

Анализ современных подходов оптимизации систем регулирования дорожным движением

С. А. Селиверстов

Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН;
Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого;
Высшая школа интеллектуальных систем и
суперкомпьютерных технологий
seliverstov_s_a@mail.ru

Н. В. Шаталова

Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН
shatillen@mail.ru

А. М. Сазанов¹, К. В. Никитин², Е. Н. Бендерская³
Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого;
Высшая школа интеллектуальных систем и
суперкомпьютерных технологий
¹arseny.sazanov@gmail.com,
²execiter@mail.ru, ³elena.n.benderskaya@gmail.com

О. Ю. Лукомская

Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН;
Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
luol@mail.ru

Аннотация. Обосновывается актуальность данного анализа современных методов интеллектуального управления систем регулирования дорожным движением. Выполняется обзор работ, связанных с темой исследования. Производится анализ методов. В соответствии со структурными особенностями улично-дорожной сети и перекрестков, интенсивностью движения трафика, приоритетными режимами движения оцениваются преимущества и недостатки методов на основе алгоритмов интеллектуального анализа данных и машинного обучения.

Ключевые слова: интеллектуальное управление светофором, умный светофор, регулирование дорожного движения, интеллектуальная транспортная система

I. ВВЕДЕНИЕ

Развитие транспортно-логистических процессов, рост мобильности и автомобилизации населения в городах и городских агломерациях стали причиной повышения интенсивности дорожного движения и плотности трафика, это негативно отразилось на пропускной способности улично-дорожных сетей и стало основной причиной появления транспортных заторов. Таким образом, транспортная инфраструктура и системы управления дорожным движением в таких крупных мегаполисах, как Санкт-Петербург, Москва и других оказались недостаточно подготовленными. Транспортные заторы стали причиной ухудшения экологической ситуации в городах [1, 2], снизили благосостояние граждан [3], ухудшили качество жизни и уровень удовлетворения потребностей.

Сегодня, для разрешения проблемы возникновения транспортных заторов стали активно разрабатываться и внедряться методы и подходы с использованием инфотелекоммуникационных технологий [4], искусственного

интеллекта [5, 6] и систем моделирования [7, 8] Их влияние распространилось на рекомендательные системы такие как навигаторы, дорожные информационные табло, светофоры и др.

Основным элементом транспортной дорожной инфраструктуры, на который возложена функция регулирования и управления транспортными потоками и пешеходами является светофор. Современный светофор – это сложный электронный объект, включающие в себя дорожный контроллер, оптические элементы, детекторы, датчики, кнопки вызова пешеходной фазы и другие элементы. В зависимости от особенностей улично-дорожной сети, интенсивности и структуры трафика, алгоритмов и программного обеспечения системы управления светофорами, светофорные объекты могут иметь локальные, координированный или адаптивный режимы управления.

Эффективность каждого режима управления зависит от применения алгоритма, позволяющего регулировать длительность светофорных фаз и задержек.

Именно анализу таких алгоритмов в зависимости от структуры улично-дорожной сети и посвящена данная работа.

II. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

К настоящему времени имеется большое количество работ в области разработки методов и технологий оптимизации систем светофорного регулирования для различных перекрестков улично-дорожной сети. Отечественные и зарубежные методы расчета систем светофорного регулирования и управления дорожным движением рассматривались в [9]. Позднее, в [10] они были актуализированы после внесения изменений в регламенты, регулирующие процесс управления

дорожного движения и совершенствования подходов сбора и анализа информации о трафике. Комплексные подходы и методы организации регулируемых и нерегулируемых перекрестков и оценки их безопасности рассматриваются в [11]. В [12] анализируются различные методы управления трафиком зеленой волны, а также предлагается новый смешанный алгоритм, сформированный путем объединения адаптивного генетического алгоритма и алгоритма искусственного роя рыб, тестирование которого производится на пяти последовательных пересечениях дороги Цзяньнин в Ланьчжоу, при этом результаты превосходят классический алгоритм зеленой волны. Организация пешеходных пересечений с автомобильными дорогами их оптимизация и подходы к адаптивному управлению циклами светофоров с учетом особенностей самоорганизации пешеходных потоков исследуются в [13]. Методы регулирования светофорных объектов на автомагистралях с пешеходными пересечениями, с учетом пониженной интенсивности пешеходных потоков исследовались в [14]. Особенностью данного подхода стало применение в системе управления светофором кнопки вызова пешеходной фазы. Проблемы регулирования светофоров на простых и сложных перекрестках с учетом минимизации общего времени ожидания транспортных средств и активности пешеходов рассматривались в [15]. Метод скоординированного управления системы светофорных объектов, с учетом максимальной эффективности режима зеленой волны предложен в [16]. В [17] разрабатывается двунаправленный алгоритм контроля зеленой волны на основе оптимизации роя частиц, такое решение позволяет снизить время задержки. В [18] на основе данных, собранных в городе Сиань была предложена оптимизационная модель управления циклами светофора на основе модели Вебстера (Webster) для регулируемого перекрестка. В [19] исследуется процесс разработки адаптивных контроллеров для светофоров, используя обучение с подкреплением. Результаты моделирования показывают, что данные, собранные с помощью петлевых детекторов достаточно для адаптивного обучения с подкреплением. В [20] предложена многоагентная система на основе обучения с подкреплением для управления светофорами на транспортной сети с пятью перекрестками. Результаты работы демонстрируют преимущества многоагентного управления на основе RL по сравнению с алгоритмом самой длинной очереди. В одном из последних обзоров [21] делаются выводы, 1) что менее половины работ по оптимизации времени сигнала светофора выполняются с использованием реальных данных, 2) с ростом вычислительной мощности и доступности сбора данных актуальность приобретают преактивные модели, а также концепции, объединяющие цифрового двойника, машинное обучение и искусственный интеллект.

III. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Сегодня перед специалистами центров безопасности дорожного движения и учеными в области улучшения систем регулирования дорожного движения, в условиях роста алгоритмов интеллектуального анализа данных и машинного обучения нередко возникает вопрос выбора


наиболее подходящего метода оптимизации работы светофоров на различных участках транспортной сети. Вследствие уникальных особенностей проблемного перекрестка с одной стороны и большого числа уже разработанных методов и решений по его улучшению - с другой, предложить подходящее решение крайне сложно и парой этот процесс занимает много времени.

На основе анализа существующих подходов повышения эффективности процесса регулирования дорожным движением предложен метод позволяющий ускорить разработку надлежащего решения.

IV. ПРИМЕНЕНИЕ ПОДХОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПЕРЕКРЕСТКА

Проведенный анализ свидетельствует о наличие большого числа методов, позволяющих в той или иной степени произвести оптимизацию работы светофорного объекта.

ТАБЛИЦА I ПОДХОД ВЫБОРА МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ

Описание участка УДС	Изображение реального участка УДС	Подход к оптимизации
Регулируемое пересечение с пешеходным переходом (интенсивность пешеходов низкая)		<ol style="list-style-type: none"> 1. Алгоритм полууправляемого и пешеходного управления сигналами [14]. 2. Метод максимальной полосы зеленой волны [12]
Протяженный участок УДС с регулируемым пешеходными переходами		<ol style="list-style-type: none"> 1. Алгоритм полууправляемого и пешеходного управления сигналами [14] 2. Метод максимальной полосы зеленой волны [16] 3. Метод управления [12] прогрессивной координацией
Простой четырехсторонний перекресток		<ol style="list-style-type: none"> 1. Расчет по методике [10] 2. Метод на основе обучения с подкреплением [23] 3. Алгоритм полууправляемого и пешеходного управления сигналами [14] 4. Методы на основе глубокого обучения с подкреплением [24]
Сложный четырехсторонний перекресток		<ol style="list-style-type: none"> 1. Расчет по методике [10] 2. Метод на основе обучения с подкреплением [23] 3. Методы на основе глубокого обучения с подкреплением [24]
Система перекрестков		<ol style="list-style-type: none"> 1. Расчет по методике [10] 2. Расчет по методике [11] 3. Метод максимальной полосы зеленой волны [16] 4. Методы на основе глубокого обучения с подкреплением [24] 5. Метод динамического управления светофором на основе тумана [25]

Поэтому нами предложен подход, позволяющий быстро и наглядно сориентировать исследователя транспортника при решении задач оптимизации светофорного объекта в зависимости от структурно-функциональных особенностей перекрестка.

В таблице мы представили наиболее обобщенные структуры перекрестков, на которых могут возникать транспортные заторы, вследствие неравномерности транспортной нагрузки на сети либо по причинам дорожно-транспортных происшествий. Опираясь на результаты проведенного исследования, мы представили методы оптимизации, для улучшения системы управления светофорами.

V. ВЫВОД

Предложенный подход позволяет исследователям в области оптимизации работы светофорных объектов упростить выбор метода оптимизации и расширить сферу возможных путей решения задач повышения качества управления циклами светофорного регулирования и эффективности организации дорожного движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Lozhkina O., Lozhkin V., Nevmerzhtsky N., Tarkhov D., & Vasilyev A. Motor transport related harmful PM2.5 and PM10: from onroad measurements to the modelling of air pollution by neural network approach on street and urban level. // *Journal of Physics: Conference Series*, 772, 012031. 2016, pp 1-7. doi:10.1088/1742-6596/772/1/012031
- [2] Lozhkin V., Lozhkina O., Rogozinsky G., Malygin I. On Information Technology Development for Monitoring of Air Pollution by Road and Water Transport in Large Port Cities (St. Petersburg, Vladivostok and Sevastopol). In: Sukhomlin V., Zubareva E. (eds) // *Modern Information Technology and IT Education. SITITO 2018. Communications in Computer and Information Science*, vol 1201. 2018, pp 384-396, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-46895-8_30
- [3] Afrin T., & Yodo N. A Survey of Road Traffic Congestion Measures towards a Sustainable and Resilient Transportation System. // *Sustainability*, 12(11), 4660. 2020, pp 1-23. doi:10.3390/su12114660
- [4] Jahnvi S., Prasanth G., Priyanka D., Snehet A., Navya M. Intelligent Traffic Light Management System. In: Kiran Mai C., Kiranmayee B.V., Favorskaya M.N., Chandra Satapathy S., Raju K.S. (eds) // *Proceedings of International Conference on Advances in Computer Engineering and Communication Systems. Learning and Analytics in Intelligent Systems*, vol 20. Springer, Singapore. 2021. pp 489-498. https://doi.org/10.1007/978-981-15-9293-5_45
- [5] Maha Vishnu, V.C., Rajalakshmi, M. & Nedunchezian, R. Intelligent traffic video surveillance and accident detection system with dynamic traffic signal control // *Cluster Comput* 21, 2018. pp 135-147. <https://doi.org/10.1007/s10586-017-0974-5>
- [6] Ya.A. Seliverstov, Sv.A. Seliverstov, V.I. Komashinskiy, A.A. Tarantsev, N.V. Shatalova, V.A. Grigoriev. Intelligent systems preventing road traffic accidents in megalopolises in order to evaluate. // *Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017*. 2017. pp. 489-492. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970626
- [7] Sliwa B., Wietfeld C. LIMoSim: A Framework for Lightweight Simulation of Vehicular Mobility in Intelligent Transportation Systems. In: Virdis A., Kirsche M. (eds) // *Recent Advances in Network Simulation. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing*. Springer, Cham. 2019, pp 347-363. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12842-5_11.
- [8] Ya.A. Seliverstov, I.G. Malygin, V.I. Komashinskiy, A.A. Tarantsev, N.V. Shatalova, V.A. Petrova. The St. Petersburg transport system simulation before opening new subway stations. // *Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2017*. 2017. pp. 284-287. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970562. <http://ieeexplore.ieee.org/document/7970562/>
- [9] Кременец Ю.А., Печерский М.П., Афанасьев М.Б. // *Технические средства организации дорожного движения*. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. С. 279.
- [10] Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Организация дорожного движения на регулируемых пересечениях. Москва 2017. С. 91. <https://docplan.ru/Data2/1/4293734/4293734706.pdf>
- [11] *Signalized Intersections: Informational Guide Second Edition*// US Department of Transport, Federal Highway Administration, Publication No. FHWA-SA- 13-027, 2013. p 323.
- [12] Ma, C., He, R. Green wave traffic control system optimization based on adaptive genetic-artificial fish swarm algorithm. // *Neural Comput & Applic* 31, 2019, pp 2073-2083. <https://doi.org/10.1007/s00521-015-1931-y>
- [13] Helbing, D., Johansson, A., & Lämmer, S. (n.d.). Self-Organization and Optimization of Pedestrian and Vehicle Traffic in Urban Environments. // *The Dynamics of Complex Urban Systems*, pp 287-309. doi:10.1007/978-3-7908-1937-3_14
- [14] Lee, C. K., Yun, I., Choi, J.-H., Ko, S., & Kim, J.-Y. Evaluation of semi-actuated signals and pedestrian push buttons using a microscopic traffic simulation model. // *KSCIE Journal of Civil Engineering*, 17(7), 2013, pp 1749-1760. doi:10.1007/s12205-013-0040-7
- [15] Alexiou D. Generating the family of all traffic signal light cycles coordinated with pedestrian crosswalks. *Optimization Letters*, 10(3), 2015, pp 473-484. doi:10.1007/s11590-015-0871-x
- [16] Zhao-Meng, C., Xiao-ming, L., & Wen-Xiang, W. Optimization Method of Intersection Signal Coordinated Control Based on Vehicle Actuated Model. // *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, pp 1-9. doi:10.1155/2015/749748
- [17] Cao, C. T., Cui, F., & Guo, G. Q. Two-Direction Green Wave Control of Traffic Signal Based on Particle Swarm Optimization. *Applied Mechanics and Materials*, 26-28, 2010, 507-511 pp. doi:10.4028/www.scientific.net/amm.26-28.507
- [18] Wu, Y., Lu, J., Chen, H., & Yang, H. Development of an Optimization Traffic Signal Cycle Length Model for Signalized Intersections in China. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, pp 1-9. doi:10.1155/2015/954295
- [19] Genders W., & Razavi S. Evaluating reinforcement learning state representations for adaptive traffic signal control. // *Procedia Computer Science*, 130, 2018, pp 26-33. doi:10.1016/j.procs.2018.04.008
- [20] Arel I., Liu C., Urbanik T., & Kohls A.G. Reinforcement learning-based multi-agent system for network traffic signal control. // *IET Intelligent Transport Systems*, 4(2), 128, 2010. doi:10.1049/iet-its.2009.0070
- [21] Qadri, S.S.S.M., Gökçe, M.A. & Öner, E. State-of-art review of traffic signal control methods: challenges and opportunities. // *Eur. Transp. Res. Rev.* 12, 55 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12544-020-00439-1>
- [22] Turkey A.M., Ahmad M.S., Yusoff M.Z.M., Hammad B.T. Using Genetic Algorithm for Traffic Light Control System with a Pedestrian Crossing. In: Wen P., Li Y., Polkowski L., Yao Y., Tsumoto S., Wang G. (eds) *Rough Sets and Knowledge Technology*. // *RSKT 2009. Lecture Notes in Computer Science*, vol 5589. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02962-2_65
- [23] Tan K.L., Sharma A. & Sarkar S. Robust Deep Reinforcement Learning for Traffic Signal Control. // *J. Big Data Anal. Transp.* 2, 263-274 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42421-020-00029-6>
- [24] Wei H., Zheng G., Yao H., & Li Z. IntelliLight: A Reinforcement Learning Approach for Intelligent Traffic Light Control // *Proceedings of the 24th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining - KDD '18*. 2018, pp 2496-2505, doi:10.1145/3219819.3220096
- [25] Hossan S., & Nower N. Fog-based dynamic traffic light control system for improving public transport. // *Public Transport*. 2020, pp 1-24 doi:10.1007/s12469-020-00235-z