

УДК 656.13.05

РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ В УЛИЧНО- ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА

В. Шуть

*Брестский государственный технический университет,
Беларусь, 224017, г. Брест, ул. Московская, 26
lucking@mail.ru*

Рассмотрены традиционные методы управления автотранспортными потоками в дорожной сети города. К основным инструментам управления транспортными потоками в дорожной сети города на настоящий момент относится светофорное регулирование. Ключевыми узлами дорожной сети города являются перекрестки. Именно на них наблюдаются наибольшие потери в качестве использования дорожного полотна. Сегодня для обеспечения светофорного регулирования используют жесткое однопрограммное, многопрограммное, координированное регулирование, адаптивное управление и интеллектуальный светофор. Все эти методы управления подробно изложено и указано их недостатки. Возможности удовлетворения потребностей общества в наращивании объемов перевозок пассажиров и грузов путем использования для управления светофорного регулирования исчерпаны – особенно в крупных городах. Сейчас необходима разработка кардинальных мер по более эффективному использованию транспортного ресурса: дорожного полотна, перекрестков, развязок и т.д. Предложенная концепция бесветофорного движения подразумевает отсутствие светофоров на перекрестке и основана на принципе многоагентной системы.

Ключевые слова: светофорное регулирование, дорожная сеть, перекрестки, многоагентная система, адаптивное управление, интеллектуальный светофор.

Дорожное движение в настоящее время следует рассматривать как одну из самых сложных составляющих социально-экономического развития городов и регионов. В данной области должны использоваться самые современные технологии сбора и обработки информации о параметрах транспортных потоков (плотности, скорости, составе) с целью обеспечения безостановочного движения по улицам и дорогам. Происходящие в мире значительные социально-экономические преобразования предъявляют новые требования к уровню согласованности всех сфер жизнедеятельности – в том числе в системе транспортных перевозок.

Между тем в последние десятилетия нарастает несбалансированность между потребностями в транспортных услугах и реальными пропускными способностями всех видов транспорта. Возможности экстенсивного пути удовлетворения потребностей общества в наращивании объемов перевозок пассажиров и грузов путем увеличения численности транспорта в значительной мере исчерпаны – особенно в крупных городах. Сейчас необходима разработка мер по более эффективному использованию транспорт-

ного ресурса при одновременном снижении отрицательных последствий автомобилизации и сокращении людских потерь.

Позитивные изменения в облике мирового транспорта на рубеже XXI века сопровождаются рядом негативных последствий, масштабы и значимость которых дают основания оценивать их как стратегические вызовы национального и даже континентального масштаба. К их числу относятся неприемлемый уровень людских потерь [1], рост потребления невозобновляемых источников энергии и негативного влияния на окружающую среду, постоянно растущие задержки людей и грузов на всех видах транспорта, связанные как с объективным недостатком мощностей транспортной инфраструктуры, так и с низким уровнем управления транспортными потоками.

Традиционные методы управления транспортными потоками в улично-дорожной сети города. Основным инструментом управления автотранспортными потоками (АТП) в дорожной сети города на настоящий момент является светофорное регулирование. Ключевыми узлами дорожной сети города есть перекрестки. Именно на них наблюдаются наибольшие потери в качестве использования дорожного полотна. При медленном изменении интенсивностей движения оптимальные длительности цикла и фаз, рассчитанные для условий пикового периода, для остального времени суток оказываются неоптимальными, как правило, слишком большими, приводящими к неоправданным задержкам транспорта [2].

Это недостатки жесткого программного управления. Сейчас для обеспечения светофорного регулирования используют такие методы:

- жесткое однопрограммное управление (регулирование);
- жесткое многопрограммное управление;
- координированное регулирование;
- многопрограммное координированное регулирование;
- адаптивное управление.

Сегодня существующее в большинстве городов жесткое программное управление [2, 3] не способно учитывать кратковременные случайные колебания в числе автомобилей, подходящих к перекрестку. Использование многопрограммного жесткого регулирования позволяет сгладить проблему, связанную с суточными колебаниями интенсивностей, но плохо работает при мгновенных, текущих изменениях интенсивностей транспортного потока. Таким образом, практически повсеместно используемое в настоящее время жесткое программное управление светофорными объектами (СФО) не способно учитывать кратковременные случайные колебания количества автомобилей, подходящих к перекрестку.

Известно, что целью координированного регулирования является обеспечение безостановочного движения транспортных средств вдоль улицы или магистрали. Координированное управление работой соседних светофорных объектов должно обеспечивать уменьшение количества непроводительных остановок и торможений в потоке и, как следствие, транспортных задержек. Эффективность работы программы координированного управления на магистрали зависит от таких параметров, как расстояния между группами транспортных средств, плотность потока в группе, скорость распада и перемещения. Параметры групп, природа диффузии групп отражают свойства транспортного потока.

Однако изменения интенсивности и распределение групп на городских магистралях имеют характер нестационарных случайных процессов, в которых можно выделить не

случайную составляющую. Для решения данной проблемы используют многопрограммное координированное регулирование. Но, не обладая обратной связью с потоком и постоянно не обновляя выбираемый набор программ координации, многопрограммное регулирование также не способно решать данную проблему достаточно эффективно.

Существуют методы коррекции программ координации [4], которые позволяют решать проблемы изменения интенсивностей. Для реализации данного метода необходимо устанавливать детекторы транспорта на подходе к светофорному объекту. Детекторы можно располагать как на магистральной улице, так и на прилегающих к ней улицах. Обычно программу реализуют на каждом перекрестке по модифицированному алгоритму поиска разрывов в транспортных потоках, поэтому достаточно, чтобы он фиксировал наличие транспортного средства на сечении дороги. Таким образом, зелёный сигнал выключится раньше (по сравнению с моментом переключения, предусмотренным программой) в направлении, в котором происходит поиск разрывов, если разрыв в потоке будет обнаружен. Этот способ ведёт к снижению транспортных задержек.

Для решения транспортных проблем в последнее время более активно развивают различные системы, которые позволяют адаптивно подстраиваться к изменениям в транспортных потоках [5]. Большинство работ в данной сфере направлено на оптимизацию управления транспортными потоками на перекрестках. Используя современное техническое обеспечение, а также алгоритмы адаптивного управления, можно значительно улучшить качество дорожного движения города.

Одним из направлений развития адаптивных систем является применение нейросетевого подхода к решению задачи управления [6]. Для этого используют видеодетекторы, снимающие информацию о состоянии транспортного потока, и алгоритмы прогнозирования будущих интенсивностей на основе нейронной сети. Данный подход позволяет менять длительность тактов в зависимости от текущей и спрогнозированной интенсивности потока.

Интеллектуальный светофор. На заре возрождения автотранспорта, когда ещё не было светофоров, на перекрестках управление производил постовой. Функции постового:

- принять зрительный образ авто;
- оценить, с каких направлений они поступили;
- просчитать оптимальную стратегию их разъезда;
- выполнить эту стратегию движением рук и тела.

Человек по своей сути является природным оптимизатором. После того, как с помощью светофора автоматизировали разъезд на перекрестке, то и интеллект также убрали с перекрестка. Сейчас идёт процесс возвращения интеллекта на перекресток посредством внедрения прикладных (специализированных) интеллектуальных систем в управление транспортными потоками перекрестка.

Интеллектуальные системы (ИС) разделяют на интеллектуальные системы общего класса, решающие задачи, которые ранее не встречались (представитель – экспертные системы) и специализированные ИС. Специализированные ИС выполняют решение фиксированного набора задач, определённого на этапе проектирования. Функции интеллектуального светофора:

- 1) сбор и обработка информации о АТП на перекрестке;
- 2) выбор оптимального момента смены фазы светофорного цикла;
- 3) статистическая обработка информации о АТП в течении суток;

- 4) прогнозирование будущих ситуаций;
- 5) наличие различных программ регулирования движения:
 - на малых потоках;
 - на потоках средней интенсивности;
 - на насыщенных потоках;
 - при наличии пробок;
- 6) использование аналитических методов расчёта режимов оптимальности.

Дальнейшим развитием в управлении транспортными потоками является создание интеллектуальной транспортной сети (магистралей). Оптимальная работа по отдельности каждого СФО не гарантирует оптимальности всей потокопроводящей сети города (принцип теории систем). Каждый СФО должен работать не на себя, а на систему. Отсюда в него вводится дополнительная функция: общение. Только оперативная информация о потоках на магистрали позволит оптимально управлять СФО.

Интеллектуальное управление на отдельном перекрестке состоит в постоянном нахождении оптимальных для данных средних значений интенсивностей движения длительностей цикла и фаз регулирования, а также в корректировке этих длительностей в соответствии с мгновенными колебаниями в количестве автомобилей, подходящих к перекрестку. Для этого необходима реализация звена обратной связи между параметрами транспортного потока и управляющими воздействиями системы. Параметры транспортного потока (интенсивность, скорость, плотность, длина очереди у перекрестка, наличие транспортных средств с правом приоритетного пропуска и т. д.) фиксируют с помощью детекторов транспорта (ДТ). Полученную информацию о состоянии транспортного потока обрабатывают, и, полученные результаты используют для управления, а также они могут служить основой для вычисления таких характеристик потока, которые нельзя получить непосредственным измерением.

Но все способы, в том числе адаптивного управления и интеллектуальный светофор, позволяют увеличить пропускную способность магистралей всего лишь на 25–30 %. В управлении дорожным движением необходимы кардинальные решения. Ниже предложено концепцию бесветофорного движения, которая позволяет на порядок увеличить пропускную способность городских магистралей.

Бесветофорное движение. Одной из первых попыток использования концепции бесветофорного движения являются части проекта “Столица мира Германия” (проект перестройки Берлина конца 1930-х). Бесветофорное движение – концепция организации дорожного движения, основанная на том, что на некоторых видах перекрёстков для безопасного разъезда автомобилей не требуется светофор (траектории транспортных средств пересекаются исключительно во время перестроения) [7]. Подходящие типы перекрёстков:

-Т-образный перекрёсток с односторонней главной дорогой и двусторонней второстепенной;

-Y-образный с круговым движением (Киев, Оболонь).

Пешеходов пропускают с помощью подземных переходов или вызывных светофоров.

Данная концепция (назовем её первой) бесветофорного движения является попыткой устранения светофоров с улично-дорожной сети (УДС) городов. Реализация данной концепции весьма затратна и связана с перестройкой УДС (отнесенный левый поворот,

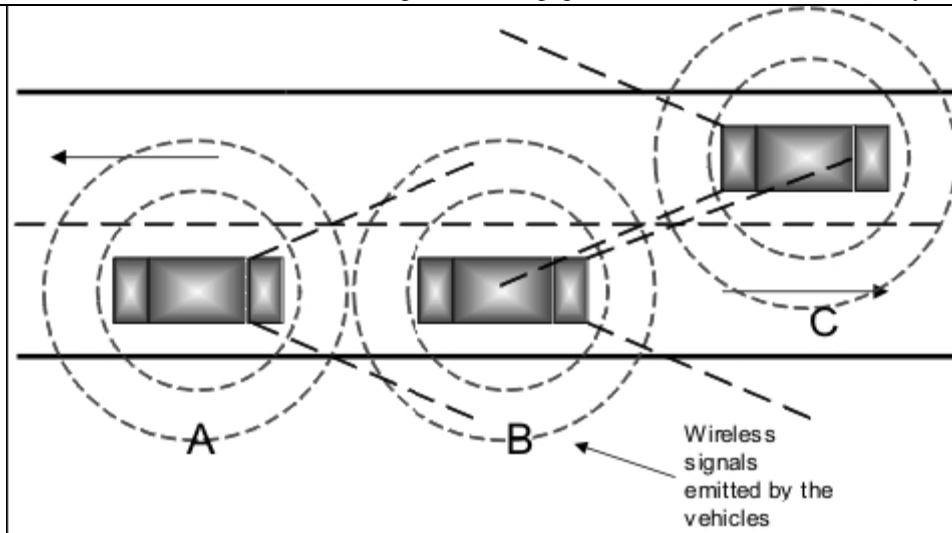
переустройство улиц в одностороннее направление движения и т. д.). Зачастую, в условиях исторически сложившейся застройки городов это просто невозможно сделать.

Предлагаемая ниже концепция (назовем её второй) бесветофорного движения подразумевает отсутствие светофоров на перекрестке и основана на принципе многоагентной системы [8]. Средства связи, управления и контроля изначально встроены в транспортные средства и объекты инфраструктуры, а возможности управления (принятия решений), на основании получаемой в реальном времени информации, доступны не только транспортным операторам, но и всем транспортным единицам, участвующим в процессе движения. Задача решается путем построения интегрированной системы: люди – транспортная инфраструктура – транспортные средства, с максимальным использованием новейших информационно-управляющих технологий.

Автомобили как агенты обмениваются сообщениями с навигационным устройством, расположенным на перекрестке и состоящем из ЭВМ и беспроводного передатчика. При приближении к перекрестку автотранспортное средство налаживает контакт с таким устройством. Каждая машина и перекресток-навигатор оборудованы беспроводным передатчиком для взаимодействия.

Автомобиль, подъезжающий к перекрестку, подключившись к беспроводной сети, становится агентом централизованной многоагентной системы. Задача агента-автомобиля заключается в передвижении на ту или иную полосу дороги для достижения пункта назначения. Агент посылает перекрестку-навигатору запрос на передвижения и ожидает ответ в виде команд “стоп” и “вперед”. Перекресток-навигатор анализирует, принимает решение и рассылает сообщения. Алгоритм, принимающий наиболее оптимальное решение, может быть основан на нечеткой логике и теории планирования и работать в режиме реального времени (Real-Time).

Беспроводные сети интегрированы в транспортные средства и составляют с транспортными средствами единую инфраструктуру. Транспортные средства, оборудованные связью, могут быть использованы для мониторинга состояния дорог или препятствий для безопасности движения и информировать систему и другие транспортные средства о аварии на дороге и др. Беспроводные сети ставят ряд сложных задач оптимизации. Покрытие-проблема была и остается основным вопросом в построении беспроводных сетей. Большинство известных исследований, связанных с оптимальным (в смысле обеспечения необходимого уровня охвата в каждой точке в процессе эксплуатации области), предполагает, что зона обслуживания свободна от препятствий, затрудняющих нормальное распространение информационных сигналов [9]. Более реалистичный подход предполагает принятие решений с учетом препятствий в обслуживаемой зоне.



Автотранспорт в движении по магистрали

Есть несколько типичных сценариев движения. Например, транспортные средства, задействованные в мультиагентной системе управления, оснащены датчиками (см. рисунок) и имеют функцию общения: возможность для обмена данными с другими транспортными средствами. Автомобили двигаются пачками, поскольку при таком способе значительно увеличивается плотность движения, при этом движение пачки происходит на больших скоростях, так как указанием рекомендованной скорости движения автомобиля управляет система. При этом для соблюдения дистанции между автомобилями на каждом из них установлен специальный датчик, который и следит за дистанцией.

Рассмотрим процесс разъезда пачки на перекрестке. Текущее время t поделено на кванты времени одинаковой продолжительности и равные времени, необходимому одной пачке для того, чтобы проехать перекрёсток + небольшое время Δt . За каждой пачкой закреплён свой определённый квант времени, которого она должна придерживаться. Каждая пачка может пересечь перекрёсток, только если она к моменту приближения к перекрёстку входит в свой квант времени (то есть если текущее время находится в пределах определённого кванта, то можно сказать, что пачка, закреплённая за данным квантом, в данный момент пересекает перекрёсток). При этом каждая пачка прикрепляется к такому кванту времени, что это не вызовет аварийной ситуации на перекрёстке при наступлении данного кванта. Таким образом, в одном кванте не может быть несколько пачек, пути которых пересекаются на перекрёстке (но в одном кванте может быть несколько пачек, пути которых на перекрёстке не пересекаются (например, случай, когда обеим пачкам необходимо повернуть направо)).

При появлении нового автомобиля на дороге данный автомобиль информирует о своём появлении ближайший перекресток-навигатор, в направлении которого он движется. Данный перекресток-навигатор находит ближайшую пачку, к которой может присоединиться этот новый автомобиль (при этом выбирается такая пачка, что автомобиль

успеет её догнать и присоединиться, и это присоединение не вызовет конфликтов с другими пачками, которым назначен тот же квант времени), если такая пачка не найдена, то данный автомобиль образует новую пачку, а перекресток-навигатор назначает в соответствии этой пачке подходящий квант времени и скорость, с которой должна двигаться пачка.

После пересечения перекрёстка навигатор “забывает” об автомобилях, которые этот перекрёсток пересекли, а эти самые автомобили сообщают о своем появлении новым перекресткам-навигаторам, в направлении которых они будут двигаться, и процедура назначения пачки и скорости для данных автомобилей повторяется.

Таким образом, в последние десять лет словосочетание “интеллектуальные транспортные системы” (Intelligent Transport Systems) и соответствующие аббревиатуры – ИТС, ITS – стали обычными в стратегических, политических и программно-целевых документах развитых стран. “Интеллектуальные транспортные системы (ИТС) – это системная интеграция современных информационных и коммуникационных технологий и средств автоматизации с транспортной инфраструктурой, транспортными средствами и пользователями, ориентированная на повышение безопасности и эффективности транспортного процесса, комфортности для водителей и пользователей транспорта”.

Сфера продвижения ИТС в мировой практике варьирует от решения проблем общественного транспорта, существенного повышения безопасности дорожного движения, ликвидации заторов в транспортных сетях, повышения производительности транспортной системы и т.д.

Преимущества предложенной мультиагентной системы управления, которая относиться к интеллектуальным транспортным системам, состоит в ускорении движения на перекрестках, в устранении автомобильных пробок, в распределении загрузки автотранспортного потока между соседними дорогами.

Никто пока точно не может сказать, каким будет новое дорожное движение в будущем. Однако после появления автономных транспортных средств оно изменится. Агентам-автомобилем, обладающим коллективным разумом, уже будут не нужны светофоры для пересечения перекрестков.

Очевидно, что резкого перехода на автономные машины невозможно по многим причинам. Поэтому обязательно будет существовать такое время, когда автономные и традиционные автомобили будут вместе ездить по дорогам, что значительно усложнит разработку эффективной работы бессветофорного движения.

-
1. Журнал о цифровом видеонаблюдении, IP-решениях, системах безопасности. №3 2009 г. 53 с.
 2. *Воробьев Э.М.* Автоматизированные системы управления дорожным движением / Э.М. Воробьев, Д.В. Капский, Ю.И. Мосиенко. – Мн. : ОАО “ТРОНТПРИНТ”, 2004 – 8 с.
 3. *Кременец Ю.А.* Технические средства организации дорожного движения / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М. : Академкнига, 2005. – 76 с.
 4. *Дрю Д.* Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю. – М. : Транспорт, 1972. – 24 с.

5. *Anfilets S.* Evaluating The Effectiveness Of The Adaptive Control System In Brest Region / S. Anfilets, V. Shut // International Congress Of Heavy Vehicles, Road Trains And Urban Transport.– Минск, 2010. – С. 222–226.
6. *Kasianik V.V.* Application of Artificial Neural Networks for Forecasting of Characteristics of Transport Stream and Adaptive Regulation at Crossroads. Proceedings International Conference on Neural Networks and Artificial Intelligence / V.V. Kasianik, S.V. Anfilets, V.N. Shuts. – Brest, 2010. – P. 91.
7. Совершенствование организации дорожного движения в г. Москве // Газета ГУВД Москвы “Петровка 38”. – 2009.
8. *Тарасов В.Б.* Агенты, многоагентные системы, виртуальные сообщества: стратегическое направление в информатике и искусственном интеллекте / В.Б. Тарасов. – М. : Эдиториал УРСС, 2002.
9. *Tian, D., Georganas, N. D.* A coverage-preserving node scheduling scheme for large wireless sensor networks / D. Tian, N. D. Georganas // Proceedings of the ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA), Atlanta, GA, United States, September 2002. – Atlanta, 2002. – P. 32–41.

РОЗШИРЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА

В. Шуть

*Брестський державний технічний університет
Білорусь, 224017, м. Брест, вул. Московська, 26
lucking@mail.ru*

Розглянуто традиційні методи керування автотранспортними потоками в дорожній мережі міста. До основних інструментів управління транспортними потоками в дорожній мережі міста нині належить світлофорне регулювання. Ключовими вузлами дорожньої мережі міста є перехрестя. Саме на них простежуються найбільші втрати використання дорожнього полотна. Сьогодні для забезпечення світлофорного регулювання використовують жорстке однопрограмне, багатопрограмне, координоване регулювання, адаптивне управління та інтелектуальний світлофор. Усі ці методи управління детально викладені і зазначено їхні недоліки. Можливості задоволення потреб суспільства в нарощуванні обсягів перевезень пасажирів і вантажів завдяки використанню для управління світлофорного регулювання вичерпані – особливо у великих містах. Необхідна розробка кардинальних заходів щодо ефективнішого використання транспортного ресурсу: дорожнього полотна, перехресть, розв’язок тощо. Пропонована концепція руху без світлофорів передбачає відсутність світлофорів на перехресті й ґрунтується на принципі багатоагентної системи.

Ключові слова: світлофорне регулювання, дорожня мережа, перехрестя, багатоагентна система, адаптивне управління, інтелектуальний світлофор.

**EMPOWERING THE OPTIMAL TRAFFIC MANAGEMENT
OF THE ROAD NETWORK IN THE CITY**

V.Shuts

*Brest State Technical University
Belarus, 224017, Brest., Moscow str., 26
lucking@mail.ru*

The article deals with the traditional methods of management of transport flows in the road network. The main instruments of traffic management of the road network in the city at the specific moment is the regulation of traffic lights. Key nodes of the road network in the city are the intersections. That they observed the greatest losses as the use of the roadway. Now for the traffic signal control is used single-program rigid, multi-program, coordinated control, adaptive control, and intelligent traffic light. All of these control methods are described in detail and their shortcomings. Opportunities to meet the needs of society in escalating volumes of passengers and freight through the use of regulation to control the traffic lights have been exhausted - especially in large cities. Now a need to develop fundamental measures for more effective use of transport resources: roadway, intersections, interchanges, etc. Proposed in this paper concept means no traffic lights at the intersection and is based on the principle of multi-agent system.

Key words: traffic light control, roads, intersections, multi-agent systems, adaptive control, intelligent traffic light.

Стаття надійшла до редколегії 15.05.2012
Прийнята до друку 16.01.2013