

УДК 656.13

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ СВЕТОФОРНЫХ ОБЪЕКТОВ С АДАПТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Игнатенко Е.И., руководитель проектов ООО «ТД», г. Пермь, Россия;
Новиков А.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой сервиса и ремонта машин ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», г. Орел, Россия;
Клявин В.Э., д.т.н., доцент, главный научный сотрудник научно-исследовательского института ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»;
Сысоев А.С., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой прикладной математики и системного анализа ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк, Россия

INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM BASED ON TRAFFIC LIGHTS WITH ADAPTIVE CONTROL

Ignatenko E.I., Project Manager of the TrafficData, Perm, Russia;
Novikov A.N., Doctor of Technical Sciences, professor, head of the department of machine service and repair of the Oryol State University, Orel, Russia;
Klyavin V.E., Doctor of Technical Sciences, associate professor, chief researcher of the research of the Lipetsk State Technical University;
Sysoev A.S., Candidate of Technical Sciences, associate professor, head of the department of applied mathematics and systems analysis of the Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

Аннотация

Рассмотрены тенденции развития управления дорожным движением в городских агломерациях, основанные на внедрении современных технологий, таких как адаптивное управление светофорными объектами и интеллектуальные транспортные системы. Предложен концептуальный подход к созданию интеллектуальной транспортной системы, построенной на использовании современных возможностей видеомониторинга транспортных потоков. Определены этапы создания и развития такой системы, а также примерная внутренняя структура серверного домена «управление дорожным движением».

Ключевые слова: Интеллектуальная транспортная система, интенсивность движения, состав потока, светофорный объект, управление дорожным движением, видеомониторинг

Abstract

The article considers the trends in the development of traffic management in urban agglomerations based on the introduction of modern technologies, such as adaptive traffic light control and intelligent transport systems. A conceptual approach to the creation of an intelligent transport system based on the use of modern capabilities for video monitoring of transport flows is proposed. The stages of creation and development of such a system are defined, as well as an approximate internal structure of the server domain «traffic management».

Keywords: Intelligent transport system, traffic intensity, flow composition, traffic light object, traffic management, video monitoring

Введение

Транспортный комплекс в нашей стране является одним из важнейших элементов развития экономики, повышение эффективности функционирования которого сдерживают проблемы автомобилизации, последствия которой в первую очередь характеризуются высокой интенсивностью движения транспортных потоков по улично-дорожной сети городов. Од-

ним из ключевых направлений решения этой проблемы, согласно Национальному проекту «Безопасные и качественные автомобильные дороги», является широкое распространение интеллектуальных транспортных систем (далее – ИТС) в городских агломерациях, к основным целям внедрения которых можно отнести развитие «системы мониторинга и управления транспортной системой в режиме реального времени для повышения качества транспортных услуг, улучшения экологии и безопасности» [1].

Очевидно, что ИТС в своём развитии давно ушла от автоматизированной системы управления дорожным движением и решает широкий спектр задач, используя, в том числе самые современные возможности получения, переработки и распространения различных видов информации, связанных с транспортным процессом [2]. Так, в частности, «...региональная ИТС Белгородской городской агломерации генерирует более 100 000 000 фактов фиксации транспортных средств в месяц» [3]. Важным преимуществом ИТС является существенное повышение уровня взаимодействия участников дорожного движения [4]. С этим связано бурное развитие архитектуры современной ИТС [5], при этом в любой представленной в настоящее время ИТС обязательно присутствие серверного домена «управление дорожным движением» (ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011), понимаемое как «упорядочивание движения транспортных средств и пешеходов на дорогах» (ГОСТ Р 56829-2015).

Однако надо признать, что темпы создания и развития ИТС в нашей стране пока невысокие, а одной из основных причин являются «несовершенные механизмы создания и эксплуатации ИТС» [6].

Материал и методы

Можно отметить две ярко выраженные тенденции развития управления дорожным движением: с одной стороны – повышение эффективности ИТС, с другой – развитие адаптивного управления светофорными объектами. Решением проблем развития и повышения эффективности ИТС занимаются многие отечественные и зарубежные ученые: С. В. Жанказиев, И. Н. Пугачев, Д. В. Капский, В. В. Зырянов, В. М. Власов, И. Е. Агуреев и др. Вопросами совершенствования алгоритмов адаптивного управления занимаются учёные В. Д. Шепелев, З. В. Альметова, А. Д. Моор, В. И. Берстенева, П. В. Остапенко, К. А. Султантемирова, О. Н. Сапрыкин, Д. В. Овчинников, Е. А. Шевченко, П. А. Уфилин, Д. А. Архипов и др.

Между этими тенденциями есть противоречия [7]. ИТС по своей сути, как правило, функционирует на основе сценариев управления и обслуживает сеть пересечений, используя планы координации, построенные и корректируемые на основе статистических данных [8]. Адаптивное же управление характерно для отдельного или в редких случаях для небольшой группы перекрёстков, подчинённых общему сценарию [9]. При этом использование адаптивных алгоритмов работы одиночного светофорного объекта «ухудшает характеристики движения и эффективности работы других перекрестков» [7].

Теория

Современный видеомониторинг движения обладает следующими возможностями [10]:

- Подсчет количества транспортных средств (далее – ТС) по полосам/по направлениям;
- Классификация ТС на 6/8/14 типов;
- Расчет средней скорости движения транспортных средств;
- Расчет средней задержки ТС;
- Определение показателя перегруженности;
- Определение длины очереди ТС;
- Подсчет интенсивности пешеходного движения;
- Определение количества пешеходов в зоне;
- Отслеживание треков ТС в пределах кадра;
- Определение мгновенной скорости в режиме реального времени и др.

То есть, появляется возможность точно отслеживать не только сколько и каких видов транспортных средств проходит через пересечение, но и откуда они прибыли и куда направ-

вились. Важно и умение определять количество пешеходов в зоне пересечения: при их отсутствии появляется возможность пропустить пешеходную фазу.

Развитие ИТС на основе такого видеомониторинга позволяет использовать эти возможности на всех этапах развития. На рис. 1 представлена концепция поэтапного подхода к созданию ИТС.



Рис. 1. Концепция поэтапного создания ИТС на основе современного мониторинга

На первом этапе (уровень 1 «Автономия» на рис. 1) предполагается применение адаптивного управления светофорным регулированием («умных светофоров» [6]), начиная внедрение с ключевых перекрёстков с постепенным вовлечением менее значимых, но с предполагаемым участием в создаваемой ИТС. Одной из основных задач первого этапа является разработка схемы видеомониторинга, обеспечивающей максимальный охват точек, где предполагается вероятность изменения интенсивности движения транспортных потоков, и, соответственно, её реализация.

Такой подход позволит уже на первом этапе проанализировать качество видеомониторинга по получению информации, необходимой для реализации управления дорожным движением на следующих этапах.

На втором этапе (уровень 2 «Сообщество» на рис. 1) организуется обмен данными между всеми смежными перекрёстками с адаптивным управлением светофорным регулированием. «Знакомство» начинается с оценки пропускной способности смежных подходов, длины перегона, наличия на перегоне мест притяжения, таких как торгово-развлекательные центры, крупные парковки и т.п., которые могли бы влиять на интенсивность движения. В местах, где располагается въезд-выезд таких центров притяжения необходимо также проводить видеомониторинг с целью определения изменения количества автомобилей, направляющихся к подходам смежных перекрёстков. На рис. 2 показан пример такой схемы видеомониторинга (стрелки указывают места подсчёта количества транспортных средств).

В это же время идёт период обучения и согласования, в течение которого определяются возможности совместной «работы» смежных пересечений на основе данных о количестве и виде транспортных средств, направленных в сторону смежного перекрёстка для формирования режима управления, что является непростой задачей. С одной стороны, зачастую пересечения имеют различную пропускную способность, что сложно исправить из-за плотности современного градостроительства. С другой стороны, организация дорожного движения на смежных пересечениях городских агломерациях иногда существенно отличается, что может стать большой проблемой для их совместной «работы» и потребовать пересмотра.

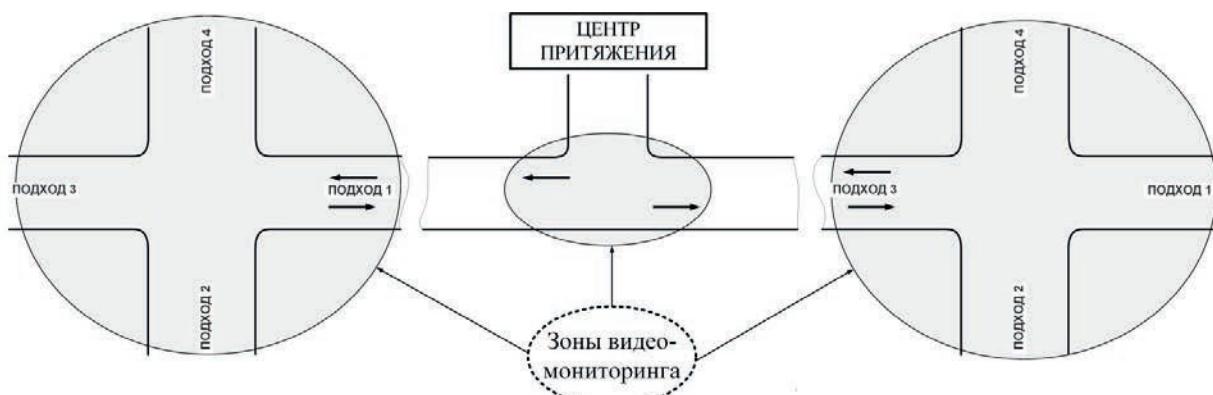


Рис. 2. Схема видеомониторинга двух смежных подходов с центром притяжения на перегоне

По мере формирования второго этапа начинается третий этап (уровень 3 «Тактика» на рис. 1), предполагающий введение координированного движения или, в нашем случае совместной «работы» нескольких смежных пересечений, на основных магистралях городской агломерации подобно представленному в работе [9], но, учитывая возможную быстроту изменения транспортной ситуации, построенной скорее на правилах, чем на сценариях, предполагающих более медленную реакцию на изменение обстановки. Сложности решения этой задачи с одной стороны также связаны с неодинаковой пропускной способностью перекрёстков, а с другой стороны с различием между пересечениями магистральной улицы с вспомогательными и двух магистральных улиц. В первом случае в управлении магистральная улица имеет приоритет, во втором случае необходимо обеспечить баланс между магистральными улицами.

После полного завершения второго этапа происходит переход к четвёртому этапу (уровень 4 «Стратегия» на рис. 1). На этом этапе заканчивается создание серверного домена «управление дорожным движением» и начинается формирование архитектуры ИТС, необходимой для решения задач конкретной городской агломерации по обеспечению эффективности транспортных процессов, таких, например, как перевозка пассажиров общественным транспортом и грузоперевозки. По мере накопления информации и её анализе, могут решаться задачи, направленные на снижение заторовых явлений, как посредством изменения схем организации дорожного движения, так и перераспределением транспортных потоков, как в пространстве, так и во времени.

Учитывая, что даже отдельный перекрёсток с внедрением адаптивного управления светофорного регулирования уже локально снижает задержки движения транспорта, можно сказать, что с самого начала создания ИТС и до полной её реализации эффективность транспортных процессов будет только возрастать. При этом основным источником информации по состоянию транспортных потоков будут видеокамеры, установка которых, как правило, не требует проведения дорожных работ, приводящих к остановкам или перенаправлению движения ТС.

Необходимо также отметить, что уже на уровне «Сообщество» перекрёстки с адаптивным управлением светофорного регулирования получат возможность использовать информацию от такого же типа смежных перекрёстков, что позволит более быстро и точно реагировать на любые изменения интенсивности движения. Например, при перегрузке одного из перекрёстков смежные с ним могут начать сдерживать транспортные потоки для нормализации обстановки, контролируя при этом длину очереди.

Современные технологии видеомониторинга без дополнительных устройств помогут обеспечивать и безопасность дорожного движения. Так определение мгновенной скорости в режиме реального времени и расчет средней скорости движения ТС позволяют контролировать скоростной режим. Средняя скорость движения ТС, которая несмотря на критику яв-

ляется общепризнанным показателем, может замеряться на перегонах между смежными перекрёстками. Отслеживание треков ТС в пределах кадра даёт возможность контролировать выезд на встречную полосу движения через сплошную линию разметки. Видеомониторинг перекрёстков позволяет выявлять нарушителей, осуществляющих проезд стоп-линии на за-прещающий сигнал светофора. Кроме этого, видеомониторинг облегчает поиск автомобиля по его идентификационному номеру.

Результаты и обсуждение

Предлагаемая концепция создания ИТС имеет принципиальное отличие от действующих в настоящее время. Действие такой ИТС осуществляется в режиме реального времени без построения сценариев, используя непрерывный и актуальный поток информации, формирующий оптимальные управляющие воздействия на каждом пересечении транспортных потоков, учитывая возможности смежных перекрёстков. Учитывая изменчивость состава транспортного потока, неодинаковые тягово-скоростные свойства транспортных средств и различное время реакции водителей, зависящее от ряда факторов, предполагается использование количественного подхода к формированию фазы управления, то есть пропуск не в заданный период, а заданного количества транспортных средств.

Основным преимуществом предлагаемой концепции ИТС является использование адаптивного управления светофорным регулированием, что позволяет более гибко реагировать на любые колебания интенсивности движения, обеспечивая максимальную эффективность транспортных процессов. Также важным является упрощённое и поэтапное расширение ИТС на новые сегменты улично-дорожной сети.

Реализация такого варианта серверного домена «управление дорожным движением» требует непрерывного решения оптимизационных задач, что возможно только с использованием нейронных сетей и на сегодняшний день не является неразрешимой задачей.

Выводы

Использование новых технологий видеомониторинга, продолжающих своё развитие, в совокупности с расширяющимися возможностями искусственного интеллекта, позволяют по-новому взглянуть на создание и развитие интеллектуальных транспортных сетей, основу которых составляют светофорные объекты с адаптивным управлением. Каждый этап формирования серверного домена «управление дорожным движением» таких ИТС, начиная с внедрения адаптивного управления светофорного регулирования, оказывает положительное влияние на транспортные процессы.

Список литературы

1. Зейналова, Г. А. Развитие интеллектуальных транспортных систем с целью управления конкурентоспособностью услуг в городских условиях / Г. А. Зейналова, В. В. Жаков // Modern Science. – 2020. – № 7-2. – С. 48-51.
2. Терентьев, В. В. Внедрение интеллектуальных систем на автомобильном транспорте / В. В. Терентьев // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 1(21). – С. 117-122. – DOI 10.21685/2307-4205-2018-1-15.
3. Новиков, А. Н. Практическая реализация принципов интеллектуального управления транспортными потоками в городе Белгороде / А. Н. Новиков, Е. В. Мирошников // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – №1-3(84). – С. 111-118. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-1-3(84)-111-118.
4. Костюченко, В. В. Интеллектуальные системы управления автомобильным транспортом / В. В. Костюченко // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2016. – Т. 4, № 5-3(25-3). – С. 256-261.
5. Ван, Ж. Особенности методов разработки архитектуры интеллектуальных транспортных систем в Китайской Народной Республике / Ж. Ван // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 1-3(84). – С. 103-110. – DOI 10.33979/2073-7432-2024-1-3(84)-103-110.

6. Солодкий, А. И. Развитие интеллектуальных транспортных систем в России: проблемы и пути их решения. Новый этап / А. И. Солодкий // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – № 6. – С. 10-19. – DOI 10.25198/2077-7175-2020-6-10.
7. Митрохин, М. А. Влияние адаптивного управления светофорными объектами на характеристики дорожного движения смежных перекрестков / М. А. Митрохин, А. О. Аляев, Р. И. Лобанов, М. В. Семёнкин // Автоматика на транспорте. – 2024. – Т. 10, № 3. – С. 282-295. – DOI 10.20295/2412-9186-2024-10-03-282-295.
8. Метелкин, П. В. Управление светофором: стратегия, тактика, решение / П. В. Метелкин, А. В. Чепурнова. – Текст: электронный // Интеллектуальные транспортные системы России : информационно-аналитический журнал и портал: электрон. журн. – Дата публикации: 28.08.2024. – URL: <https://www.itsjournal.ru/articles/special-report/upravlenie-svetoforom-strategiya-taktika-reshenie/> (дата обращения: 19.03.2025).
9. Сетевое адаптивное управление светофорами: успешный кейс Пензы // Интеллектуальные транспортные системы России : информационно-аналитический журнал и портал : электрон. журн. – Дата публикации: 21.03.2025. – URL: www.itsjournal.ru/articles/digital-region/setevoe-adaptivnoe-upravlenie-svetoforami-uspeshnyy-keys-penzy/ (дата обращения: 23.03.2025).
10. TrafficData : Модуль мониторинга дорожного движения. – URL: traffic-data.tilda.ws/traffic-monitoring-module (дата обращения: 17.03.2025).

УДК 658.78

БЛОКЧЕЙН И МАЛЫЙ БИЗНЕС: РЕАЛЬНЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ В УПРАВЛЕНИИ ПОСТАВКАМИ

Исмагилова Г.Н., к.э.н., доцент ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия;
ORCID: 0000-0002-8966-4334
E-mail: gismagilova_85@mail.ru

BLOCKCHAIN AND SMALL BUSINESS: REAL PROSPECTS IN SUPPLY MANAGEMENT

Ismagilova G.N., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Kazan federal university, Kazan, Russia;
ORCID: 0000-0002-8966-4334;
E-mail: gismagilova_85@mail.ru

Аннотация

Современные цифровые технологии стремительно трансформируют деловую среду. Одной из таких инноваций является технология блокчейн, которая демонстрирует высокий потенциал в сфере управления поставками, особенно в малом бизнесе. В статье рассматриваются ключевые принципы работы блокчейна, его возможности по обеспечению прозрачности, надежности и сокращению транзакционных издержек. Анализируются реальные кейсы использования блокчейна малыми предприятиями, а также потенциальные барьеры, сдерживающие масштабное внедрение. Делается вывод о том, что несмотря на сложности переходного периода, блокчейн может стать фактором устойчивого роста малого бизнеса за счет повышения эффективности логистических процессов.

Ключевые слова: блокчейн, малый бизнес, управление поставками, логистика, цифровизация, децентрализация, прозрачность, эффективность, инновации, цепочки поставок