for routing problem solution

Кол-во узлов	Лучший результат, длина 10 ³ м	Алгоритм АНТ		Метод ветвей и границ		Полный перебор	
		длина 10 ³ м	отклонение	длина 10 ³ м	отклонение	длина 10 ³ м	отклонение
3	48	48	0,00 %	48	0,00 %	48	0,00 %
5	74	74	0,00 %	74	0,00 %	74	0,00 %
7	80	80	0,00 %	85	6,25 %	80	0,00 %
10	82	82	0,00 %	99	20,73 %	82	0,00 %
12	86	86	0,00 %	133	54,65 %	86	0,00 %
13	94	95	1,06 %	120	27,66 %	94	0,00 %
14	98	98	0,00 %	-*	-*	-*	-*
15	101	106	4,95 %	-*	-*	-*	-*
50	425	433	1,85 %	-*	-*	-*	-*
75	535	564	5,14 %	-*	-*	-*	-*

Заключение

Подводя итог проведенному обзору, стоит отметить, что усложнение современных мегаполисов и системы транспорта в них порождает целые классы соответствующих алгоритмов и решений. Однако с ростом городов, с появлением концепции умный город (smart city) и с расширением дорожных сетей усложняются и логистические задачи. Несмотря на обилие предложенных решений, общей проблемой становится рост данных в современной транспортной инфраструктуре, который требует применения совершенно новых систем, специально спроектированных для обработки больших данных, и вместе с тем, накладывает определённые требования к применяемым алгоритмам и подходам, что также требует дальнейшего и углублённого изучения.

Отдельным вопросом становится решение задачи получения и накопления актуальных для анализа данных: как показывают исследования, источниками могут служить как открытые ведомственные данные, так и косвенные данные, например данные о состоянии загруженности автомобильных дорог (автомобили) или активности перемещений людей (сотовая связь), собираемые в крупных агрегаторах, таких как картографические сервисы: Яндекс.Карты, Bing.Maps, Apple Карты и другие. Другим, более сложным путём получения данных становится проведение различных замеров и подсчётов на специализированном оборудовании, что также используется многими исследователями.

Библиографический список

1. **Асанов А. З.** Архитектура бортовых информационно-управляющих систем роботизированных большегрузных магистральных автомобилей // Российский технологический журнал. 2017. Т. 5. № 3 (17)6. С. 106-113.
2. **Hui M., Bai L., Li Y., Wu Q.** Highway Traffic Flow Nonlinear Character Analysis and Prediction. Mathematical Problems in Engineering. 2015, pp. 20-27. <https://doi.org/10.1155/2015/902191>.
3. **Zhang Z., He Q., Tong H., Gou J., Li X.** Spatial-temporal traffic flow pattern identification and anomaly detection with dictionary-based compression theory in a large-scale urban network. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 71. 2016, pp. 284-302. ISSN 0968-090X. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.08.006>.
4. **Guo J., Chen F., Xu C.** Traffic Flow Forecasting for Road Tunnel Using PSO-GPR Algorithm with Combined Kernel Function. Mathematical Problems in Engineering, vol. 2017. Article ID 2090783. 10 p. 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/2090783>.
5. **Carlo B., Rota R., Simic M.** Traffic Flow Optimization on Freeways. Procedia Computer Science, vol. 96. 2016, pp. 1637-1646. ISSN 1877-0509. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.08.211>.
6. **Jiang R., Jin C.-J., Zhang H.M., Huang Y.-X., Tian J.-F., Wang W., Hu M.-B., Wang H., Jia B.** Experimental and empirical investigations of traffic flow instability. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, vol. 94. 2018, pp. 83-98. ISSN 0968-090X. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.08.024>.

7. **Silvestrin P. V., Ritt M.** An iterated tabu search for the multi-compartment vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, vol. 81. 2017, pp. 192-202. ISSN 0305-0548. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.12.023>.

8. **Mancini S.** The Hybrid Vehicle Routing Problem. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 78. 2017, pp. 1-12. ISSN 0968-090X. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.02.004>.

9. **Danchuk V., Bakulich O., Svatko V.** An Improvement in ant Algorithm Method for Optimizing a Transport Route with Regard to Traffic Flow. *Procedia Engineering*, vol. 187. 2017, pp. 425-434. ISSN 1877-7058. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.396>.

UDC 004.021

RESEARCH AND ANALYSIS OF TRANSPORT PROBLEMS IN URBAN ENVIRONMENTS

A. S. Alyoshkin, Ph.D. (Tech.), associate professor, MIREA, Moscow, Russia;
orcid.org/0000-0003-2190-700X, e-mail: antony@testor.ru

This article considers the approaches for the tasks of traffic situation forecasting and building optimal planning systems. The aim is to study and analyze problems in the field of traffic automation, carried out through a review of foreign sources devoted to the tasks and algorithms of this subject area. Various topics and approaches selection in a given area is carried out. A translation is provided as a presentation of foreign sources. Common approaches and problems when solving the tasks of forecasting road situation are given.

Key words: road traffic forecasting, radial basis function network, RBFNN, particle swarm optimization, PSO, intelligent transportation systems, ITS, line planning.

DOI: 10.21667/1995-4565-2021-78-63-74

References

1. **Asanov A. Z.** Arhitektura bortovyh informacionno-upravljajushhih sistem robotizirovannyh bol'shegruznyh magistral'nyh avtomobilej. *Rossijskij tehnologicheskij zhurnal*. 2017, vol. 5, no. 3 (17) b, pp. 106-113. (in Russian).

2. **Hui M., Bai L., Li Y., Wu Q.** Highway Traffic Flow Nonlinear Character Analysis and Prediction. *Mathematical Problems in Engineering*. 2015, pp. 20-27. <https://doi.org/10.1155/2015/902191>.

3. **Zhang Z., He Q., Tong H., Gou J., Li X.** Spatial-temporal traffic flow pattern identification and anomaly detection with dictionary-based compression theory in a large-scale urban network. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 71. 2016, pp. 284-302. ISSN 0968-090X. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.08.006>.

4. **Guo J., Chen F., Xu C.** Traffic Flow Forecasting for Road Tunnel Using PSO-GPR Algorithm with Combined Kernel Function. *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2017. Article ID 2090783. 10 p. 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/2090783>.

5. **Carlo B., Rota R., Simic M.** Traffic Flow Optimization on Freeways. *Procedia Computer Science*, vol. 96. 2016, pp. 1637-1646. ISSN 1877-0509. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.08.211>.

6. **Jiang R., Jin C.-J., Zhang H.M., Huang Y.-X., Tian J.-F., Wang W., Hu M.-B., Wang H., Jia B.** Experimental and empirical investigations of traffic flow instability. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 94. 2018, pp. 83-98. ISSN 0968-090X. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.08.024>.

7. **Silvestrin P. V., Ritt M.** An iterated tabu search for the multi-compartment vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, vol. 81. 2017, pp. 192-202. ISSN 0305-0548. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.12.023>.

8. **Mancini S.** The Hybrid Vehicle Routing Problem. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 78. 2017, pp. 1-12. ISSN 0968-090X. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.02.004>.

9. **Danchuk V., Bakulich O., Svatko V.** An Improvement in ant Algorithm Method for Optimizing a Transport Route with Regard to Traffic Flow. *Procedia Engineering*, vol. 187. 2017, pp. 425-434. ISSN 1877-7058. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.396>.