

# Совместное применение методов перестроения маршрутов движения транспортных средств и адаптивного управления сигналами светофоров

А.С. Юмаганов  
Самарский национальный  
исследовательский университет им.  
академика С.П. Королева  
Самара, Россия  
yumagan@gmail.com

А.А. Агафонов  
Самарский национальный  
исследовательский университет им.  
академика С.П. Королева  
Самара, Россия  
ant.agafonov@gmail.com

В.В. Мясников  
Самарский национальный  
исследовательский университет им.  
академика С.П. Королева  
Самара, Россия  
vmyas@geosamara.ru

**Аннотация**— В работе рассматривается задача совместного применения и перестроения маршрута движения транспортных средств и метода адаптивного управления сигналами светофоров для эффективного управления движением транспортного потока. Представлен метод перестроения маршрута движения транспортных средств, учитывающий состояние адаптивно управляемых светофорных объектов. Представлены результаты экспериментальных исследований разработанного метода в среде симуляции SUMO.

**Ключевые слова**— интеллектуальная транспортная система, светофорное регулирование, перестроение маршрута

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время остаётся актуальной проблема эффективного управления движением транспортных средств (ТС). Ввиду высокого темпа роста числа транспортных средств на дорогах и относительно низкого темпа развития транспортной инфраструктуры, в крупных городах увеличивается количество «пробок» на дорогах. Дорожные заторы, в свою очередь, способствуют увеличению времени, затрачиваемому на совершение поездок; повышению уровня потребления топлива ТС, загрязнению окружающей среды.

Одним из наиболее распространенных способов снижения загруженности транспортной сети является управление движением транспортных потоков на перекрёстках с помощью светофорных объектов. В связи с развитием телекоммуникационных технологий и увеличением числа подключенных ТС (connected vehicles, CV) широкое развитие получили адаптивные методы управления сигналами светофоров. Адаптивные методы управления используют информацию о текущей дорожной ситуации на прилегающих к перекрёстку полосах движения для принятия решения о выборе следующей фазы светофорного объекта.

В работах [1,2] представлены методы управления фазами светофорного объекта на основе обучения с подкреплением. В [3] представлен метод адаптивного управления сигналами светофорного объекта на основе детерминированной прогнозной модели. В рамках разработанного метода выбор фазы осуществляется на основе прогноза взвешенного потока ТС, пересекающих перекресток, для каждой фазы светофорного объекта.

Другим подходом к повышению эффективности использования транспортной инфраструктуры является перестроение маршрутов движения транспортных средств в зависимости от наблюдаемой дорожной ситуации. Такой подход позволяет снизить нагрузку на

загруженные сегменты дорожной сети и равномерно её распределить. Авторы [4] представили систему перестроения маршрута движения, основанную на применении нейронной сети для прогнозирования будущего состояния дорожной сети, на основе которого формируется маршрут. В [5] представлен метод перестроения маршрута и пять алгоритмов непосредственно построения маршрута, использующие информацию не только о загруженности сегментов транспортной сети, но и информацию о маршрутах движения каждого транспортного средства.

В данной работе представлен модифицированный вариант метода перестроения маршрута движения транспортных средств [5], учитывающий информацию о состоянии адаптивно управляемых светофоров.

## 2. МЕТОД АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СИГНАЛАМИ СВЕТОФОРОВ

Для решения задачи адаптивного управления светофором используется метод максимального взвешенного потока MaxPWF<sub>Flow</sub> [3]. В рамках данного метода выбор фазы светофорного объекта осуществляется согласно результатам прогноза величины транспортного потока, проходящего через перекресток за время действия рассматриваемой фазы, для каждой фазы рабочего цикла светофорного объекта. В результате работы метода выбирается та фаза, для которой прогнозируемый транспортный поток является максимальным. Величина транспортного потока  $PWF_{Flow}$  определяется следующим образом:

$$PWF_{Flow}(p) = \sum_{l \in L_p^{income}} \sum_{c \in C_l} \eta(c, l) I(t(c) < \tau_{min}), \quad (1)$$

где  $L_p^{income}$  – множество входящих в перекрёсток полос движения, доступных для движения при сигнале светофора  $p$ ;  $C_l$  – множество ТС на полосе движения  $l$ ;  $\eta(c, l)$  – коэффициент времени ожидания транспортного средства  $c$ ;  $t(c)$  – прогнозируемое на основе детерминированной прогнозной модели [3] время, необходимое для пересечения перекрестка транспортного средства  $c$ ;  $\tau_{min}$  – минимальный интервал смены фаз;  $I(val)$  – индикатор, возвращающий значение 1, если  $val = True$ , и значение 0 в противном случае.

### 3. МЕТОД ПЕРЕСТРОЕНИЯ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Представленный в работе [5] метод перестроения маршрутов движения транспортных средств включает в себя четыре этапа, выполняемых периодически: сбор информации о текущем состоянии транспортной сети; определение загруженных сегментов дорожной сети; выбор ТС, для которых необходимо выполнить перестроение маршрута движения; построение нового маршрута для выбранных ТС. Для построения маршрута движения транспортных средств был выбран лучший алгоритм по критерию среднего времени движения из пяти представленных в работе – AR\* (A\* shortest path with repulsion). Данный алгоритм представляет собой модифицированный вариант известного алгоритма поиска пути в графах A\*. В рамках модификации для построения маршрута движения ТС используется две метрики (вместо одной в оригинальном алгоритме), на основе которых осуществляется выбор маршрута – среднее время прохождения сегмента дорожной сети и величина «weighted footprint» сегмента сети, характеризующая будущую нагрузку на рассматриваемый сегмент, на основе информации о маршрутах движения ТС дорожной сети.

Для улучшения качества работы рассматриваемого метода перестроения маршрутов движения транспортных средств в транспортной сети, регулируемые перекрестки которой контролируются с помощью метода адаптивного управления, был внесен ряд изменений:

- При перестроении маршрута ТС учитывается текущее и прогнозируемое состояние ближайших к нему светофорных объектов путем обновления весов советующих ребер графа транспортной сети.
- Изменен критерий определения загруженных сегментов дорожной сети. В качестве такого критерия предлагается использовать отношение среднего времени прохождения сегмента при максимально допустимой скорости движения по нему к среднему времени прохождения сегмента при текущей средней скорости движения.
- При расчете величины «weighted footprint» для сегментов дорожной сети используется дополнительный коэффициент, понижающий вклад ТС в неё по мере отдаления сегмента его маршрута движения от текущего положения ТС.

### 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе проведения экспериментальных исследований было проведено сравнение оригинального метода перестроения маршрута движения ТС и представленного в данной работе модифицированного метода. Экспериментальные исследования проводились в среде моделирования SUMO на двух сценариях:

- Сценарий «4x4». Транспортная сеть имеет вид решетки и содержит 16 контролируемых светофорами перекрестков. Количество ТС – 2270.

- Сценарий «cologne8». Транспортная сеть представляет собой часть реальной транспортной сети города Кёльн, содержит 8 регулируемых перекрестков. Количество ТС – 1740.

В каждом из рассмотренных сценариев для управления светофорами использовался метод MaxPFlow. При проведении экспериментальных исследований общее время симуляции для каждого сценария составляло 3600 секунд. В таблице 1 представлены результаты сравнения методов по среднему времени движения ТС.

Таблица 1. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТАННОГО МЕТОДА

Сценарий	Среднее время движения ТС, с		
	Предлагаемый метод	Оригинальный метод	Без перестроения маршрута
«4x4»	<b>188,73</b>	202,07	397,90
«cologne8»	<b>84,31</b>	89,21	89,28

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что представленная в данной работе модификация известного метода перестроения маршрута превосходит оригинальный метод по рассмотренному критерию.

### 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлен метод перестроения маршрутов движения транспортных средств, учитывающий информацию о состоянии адаптивно контролируемых светофорных объектах. Экспериментальные исследования разработанного метода показывают его эффективность.

### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 21-11-00321, <https://rscf.ru/en/project/21-11-00321/>).

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Fang, Z. MonitorLight: Reinforcement learning-based traffic signal control using mixed pressure monitoring / Z. Fang, F. Zhang, T. Wang, X. Lian, and M. Chen // Proceedings of the 31st ACM International Conference on Information & Knowledge Management. – 2022. – P. 478-487. DOI: 10.1145/3511808.3557400.
- [2] Li, L. Cooperative max-pressure enhanced traffic signal control / L. Li, R. Li, Y. Peng, C. Huang, and J. Yuan // Proceedings of the 31st ACM International Conference on Information & Knowledge Management. – 2022. – P. 4173-4177. DOI: 10.1145/3511808.3557569.
- [3] Мясников, В.В. Детерминированная прогнозная модель управления сигналами светофоров в интеллектуальных транспортных и геоинформационных системах / В.В. Мясников, А.А. Агафонов, А.С. Юмаганов // Компьютерная оптика. – 2021. – Т. 45, № 6. – С. 917-925. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-1031.
- [4] Perez-Murueta, P. Deep learning system for vehicular re-routing and congestion avoidance / P. Perez-Murueta, A. Gómez-Espinosa, C. Cardenas, and M. Gonzalez-Mendoza Jr. // Applied Sciences. – 2019. – Vol. 9(13). – P. 2717. DOI: 10.3390/app9132717.
- [5] Pan, J. Proactive vehicular traffic rerouting for lower travel time / J. Pan, I. S. Popa, K. Zeitouni, and C. Borcea // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2013. – Vol. 62(8). – P. 3551-3568.