

УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОБИЛЬНОГО ПОМОЩНИКА ВОДИТЕЛЯ

УДК 656.13.05

ШУТЬ Василий Николаевич

к.т.н., доцент кафедры интеллектуальных информационных технологий Брестского государственного технического университета.

Научные интересы: информационные технологии в управлении транспортом.

ВВЕДЕНИЕ

Функционирование транспортных систем в значительной степени определяет уровень социальных, экономических, экологических достижений и проблем городов. В рамках этих систем осуществляются перемещения грузов и пассажиров, которые решают социально-экономические задачи городов, но при этом требуют определенных материальных затрат и характеризуются соответствующим уровнем качества. В этой связи в современных условиях повышение эффективности и безопасности функционирования транспортных систем городов является важнейшей задачей.

Транспортная сеть наземных видов транспорта является основной подсистемой всей транспортной системы города. Именно в рамках этой подсистемы осуществляется более 95% всех городских перевозок. Поэтому функционирование транспортных сетей городов в значительной степени определяет выполнение требований эффективности, безопасности и комфортабельности ко всей транспортной системе.

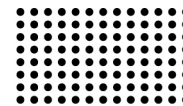
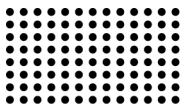
В последнее время в городах наблюдается обострение транспортных проблем. Все отрицательные проявления этого явления обусловлены перегрузкой транспортных сетей городов избыточными объемами движения, более высокими темпами развития процесса автомобилизации по сравнению с темпами развития транспортных сетей. Для решения проблемы перегрузки транспортных сетей городов избыточными объемами движения сегодня применяются различные подходы, основанные на закономерностях

формирования транспортных потоков в городах.

Несмотря на большое количество выполненных исследований по отдельным этапам формирования транспортных потоков, многие вопросы остаются недостаточно изученными. Улучшение транспортной системы в направлении модернизации внешних средств организации движением транспортных потоков зачастую не приносит существенной выгоды, но, как правило, требует больших затрат из городского и государственного бюджетов. В такой ситуации более эффективной может оказаться оптимизация поведения водителей во время движения (управление изнутри). Реализация такой системы будет проводиться с помощью уже существующей инфраструктуры мобильных устройств, которые есть сейчас практически у каждого. Предлагается принципиально новый подход и взгляд на транспортные потоки. Необходимо воспринимать их не как неизбежную данность, управление которой возможно только извне, но и как объект, который возможно формировать и строить в соответствии с нашими представлениями и целями об оптимальном управлении.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В литературе встречаются различные варианты систем оптимизации поведения водителя и рекомендаций в различных дорожных ситуациях. Так в [1] рассмотрена система с интеллектуальными светофорами и автомобилями, которые снабжены передатчиками wifi образуя сеть на перекрестке, в рамках которой проводится оптимизация и выбор стратегии управления. После выбора стратегии она сообщается водителю на



специальном дисплее автомобиля рекомендации по движению.

В работе [2] описан макет системы, работающей на основе мобильного смартфона водителя. Идея такой системы состоит в установке на смартфон специального приложения для работы со встроенной камерой смартфона. Водитель устанавливает смартфон на панели возле лобового стекла, чтобы камера имела обзор дорожной обстановки. Приложение определяет на изображениях цветовой сигнал светофора и в зависимости от расстояния до перекрестка рекомендует водителю оптимальную скорость движения для преодоления перекрестка без задержки.

В работе [3] предлагается вдоль магистрали устанавливать ленту из ламп или газоразрядных трубок, которые будут светиться зеленым или красным светом по участкам. Светящиеся участки должны перемещаться вдоль магистрали со скоростью, равной скорости «Зеленой волны». Водителю достаточно выдерживать такую скорость, чтобы он находился в зеленой зоне.

В работе [4] проезд перекрестков без остановок в условиях интенсивного городского движения обеспечивает Указатель Оптимальной Скорости (в дальнейшем УОП), разработанный Плотниковым А.Г. Он предназначен для увеличения средней скорости движения автомобиля путем безостановочного проезда регулируемых автоматическими светофорами перекрестков. Работа всех смежных автоматических светофоров должна быть синхронизирована между собой на определенную среднюю скорость движения транспорта на этом направлении (обычно устанавливается 50 км/час то есть организована «зеленая волна»). При движении по перегону прибор постоянно информирует водителя, на какой сигнал следующего светофора и в какой его момент он подъедет при движении с данной скоростью.

УОП представляет собой электромеханическое устройство, которое посредством сравнения двух скоростей (фактической скорости движения автомобиля и виртуальной скорости движения транспортного потока, установленной взаимосвязанной работой синхронизированных светофоров) постоянно информирует водителя о его положении в этом потоке относительно сигналов последующего светофора. УОП состоит из:

- датчика скорости движения автомобиля, включенного в кинематическую цепь привода спидометра;
- датчика работы светофоров;

– указателя положения автомобиля на перегоне относительно сигналов светофора, к которому он сейчас подъедет.

Однако у приведенных систем существуют вполне определенные недостатки. Так система, предложенная в [1], требует предварительного оборудования всех светофоров и автомобилей передатчиками wi-fi модулями gprs и другими дорогостоящими системами. Водители старых автомобилей вообще не смогут воспользоваться такой системой. В системе [2] существует ключевой недостаток – зависимость от погодных условий и дорожной обстановки. Дождь, снег, большегрузные автомобили могут перекрывать обзор камеры, и система не будет работоспособной. Система [3] требует монтажа сложных вспомогательных средств на каждом перекрестке. Система [4] требует настройки «зеленой волны» для светофоров и не может применяться там, где волну настроить нельзя. Предлагаемая в данной работе система избавлена от большинства недостатков таких систем и, что самое главное, не требует существенных затрат на свое внедрение.

Целью данной работы является создание мобильного помощника водителя для выбора стратегии вождения – (MAICODS - Mobile Assistant In Choice Of Driving Strategy), которая должна привести к упорядочиванию дорожного движения и повышению эффективности транспортной сети.

ОРИЕНТАЦИЯ ВОДИТЕЛЕЙ В ПРОСТРАНСТВЕ СТРАТЕГИЙ ВОЖДЕНИЯ

Идея мобильного помощника водителя (МПВ) для выбора стратегии вождения заключается в следующем. В настоящее время многие водители обладают телефоном / смартфоном / коммуникатором, которые оборудованы GPS-навигацией. Ситуация на рынке мобильных устройств очень динамична и можно ожидать появления в скором будущем таких устройств у абсолютно всех водителей. Система помощника водителя состоит из двух модулей – клиентского и серверного. Серверный модуль (СМ) располагается в специальном отделе ГАИ, который координирует светофорные объекты города. В этом отделе расположена автоматизированная система координации светофорных объектов (АСКСО), которая на специальном пульте отображает для оператора ГАИ текущее состояние транспортной системы города. СМ получает у АСКСО данные о

состоянии конкретного светофорного объекта (текущий сигнал светофора) или его параметры функционирования. На основании этих данных СМ строит карту состояний светофоров всего города в текущий момент времени. Далее данная карта передается посредством сети интернет на клиентские приложения водителей-пользователей.

Вторая часть системы МПВ является клиентским модулем (КМ) на личном смартфоне водителя. Каждый водитель может добровольно установить такое приложение на свой смартфон и сможет динамически получать карту состояний светофоров города. КМ считывает через интернет карту состояний светофорных объектов города, далее с помощью GPS-передатчика определяет свое текущее местоположение и параметры движения (скорость, ускорение). На основании этих данных КМ рассчитывает направление и скорость движения транспортного средства, далее определяет состояния светофорных объектов на пути следования и выводит на экран мобильного устройства рекомендованную стратегию вождения. Под стратегией вождения подразумевается скорость и ускорение движения, которые могут обеспечить безостановочный проезд светофорного объекта без снижения скорости и соответственно без потери энергоресурсов. Причем система учитывает параметры работы дополнительных секций светофора и рекомендует стратегии для всех возможных направлений движения водителя. На основании этих данных водитель выбирает оптимальную на его взгляд стратегию поведения и следует ей.

Рассмотрим более подробно поведение отдельных участников дорожного движения на участке дороги между двумя перекрестками, которые оборудованы светофорными объектами (рис. 1) с учетом предложенной системы.

Так как, светофоры работают в режиме жесткого регулирования движения, известны точные времена переключения сигналов светофора. Исходя из расстояния до перекрестка и скорости движения транспортного средства, для безостановочного проезда через перекресток формируется дискретное множество скоростей $\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$. Выбирая конкретную скорость из данного множества, водитель гарантирует проезд без остановки, при условии отсутствия чрезвычайных ситуаций.

Рассмотрим ситуацию автомобиля А1 (рис.1). В данной дорожной ситуации водителю автомобиля А1,

который находится очень близко к перекрестку, системой будет предложено несколько стратегий поведения:

S1, увеличить скорость движения до величины из множества $\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ км/ч

S2, уменьшить скорость движения до величины из множества $\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$ км/ч (На очень малых расстояниях минимальной величиной может быть 0 км/ч, что значит остановку транспортного средства).

S3, оставить скорость движения не изменой, так как она является оптимальной для проезда на зеленый сигнал светофора $\{v_i\}$

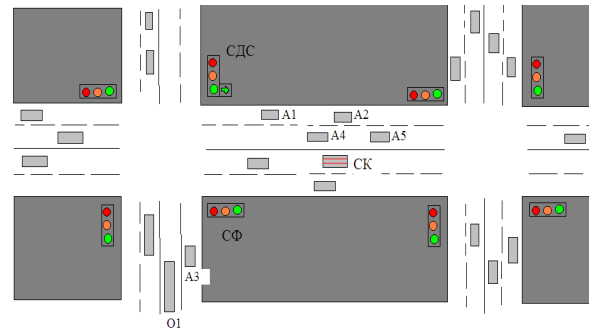


Рисунок 1 – Перегон магистрали между перекрестками

На основе данных рекомендаций водитель автомобиля А1 выберет наиболее оптимальную на его взгляд стратегию поведения. Водитель при выборе стратегии поведения будет учитывать правила дорожного движения (ограничение скорости движения), характеристики транспортного средства (расход топлива, динамику при ускорении, торможении и т.д.), погодные условия (сухой / мокрый асфальт, видимость и т.д.).

Вероятно в данном случае водитель автомобиля А1 выберет более высокую скорость (с учетом ПДД) для проезда перекрестка, чем автомобили А2, А4, А5. Водители автомобилей А2, А3, А4 находясь значительно дальше выберут меньшие скорости движения, что бы преодолеть перегон за время горения красного сигнала светофора. Причем, водитель А4 будет снижать скорость до некой величины v_i из множества S2 (стратегия снижения скорости) так как он ближе всех к перекрестку, водитель А2 сохранит свою скорость, выбрав стратегию S3. Водитель А5 увеличит скорость, выбрав стратегию S1. Таким образом, водители данных автомобилей сформируют так называемую пачку автомобилей, которая будет двигаться в наиболее оптимальном режиме.

В аналогичной ситуации окажется водитель автомобиля АЗ с той лишь разницей, что для него также будет предложена стратегия с учетом движения на дополнительную секцию. Водитель автобуса О1 учтет технические характеристики и расписание маршрута при выборе стратегии проезда перекрестка. Водитель скорой медицинской помощи СК выберет максимальную скорость движения с учетом дорожной обстановки для следования по вызову.

ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ И ИНТЕГРИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА С ПОМОЩЬЮ МПВ

Целью координированного регулирования является обеспечение безостановочного движения транспортных средств вдоль улицы или магистрали. Координация работы светофоров на соседних перекрестках обеспечивает уменьшение количества непроизводительных остановок и торможений в потоке, а также уровня транспортных задержек.

Условия движения транспортных средств в городах осложняются наличием регулируемых перекрестков, находящихся, как правило, на небольших расстояниях друг от друга (порядка 100-160 м). На рис. 2 приведена гистограмма распределения расстояний между регулируруемыми перекрестками в центре Москвы в пределах Садового кольца [5]. Работа светофорной сигнализации приводит к резкому изменению структуры и характера транспортных потоков, в которых появляются ярко выраженные группы автомобилей. От таких параметров групп, как расстояние между ними, плотность потока в группе, скорость распада и перемешивания (диффузия) групп зависит эффективность работы светофорной сигнализации. Параметры групп, природа диффузии отражают и непрерывные, и дискретные свойства транспортного потока.

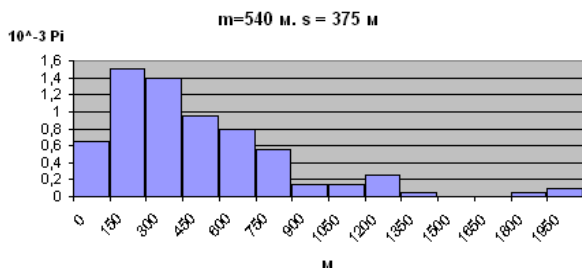


Рисунок 2 – Гистограмма распределения расстояний между регулируемыми перекрестками в центре Москвы в пределах Садового кольца

На рис. 3 приведен типичный пример диффузии группы автомобилей на одном из перегонов шоссе Энтузиастов в Москве [5]. По оси абсцисс отложено время, а по оси ординат объем движения в определенном сечении улицы, находящемся на заданном расстоянии от стоп-линии по ходу движения. Можно отметить, что в конце перегона на значительном расстоянии от предыдущей стоп-линии длина группы во времени увеличивается почти в 2 раза. Особенно сильно сказывается эффект диффузии групп при длинных перегонах между перекрестками, при наличии продольных уклонов дороги, при разнородном составе потока.

Случайный характер скоростей и ускорений автомобилей в потоке, приводящий к диффузии групп автомобилей, вызывает серьезные затруднения в управлении движением. Постоянная форма групп автомобилей и неизменность их скоростей позволили бы точно предсказывать моменты прохождения ими перекрестков и составить оптимальную программу работы светофоров. Диффузия групп вводит неопределенность в этот процесс, для количественной характеристики которой можно использовать понятие энтропии, применяемое для оценки неопределенности в термодинамике, теории информации и т.д.

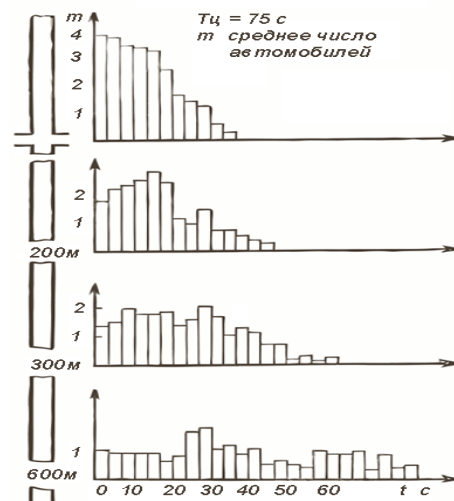


Рисунок 3 – Диффузия групп автомобилей на одном из перегонов шоссе Энтузиастов в Москве

Увеличение энтропии в данном случае означает увеличение неупорядоченности в движении автомобилей и случайности в форме их групп, а уменьшение энтропии — упорядочение потока, облегчающее

управление. Работа светофорной сигнализации по жесткой программе, приводящая к появлению характерных групп автомобилей, уменьшая энтропию, увеличивает упорядоченность движения на уличной сети города.

Но данное решение формировать группы (пачки) автомобилей, и тем самым организовывать определенный порядок в транспортном потоке, с использованием светофорной сигнализации сопряжен с экономическими и экологическими потерями, т.к. предполагает обязательную остановку транспорта перед светофором, где и формируются пачки. С использованием мобильного помощника водителя этот процесс возможно организовать непосредственно на перегоне магистрали. Для этого используется операция дифференцирования (разделения) длинной размытой пачки (см. рис. 3 последний фрагмент) на две пачки. Процесс деления выполняется, примерно, посередине размытой пачки.

Далее идет процесс интегрирования пачек, то есть разделенные пачки уплотняются и в дальнейшем каждая из них следует по маршруту как отдельная единица. Все эти операции, как дифференцирование, так и интегрирование выполняются по командам МПВ. Следуя указаниям МПВ процесс движения становится более упорядоченным, и даже, менее аварийным.

Помимо формирования групп (пачек) автомобилей имеется ещё один очень важный экономический фактор. Так на рис. 4 приведена группа автомобилей, которая остановилась перед светофором. В результате кинетическая энергия группы была впустую погашена. После стадии торможения идет стадия разгона при включении зеленого сигнала. И снова идут затраты топлива на восстановление первоначальной кинетической энергии. С МПВ проезд светофора произошел безостановочно, так как он подобрал бы для группы такую скорость движения по перегону магистрали, чтобы она выехала к светофору в момент загорания на нем зеленого сигнала.

Эффективность предложенной системы обусловлена в таком случае не только энергетическими соображениями (экономия топлива и ресурса автотранспорта) [6, 7], но и упорядочением всей транспортной системы на основе самоорганизации. Так должно уменьшиться количество ДТП, так как «лихачить» на дороге станет достаточно сложно ввиду существования плот-

ных пачек. Ключевыми достоинствами такого подхода является дешевизна и простота внедрения в существующую инфраструктуру.

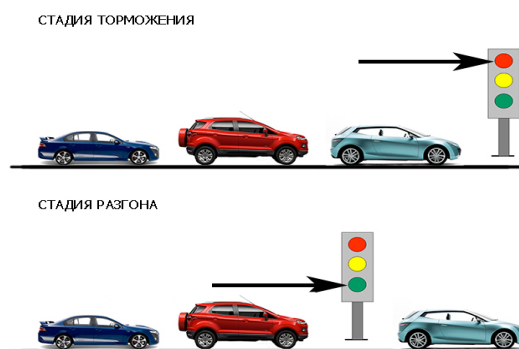
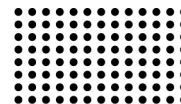
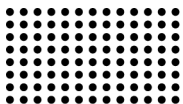


Рисунок 4 – Проезд перекрестка автомобилями

Постепенное увеличение числа водителей, использующих такую систему для выбора стратегии движения, приведет к возникновению так называемого коллективного поведения. Это обусловлено свойством мобилизации в теории коллективного поведения. Мобилизация – эффект коллективного поведения, который возникает, когда желания, устремления и осознание ситуации многими агентами направлены на определенный объект. В данном случае агентами являются водители, а действия их направлены на безостановочный проезд перекрестка.

На сегодняшний день задачи коллективного поведения описываются в теории мультиагентных систем (МАС). В основе большинства известных методов координации МАС, явно или неявно, лежит понятие "совместных обязательств" (commitments) агентов, которое постулирует необходимость выполнения агентом последовательности действий, ведущей к достижению predetermined цели в интересах сообщества агентов. В данном случае предложенная система выступает в роли «совместных обязательств», которые водители будут невольно выполнять, чтобы не простаивать на перекрестке. В свою очередь, водители, не обладающие смартфоном с такой системой, будут подстраиваться под поведение водителей, обладающих системой. Водителям – лихачам будет сложнее нарушить скоростные режимы, так как проскочить пачку плотно идущих автомобилей будет достаточно сложно и опасно. На основе этих внутренних факторов в системе автомоби-



ли-дороги-перекрестки возникает так называемая «самоорганизация».

Такой процесс самоорганизации приводит к качественному скачку в функционировании всей транспортной системы. Весь транспортный поток сам формирует для себя «зеленую волну». Эффективность предложенной системы обусловлена в таком случае не только энергетическими соображениями (экономия топлива и ресурса автотранспорта

ВЫВОДЫ

В данной работе предложена система поиска оптимальной стратегии поведения водителя для безостановочного проезда перекрестков города. Рассмотрены ее принципы действия и проанализированы результаты использования такой системы в рамках всей транспортной системы. При проезде регулируемого перекрестка в межфазовый светофорный период МПВ обеспечивает водителя четкими инструкциями о характере движения. Планируется разработка данной системы под все существующие мобильные

платформы для обеспечения максимальной доступности водителям. В дальнейшем будет проведено определение количественных характеристик эффективности работы такой системы в транспортной сети, построена более подробная модель самоорганизующейся транспортной системы.

Следует отметить, что улучшение транспортной системы в направлении модернизации внешних средств организации движением транспортных потоков уже исчерпала себя и не приносит существенных результатов. В такой ситуации более эффективной становится оптимизация поведения водителей во время движения (управление изнутри). Реализация такой системы основывается на уже существующей инфраструктуре мобильных устройств, которые есть сейчас практически у каждого. Предлагается принципиально новый подход и взгляд на транспортные потоки. Необходимо управление ими производить не столько извне, а изнутри, через водителя транспортного средства.

ЛИТЕРАТУРА:

1. O. Cassenbaum. Supervisory control of hybrid powertrains. Proceedings of the International Congress of Heavy Vehicles, Road Trains and Urban Transport, 6-9 October 2010, Minsk, Belarus.
2. Koukoumidis, Peh, Martonosi SignalGuru: Leveraging Mobile Phones for Collaborative Traffic Signal Schedule Advisory, MobiSys'11, June 28–July 1, 2011, Bethesda, Maryland, USA.
3. V. Egorov. Zelenaja volna. Rezhim dostupa: <http://icarbio.ru/articles/zelenaja-volna.html>, 08.09.2012.
4. A.G. Plotnikov. Ukazatel' Optimal'noj Skorosti. Rezhim dostupa: <http://delovar.info/idea/izobr/view=7924>, 08.09.2012.
5. Kremenec, Ju.A. Tehnicheskie sredstva regulirovanija dorozhnogo dvizhenija /Ju.A. Kremenec, M.P. Pecherskij. – M.: Transport, 1981. – S.138.
6. V.N. Lukanin i dr. Avtotransportnye potoki i okruzhajushhaja sreda – M: Infra-M, 1988.
7. Ju.A. Vrubeľ, D.V. Kapskij, E.N. Kot. Opredelenie poter' v dorozhnom dvizhenii. – Mn.: BNTU, 2006.

Рецензент: д.т.н., проф. Крючковский В.В., Херсонский национальный технический университет, Херсон.