

УДК 656.13.08

А. Н. КЛИМОВИЧ, В. Н. ШУТЬ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ В РАЗВИТИИ АДАПТИВНЫХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ

Брестский государственный технический университет

Алгоритмы адаптивного управления, применяющиеся на сегодняшний день, существуют уже несколько десятилетий. За это время интенсивное развитие получили информационные технологии и сегодня все более актуальным является их применение в сфере транспорта. В статье анализируются современные тенденции развития адаптивных методов управления транспортными потоками. Выполнен обзор наиболее перспективных направлений в сфере интеллектуальных транспортных систем, таких как высокоскоростное беспроводное взаимодействие автомобилей друг с другом и с дорожной инфраструктурой, основанное на использовании технологий DSRC и WAVE, прогнозирование заторов по признакам, включающим информацию о дорожном потоке, степени занятости дороги, скоростях транспортных средств, с помощью методов машинного обучения, правил нечеткой логики и генетических алгоритмов, внедрение систем содействия водителю для повышения автономности транспортных средств. Приведены преимущества, предоставляемые этими технологиями, для повышения безопасности, эффективности и удобства использования транспорта. Описан мультиагентный подход, использующий V2I-взаимодействие между автомобилями и контроллером перекрестка для повышения эффективности управления за счет более полной информации о транспортном потоке и возможности отдавать команды отдельным автомобилям через сообщения. Представлен ряд алгоритмов, использующих этот подход для создания нового поколения адаптивных транспортных систем.

Ключевые слова: *Адаптивное управление движением, интеллектуальные транспортные системы, предсказание заторов, V2I-взаимодействие, мультиагентные системы, автономные автомобили.*

Введение

Наблюдаемое в течение суток изменение интенсивности транспортных потоков требует соответствующего изменения параметров управления дорожным движением, таких как длительность цикла и время разрешающих сигналов. Адаптивное управление, за счет наличия обратной связи с транспортным потоком, позволяет учитывать, как суточные изменения интенсивности, так и ее колебания в связи со случайным прибытием транспортных средств. Системы, основанные на адаптивном управлении, существуют на протяжении последних десятков лет, и их применение как в мегаполисах, так и в менее крупных городах, доказало свою эффективность. Однако современное развитие информационных технологий и интеллектуальных транспортных систем (ИТС) позволяет создавать качественно новые методы управления транспортными потоками, направленные на повышение удобства, эффективности и безопасности использования транспорта.

Интеллектуальные транспортные системы

На сегодняшний день существуют десятки различных реализаций адаптивных систем управления транспортом [1], а наиболее распространенными являются SCOOT и SCATS [2]. Современные достижения в области ИТС позволяют значительно расширить текущие возможности адаптивного управления транспортом и создать более совершенные системы за счет использования продвинутых сенсоров, электроники, компьютерных и коммуникационных технологий, инновационных стратегий управления.

Одним из важных направлений развития ИТС является использование беспроводных телекоммуникаций. Исследования, проводившиеся в этой области в 2000-х годах показали, что существующие технологии Wi-Fi не соответствуют поставленным задачам. Для решения этих проблем было создано новое дополнение к стандарту Wi-Fi – IEEE 802.11p [3]. Новый протокол базируется на технологии

DSRC (Dedicated short range communication), служащей для взаимодействия на коротких дистанциях. Технология следующего поколения называется WAVE (Wireless Access to Vehicular Environment) и предоставляет высокоскоростную передачу данных [4]. Беспроводные сети наиболее короткого радиуса используются для организации обмена данными между устройствами внутри автомобиля, например, для связи между смартфоном водителя и системами автомобиля. Взаимодействие V2V включает обмен данными с автомобилями, проходящими рядом или движущимися по одному маршруту, а также аварийное вещание автомобилям, находящимся неподалеку. Взаимодействие V2I использует придорожную инфраструктуру для обмена данными и сетевого взаимодействия с автомобилями. Также автомобиль может иметь прямое подключение к интернету через сотовую сеть. Сервисы, разработанные на данный момент, включают системы кооперативного оповещения о столкновениях, системы детектирования столкновений, кооперативные системы безопасности перекрестков, оповещение о приближении автомобилей экстренных служб или областей с дорожными работами и др. [5].

Другое направление в ИТС – это предсказание заторов. Последние несколько десятилетий наиболее широко распространенные техники дорожного прогнозирования основывались на фильтре Калмана и интегрированной модели авторегрессии скользящего среднего (ARIMA) [6]. В настоящее время большое внимание уделяется методам, способным выполнять прогнозирование на основе нескольких признаков, включающих дорожный поток, степень занятости дороги, скорости. К таким алгоритмам относятся метод опорных векторов (SVM) [7], нейронные сети (NN) [8], системы, основанных на правилах нечеткой логики (FRBS) [9, 10], генетические алгоритмы (GA) [11]. Наиболее эффективные методы на сегодняшний день могут предсказать возникновение затора на период от 5 до 30 минут с точностью в 95%.

Последнее десятилетие характеризуется активным развитием в области автономных и беспилотных автомобилей. Этому свидетельствуют следующие проекты: VIAC (2007-10), SPITS (2008-11), HAVEit (2008-11) [12], Cyber-

cars-2 and CityMobil (2005-08 и 2008-11) [13], соревнование GDC (2009-11), e-Safety (2002-13), соревнования DARPA [14] и Google Driverless Car. Работа над продвинутыми системами содействия водителю (ПССВ) ведется в таких направлениях как системы ассистирования при смене полосы, системы безопасности пешеходов, системы предупреждения и предотвращения столкновений, системы адаптивного управления светом фар, системы ассистирования при парковке, системы ночного видения, системы круиз-контроля, системы внутреннего наблюдения, позволяющие детектировать сонное состояние водителя и предупредить об опасной ситуации [15]. Следующий шаг – создание кооперативных систем адаптивного круиз-контроля, основывающихся на V2V взаимодействии, систем распознавания дорожных знаков и сигналов светофора, систем, использующих информацию от цифровых карт, например, для выбора подходящей скорости перед крутым поворотом. Развитие ПССВ будет влиять на требования к безопасности автомобилей и со временем использование таких систем станет обязательным, делая машины более автономными.

Мультиагентные системы в транспорте

Мультиагентные системы (МАС) – это системы, состоящие из автономных интеллектуальных агентов, взаимодействующих друг с другом, и пассивной среды, в которой агенты существуют и на которую также могут влиять. Применение МАС для управления перекрестком стало возможным благодаря развитию V2I и V2V коммуникаций. Перекресток снабжается устройством-контроллером, реализующим алгоритм управления фазами светофора (рис. 1). В случае с автономными автомобилями светофор может просто выполнять дублирующую функцию, т. к. основные команды могут передавать через V2I взаимодействие. Контроллер имеет определенный радиус действия, появляясь в котором автомобиль передает информацию о своем положении, скорости и направлении движения. Контроллер собирает эту информацию со всех автомобилей и на основе полученных данных выполняет планирование фаз. При необходимости автомобилям отправляются команды, позволяющие им скорректировать свои действия.

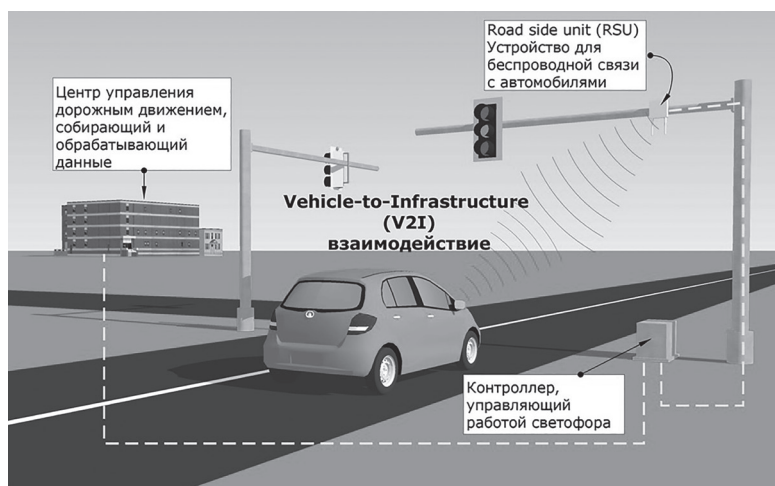


Рис. 1. Применение V2I взаимодействия для управления перекрестком

Предлагаемые алгоритмы работы контроллера могут значительно отличаться от системы к системе. Некоторые ориентированы на совершенствование планирования фаз светофора за счет наличия более полной информации о транспортных потоках [16,17], другие занимаются контролем траекторий автомобилей для более эффективного и безопасного проезда перекрестка [18,19], третьи предлагают отказаться от светофорного регулирования и активно использовать возможности беспроводного взаимодействия через передачу сообщений [20]. Качество предлагаемых алгоритмов оценивается через имитационное моделирование, которое показывает значительное повышение эффективности перекрестка по сравнению с классическим светофорным регулированием. Кроме задач управления изолированным перекрестком, MAC могут быть применены в системах для централизованного управления движением во всем городе, которые занимаются формированием маршрутов, планированием времени поездок и координацией отдельных све-

тофорных объектов с целью избежания возникновения заторов [21].

Заключение

Большинство существующих методов адаптивного управления транспортом основываются на технологиях, доступных уже несколько десятилетий. В статье представлен ряд технологий, таких как устройства, обеспечивающие беспроводные высокоскоростные телекоммуникации с автомобилями, и продвинутые системы содействия водителю, появление и распространение которых приведет к созданию нового поколения адаптивных систем управления транспортом. Такие системы будут способны собирать детальное описание транспортных потоков, включая информацию о маршруте, скорости и положении отдельных автомобилей, и иметь возможность передавать этим автомобилям индивидуальные команды, что позволит транспортным системам городов справляться с постоянным ростом числа автомобилей и объемов перевозок, наблюдающимся по всему миру.

Литература

1. Aavani, P. A review on adaptive traffic controls systems / P. Aavani, K. S. Mithun, S. Sneha // International Journal of Latest Engineering and Management Research. – 2017. – Vol. 2, № 1. – P. 52–57.
2. Stevanovic, A. Adaptive Traffic Control Systems: Domestic and Foreign State of Practice / A. Stevanovic // A Synthesis of Highway Practice. NCHRP Synthesis 403. – 2010. – 114 p.
3. Hiertz, G. R. The IEEE 802.11 Universe / G. R. Hiertz [et al.] // IEEE Communications Magazine. – 2010. – Vol. 48, № 1. – P. 62–70.
4. Dar, K. Wireless communication technologies for ITS applications / K. Dar [et al.] // IEEE Communications Magazine. – 2010. – Vol. 48, № 5. – P. 156–162.
5. Martinez, F. J. Emergency services in future intelligent transportation systems based on vehicular communication networks / F. J. Martinez [et al.] // IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine. – 2010. – Vol. 2, № 2. – P. 6–20.
6. Williams, B. M. Modeling and forecasting vehicular traffic flow as a seasonal ARIMA process: Theoretical basis and empirical results / B. M. Williams, L. A. Hoel // Journal of Transportation Engineering. – 2003. – Vol. 129, № 6. – P. 664–672.

7. **Wu, C.-H.** Travel-time prediction with support vector regression / C.-H. Wu, J.-M. Ho, D. Lee // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2004. – Vol. 5, № 4. – P. 276–281.
8. **Chan, K.** Neural-network-based models for short-term traffic flow forecasting using a hybrid exponential smoothing and Levenberg–Marquardt algorithm / K. Chan, T. Dillon, J. Singh // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2012. – Vol. 13, № 2. – P. 644–654.
9. **Dimitriou, L.** Adaptive hybrid fuzzy rule-based system approach for modeling and predicting urban traffic flow / L. Dimitriou, T. Tsekeris, A. Stathopoulos // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2008. – Vol. 16, № 5. – P. 554–573.
10. **Zhang, Y.** Short-term traffic flow forecasting using fuzzy logic system methods / Y. Zhang, Z. Ye // Journal of Intelligent Transportation Systems. – 2008. – Vol. 12, № 3. – P. 102–112.
11. **Vlahogianni, E. I.** Optimized and meta-optimized neural networks for short-term traffic flow prediction: A genetic approach / E. I. Vlahogianni, M. G. Karlaftis, J. C. Golias // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2005. – Vol. 13, № 3. – P. 211–234.
12. **Flemisch, F.** Towards Highly Automated Driving: Intermediate report on the HAVEit-Joint System / F. Flemisch [et al.] // 3rd European Road Transport Research Arena – 2010. – P. 1–12.
13. **Toffetti, A.** CityMobil: Human Factors issues regarding highly-automated vehicles on an eLane / A. Toffetti [et al.] // Paper presented at the Transportation Research Board, New York. – 2009. – Vol. 2110. – P. 1–8.
14. **Buehler, M.** The DARPA Urban Challenge: Autonomous Vehicles in City Traffic / M. Buehler, K. Iagnemma, S. Singh // Springer Tracts in Advanced Robotics. – 2010. – Vol. 56. – P. 441–508.
15. **Wees, K.** (2005) Product liability for ADAS; legal and human factors perspectives / K. Wees, K. Brookhuis // European Journal of Transport and Infrastructure Research. – 2005. – Vol. 5, № 4. – P. 357–372.
16. **Fei, Y.** New vehicle sequencing algorithms with vehicular infrastructure integration for an isolated intersection / Y. Fei, M. Dridi, A. El-Moudni // Telecommunication Systems. – 2012. – Vol. 50, № 4. – P. 325–337.
17. **Войцехович, О. Ю.** Стратегия оптимизации движения автомобилей по магистрали города с использованием бинарного дерева решений / О. Ю. Войцехович, В. Н. Шуть // Информационные технологии и системы 2011 (ИТС 2011): материалы международной научной конференции. – Минск: БГУИР, 2011. – С. 187–188.
18. **Li, Z.** Signal control optimization for automated vehicles at isolated signalized intersections / Z. Li, L. Elefteriadou, S. Ranka // Transportation Research Part C Emerging Technologies. – 2014. – Vol. 49. – P. 1–18.
19. **Wuthishuwong, C.** Vehicle to infrastructure based safe trajectory planning for Autonomous Intersection Management / C. Wuthishuwong, A. Traechtler // In Proceedings of IEEE International Conference on ITS Telecommunications. – 2013. – P. 175–180.
20. **Dresner, K.** A Multiagent Approach to Autonomous Intersection Management / K. Dresner, P. Stone // Journal of Artificial Intelligence Research. – 2008. – Vol. 31. – P. 591–656.
21. **Климович, А. Н.** Современные подходы и алгоритмы управления транспортными потоками / А. Н. Климович, А. С. Рыщук, В. Н. Шуть // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2015. – № 3. – С. 252–256.

Поступила
30.05.2017

После доработки
12.07.2017

Принята к печати
10.09.2017

Klimovich A. N. Shuts V. N.

SYSTEM ANALYSIS OF MAJOR TRENDS IN DEVELOPMENT OF ADAPTIVE TRAFFIC FLOW MANAGEMENT METHODS

Adaptive algorithms, which current traffic systems are based on, exist for many decades. Information technologies have developed significantly over this period and it makes more relevant their application in the field of transport. This paper analyses modern trends in the development of adaptive traffic flow control methods. Reviewed the most perspective directions in the field of intelligent transport systems, such as high-speed wireless communication between vehicles and road infrastructure based on such technologies as DSRC and WAVE, traffic jams prediction having such features as traffic flow information, congestion, velocity of vehicles using machine learning, fuzzy logic rules and genetic algorithms, application of driver assistance systems to increase vehicle's autonomy. Advantages of such technologies in safety, efficiency and usability of transport are shown. Described multi-agent approach, which uses V2I-communication between vehicles and intersection controller to improve efficiency of control due to more complete traffic flow information and possibility to give orders to separate vehicles. Presented number of algorithms which use such approach to create new generation of adaptive transport systems.

Keywords: Adaptive traffic control, intelligent transport systems, traffic jam prediction, V2I-communication, multi-agent systems, autonomous vehicles.



Klimovich Andrei graduated with honors from Brest State Technical University with a speciality in «Artificial intelligence» (2014), received master degree with the same speciality (2017). Scientific interests: intelligent transport systems, artificial intelligence, machine learning.

Климович Андрей Николаевич закончил с отличием Брестский государственный технический университет по специальности «Искусственный интеллект» (2014), получил степень магистратура по той же специальности (2017). Научные интересы: интеллектуальные транспортные системы, искусственный интеллект, машинное обучение. E-mail: andrey_klim@bk.ru



Shuts Vasilii – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Intellectual Information Technologies of the Brest State Technical University. Author of more than two hundred works, two monographs, 25 patents for invention. Scientific interests: intelligent transport systems, unmanned transport (40 publications), adaptive control systems for transport flows (30 publications and one patent), graph theory (20 publications), optimization problems of discrete mathematics (30 publications).

Шуть Василий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры Интеллектуальных информационных технологий Брестского государственного технического университета. Автор более двухсот работ, двух монографий, 25 патентов на изобретения. Научные интересы: интеллектуальные транспортные системы, беспилотный транспорт (30 публикаций и один патент), теория графов (20 публикаций), оптимизационные задачи дискретной математики (30 публикаций). E-mail: lucking@mail.ru