

# Метод адаптивного управления дорожными сигналами на основе максимального взвешенного потока

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

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

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

**Аннотация**—В работе предлагается метод адаптивного управления дорожными сигналами (фазами светофоров). Предлагаемый метод включает два этапа, за каждый из которых отвечает отдельный алгоритм. На первом шаге оценивается прогнозируемый «поток» транспортных средств через перекресток по заданной полосе на разрешающий сигнал светофора. На втором шаге формируется оценка «взвешенного» потока, которая учитывает время ожидания транспортных средств на перекрестке. В итоге выбор фазы светофора определяется из критерия максимизации взвешенного транспортного потока через перекресток.

**Ключевые слова**— управление сигналами светофора, обучаемый метод, адаптивное управление, интеллектуальные транспортные системы, поток транспортных средств.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Идеи цифровой экономики накладывают отпечаток на все аспекты современной жизни. Существенное влияние они оказывают на транспорт. В частности, де-факто стандартом в настоящее время являются транспортные средства (ТС) с электронными помощниками, которые контролируют полосу движения, выполнение дорожных знаков и правил, предупреждают столкновения и т.п. Указанные нововведения являются лишь одной из составных частей создаваемых интеллектуальных транспортных систем (ИТС), о которых говорится в утверждённой Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, в частности, направления "Связанность территории Российской Федерации за счёт создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики". Не меньшее, а скорее, большее значение при построении ИТС играют решения, позволяющие обеспечивать комплексное управление транспортным движением на территории целого населенного пункта. Хотя проектирование «с нуля» городской/областной транспортной инфраструктуры с ИТС позволяет сделать это максимально эффективно (начав с проектирования мест проживания и работы, обеспечив тем самым управление масштабами транспортного спроса и предложения на территориях, выполнив проектирование

транспортных потоков, и т.п.), дороговизна, а порой и принципиальная невозможность изменения существующей транспортной топологии и жилой инфраструктуры делает значительно более важным решение прагматичной задачи – оптимизации движения ТС в рамках существующей инфраструктуры. И здесь на первый план выступает задача *адаптивного управления сигналами/фазами светофоров*, поскольку ее решение допускает быстрое и относительно недорогое внедрение в существующую транспортную инфраструктуру при значительном (как правило в разы) росте ее эффективности (пропускной способности, затрат горючего и т.п.).

## 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Под *перекрестком* понимается пересечение проезжих частей. Каждая из проезжих частей делится *разметкой* на полосы движения, часть из которых отвечает за въезд на перекресток, а другая – за выезд. При этом разметка определяет *допустимые направления движения*, а сигналы светофора(ов) определяют возможность перемещения по соответствующей полосе в текущий момент времени. Пример перекрестка приведен на рис. 1.

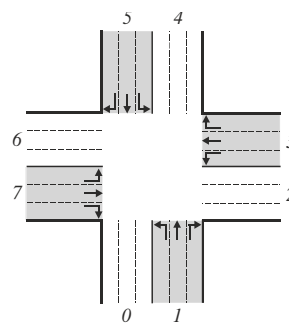


Рис. 1. Пример перекрестка (по материалам работы [1])

Для этого примера пара "16" означает движение ТС с левой полосы проезжей части, помеченной цифрой "1", на проезжую часть, помеченную цифрой "6". Далее, *фаза светофора* – это множество непротиворечивых сигналов светофора [1]. Фаза может выбираться в рамках некоторой предопределённой последовательности фаз, т.н. *светофорного цикла*, а может выбираться произвольно. При этом, если выбор фазы светофорного регулирования происходит на основании данных движения транспортных средств, то говорят о *системах адаптивного управления дорожными сигналами* [1]. В свою очередь, системы/алгоритмы адаптивного управления можно разделить на *эмпирические детерминированные* (где

правила изменения фаз от движения прописаны заранее) и системы/алгоритмы на основе машинного обучения. В последнем случае правило, связывающее обстановку на перекрестке с конкретной светофорной фазой, настраивается в результате работы системы. Авторское решение, представленное в работе [1], относится к эмпирическим детерминированным алгоритмам. Другими примерами являются SCOOT и SCATS [2], метод MaxPressure [3] и др. К решениям на базе методов обучения относятся методы на основе нечёткой логики, интеллекта роя, генетические алгоритмы, RL-методы и др. [4,5]. В данной работе предложена модификация эмпирического метода, описанного в [1], для учета времени ожидания транспортных средств на перекрестке.

### 3. МЕТОД МАКСИМАЛЬНОГО ПОТОКА

Детальное описание базового метода представлено в работе [1]. Суть подхода – в качестве следующей фазы светофора выбирается та, при которой оценка (прогноз) потока транспортных средств через перекресток будет максимальной, то есть  $P$  – множество допустимых фаз):

$$\operatorname{argmax}(\{PredFlow(\text{phase}) \text{ for phase in } P\}), \quad (1)$$

где

$$PredFlow(\text{phase}) = \sum_{l \in L_{\text{phase}}^{income}} \sum_{c \in C_l} I(t(c) < \tau) \quad (2)$$

здесь  $I(val)$  – индикатор, принимающий значение «1» при  $val=True$ , и значение «0» – иначе;  $\tau$  – длительность временного интервала в секундах между фазами светофора. Ключевым моментом метода является оценка (прогноз) времени  $t(c)$  достижения ТС  $c$  перекрестка. Оценка производится на основании явно заданных моделей движения, известных из классического курса физики/кинематики, описана детально в [1]. В качестве входных данных функции  $t(c)$  выступают всего два параметра: текущая скорость ТС  $v=v(c)$  и расстояние от этого ТС до перекрестка  $S=S(c)$ .

### 4. ПРЕДЛАГАЕМЫЙ МЕТОД

Базовый метод не учитывает времени ожидания (время простоя), которое транспортные средства затрачивают на перекрестке. Как следствие, может возникнуть ситуация, при которой время ожидания транспортных средств на второстепенной дороге (с маленьким потоком) будет расти неограниченно. Для исправления этого недостатка предлагается рассчитывать «взвешенный» транспортный поток, учитывающий время ожидания следующим образом:

$$PWFlow(\text{phase}) = \sum_{l \in L_{\text{phase}}^{income}} \sum_{c \in C_l} I(t(c) < \tau) * (1 + \alpha * \text{delay}(c, l)) \quad (3)$$

где  $\text{delay}(c, l)$  – время простоя ТС  $c$  на полосе  $l$ .

Способ выбора следующей фазы светофора аналогичен базовому методу [1]: выбирается та фаза, для которой взвешенный транспортный поток оказывается максимальным:

$$\operatorname{argmax}(\{PWFlow(\text{phase}) \text{ for phase in } P\}). \quad (4)$$

### 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальное исследование направлено на сравнение эффективности предложенного метода с

классическим алгоритмом MaxPressure [3] и современными RL-методами [4,5]. Эксперименты проводились в среде моделирования SUMO с использованием сценариев для управления светофорами [6]. Для оценки эффективности использовались синтетические (4x4) и реальные сценарии движения на отдельном перекрестке, магистрали и в городской области. Результаты сравнения по критерию среднего времени движения, представленные в Таблице I, подтвердили высокую эффективность предложенного метода.

Таблица III. КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИГНАЛОВ СВЕТОФОРОВ

Модель	4x4	Перекресток	Магистраль	Область
IDQN	145,76	<b>43,85</b>	58,94	85,40
IPPO	156,37	48,33	62,01	87,64
Max Pressure	161,02	47,35	60,27	98,64
Max PFlow	<b>141,82</b>	44,08	<b>56,74</b>	<b>85,30</b>

### 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен детерминированный метод адаптивного управления дорожными сигналами, основанный на максимизации взвешенного транспортного потока. Показана высокая эффективность разработанного метода по сравнению с базовыми эмпирическими методами и методами на основе машинного обучения с подкреплением на синтетических и реальных сценариях движения.

### БЛАГОДАРНОСТИ

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

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] 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.
- [2] Lowrie, P.R. SCATS—a traffic responsive method of controlling urban traffic / P.R. Lowrie. – Roads and Traffic Authority NSW, 1990. – 28 p.
- [3] Varaiya, P. The Max-Pressure Controller for Arbitrary Networks of Signalized Intersections / P. Varaiya // Advances in Dynamic Network Modeling in Complex Transportation Systems: Complex Networks and Dynamic Systems. – New York, NY: Springer, 2013. – P. 27-66.
- [4] Gregurić, M. Application of Deep Reinforcement Learning in Traffic Signal Control: An Overview and Impact of Open Traffic Data / M. Gregurić, M. Vujić, C. Alexopoulos, M. Miletić // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10(11). DOI: 10.3390/app10114011.
- [5] Qadri, S.S.S.M. State-of-art re-view of traffic signal control methods: challenges and opportunities / S.S.S.M. Qadri, M.A. Gökçe, E. Öner // European Transport Re-search Review. – 2020. – Vol. 12(55). DOI: 10.1186/s12544-020-00439-1.
- [6] RESCO Web Site [Electronic resource]. – Access mode: <https://github.com/Pi-Star-Lab/RESCO> (15.02.2022).