

УДК 004.9

Е.Н. Прошкина, И.Ю. Балашова

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В ПОТОКЕ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

В статье рассмотрены вопросы моделирования и управления транспортным потоком в зависимости от текущей дорожной обстановки. Актуальность проводимого исследования обусловлена каждодневным ростом автотранспортного парка и, как следствие, возникновением заторовых ситуаций. Проведен анализ автоматизированных систем управления дорожным движением и технологий управления транспортными потоками. Рассмотрены алгоритмы адаптивного управления светофорными объектами. Предложен комбинированный метод адаптивного управления дорожным движением, основанный на методе разъезда очереди и методе поиска разрыва. Данный метод разработан для внедрения в интеллектуальную адаптивную систему управления дорожным движением. Применение предложенного метода позволяет управлять существующей дорожно-уличной сетью с учетом ее плотности и пропускной способности. Построена математическая модель выявления закономерностей в потоке движущихся объектов. Применение данной модели направлено на снижение вероятности возникновения заторовых ситуаций на контролируемых дорожных участках. Выполнено имитационное моделирование работы предложенного метода и метода с предустановкой значений фаз светофорного объекта. Доказана эффективность использования комбинированного метода, реализующего адаптивную модель установки фаз светофорных объектов, как при высокой, так и при малой загруженности дорожной сети.

Ключевые слова: метод разъезда очереди, метод поиска разрыва, адаптивная модель, локальное адаптивное управление.

Введение

При решении проблемы организации городского движения и управления транспортными потоками широко используют элементы интеллектуальной транспортной инфраструктуры. В основе работы любой интеллектуальной системы управления дорожным движением лежит алгоритм оптимизации управления сигналами светофоров. Наблюдаемое в течение суток изменение интенсивности движения требует соответствующего изменения длительности цикла и разрешающих сигналов светофорных объектов. Жесткое управление способствует снижению задержки, однако не является оптимальным, поскольку не способно учитывать кратковременные случайные колебания в числе автомобилей, подходящих к перекрестку. Повысить безопасность дорог и эффективность их использования позволяет использование систем адаптивного управления. Такие системы оперативно реагируют на изменение транспортной ситуации, выявляя закономерности в потоке движущихся объектов (транспортных средств) с помощью детекторов

транспорта, расположенных в зоне перекрестка и обеспечивающих непрерывную информацию о параметрах потока.

Условно адаптивное управление можно разделить на локальное и сетевое. В локальном адаптивном режиме перекрёсток руководствуется показаниями детекторов автомобилей, и регулирование на нём выполняется независимо от состояния соседних перекрёстков. В сетевом адаптивном режиме происходит обмен данными между смежными перекрёстками, за счёт чего управление является координированным и обеспечивает большую эффективность [1].

Целью исследования является построение модели потока движущихся объектов, поиска в нём закономерностей и нахождение оптимального метода управления данным потоком, направленного на избежание заторовых ситуаций.

Материалы и методы

Алгоритмы адаптивного управления светофорными объектами по способу переработки информации делят на три группы [2]:

– Алгоритмы, предусматривающие переключение сигналов светофора по информации о состоянии перекрестка в данном цикле регулирования.

– Алгоритмы статистической оптимизации, позволяющие по информации о состоянии перекрестка в данный момент определить параметры управления на следующий момент времени на основе вероятностного прогнозирования этого состояния.

– Алгоритмы случайного поиска. Параметры управления изменяются случайно с одновременным анализом критерия эффективности (например, задержки). Управление считается оптимальным при достижении максимума или минимума критерия эффективности (минимума задержки).

Реализация алгоритмов второй и третьей групп требует высокой вычислительной мощности. Поэтому для локального управления наиболее часто применяются алгоритмы первой группы, к которым относятся:

- алгоритм поиска разрыва в транспортном потоке в направлении действия разрешающего сигнала при фиксированных значениях управляющих параметров (время, определяющее разрыв в потоке, минимальная и максимальная длительность разрешающего сигнала);

- алгоритм поиска разрыва при переменных управляющих параметрах, зависящих от условий движения;

- алгоритмы сравнения транспортной задержки на подходе к перекрестку в направлении разрешающего сигнала с транспортной задержкой в конфликтующем направлении;

- алгоритм, предусматривающий лишь пропуск очередей, образовавшихся в период действия запрещающего сигнала (метод разъезда очереди) и др.

Каждый алгоритм обладает определенными ограничениями. Разработка метода, основанного на комбинации нескольких алгоритмов, позволит анализировать текущую дорожную обстановку, выявлять закономерности в транспортном потоке и на основе полученных и системно-проанализированных данных применять настройки управления светофорными объектами.

Математическая модель выявления закономерностей в потоке движущихся объектов. Разрабатываемая модель должна определять функционирование светофорных объектов (светофоров) в зависимости от текущей дорожной обстановки, динамически меняя значения фаз регулирования светофора. Таким образом, основной задачей работы модели является получение временных характеристик для разрешающей фазы сигнала светофора.

На первом этапе осуществляется подсчет количества транспортных средств N , ожидающих разрешающего сигнала и образующих очередь, начиная с первого контролируемого сечения – стоп-линии. Затем производится расчет минимального значения длительности разрешающего сигнала t_k^{\min} . Расчет данного параметра реализуется на основе учета количества транспортных средств, которым необходимо проехать расстояние от контролируемого сечения до стоп-линии с последующим ее пересечением [3]. Таким образом, минимальное значение длительности разрешающего сигнала t_k^{\min} напрямую функционально зависит от количества транспортных средств, образующих очередь N на контролируемом участке.

$$t_k^{\min} = f(N). \quad (1)$$

Чтобы установить минимально допустимое значение разрешающего сигнала t_k^{\min} , необходимо выяснить, сколько времени требуется транспортному средству, подъехавшему последним к фронту очереди, чтобы проехать дорожную развязку. Данная характеристика напрямую зависит от расстояния S , которое транспортное средство должно преодолеть с момента возобновления движения на разрешающий сигнал светофора до момента включения запрещающего движение сигнала. Место расположения последнего в очереди автомобиля от стоп-линии S_{in} определяется по следующей формуле:

$$S_{in} = N \times (L + d), \quad (2)$$

где N – количество автомобилей на одной полосе движения, подъехавших к перекрестку за время одного цикла работы светофорного объекта, ед.; L – средняя длина автомобиля; d – средняя дистанция между автомобилями.

Расчет t_k^{\min} производится с учетом задержки транспортного средства перед началом движения на разрешающий сигнал и последующий разгон:

$$t_k^{\min} = \sqrt{\frac{2 \times (S_{in} - S_{out})}{a}} + t_d, \quad (3)$$

где $(S_{in} - S_{out})$ – расстояние, преодолеваемое автомобилем, находящимся последним в очереди, с момента начала движения на разрешающий сигнал светофора до момента достижения границы, в которой у транспортного средства не будет технической возможности совершить остановку до стоп-линии, м; a – ускорение автомобиля, м/с²; t_d – время задержки начала движения последнего в очереди автомобиля, с:

$$t_d = N \times t_d^{cp}, \quad (4)$$

где t_d^{cp} – средняя продолжительность времени задержки начала движения каждого транспортного средства, находящегося в очереди, с (для расчетов примем среднее значение 1 с); S_{out} – дальность расположения транспортного средства относительно границы, при пересечении которой транспортное средство имеет право продолжить движение по дорожной развязке, м [4].

$$S_{out} = (t_1 + t_2 + 0.5 \cdot t_3) \cdot \frac{v}{3.6} + \frac{v^2}{26 \times G}, \quad (5)$$

где t_1 – время реакции водителя в сложившейся дорожно-транспортной ситуации, с (для расчетов примем среднее значение 0,6 с); t_2 – время задержки срабатывания тормозной системы транспортного средства, с (для расчетов примем среднее значение 0,1 с); t_3 – период, во время которого транспортное средство замедляется при сложившихся дорожных условиях, с (для расчетов примем среднее значение 0,35с); v – наиболее вероятная скорость транспортного средства, находящегося последним в очереди, достигнутая им к моменту включения запрещающего движения сигнала, км/ч (для расчетов примем среднее значение 40 км/ч); G – среднее

замедление транспортного средства при включении предупреждающего сигнала, m/c^2 .

На следующем шаге найденное значение параметра t_k^{\min} передается светофорному объекту. Производится запуск основного такта разрешающей фазы светофорного сигнала.

С началом нового такта в системе фиксируется прохождение транспортными средствами контрольного сечения. Каждый автомобиль, проходящий через контрольное сечение в период отработки основного такта, продлевает его минимальную длительность на величину экипажного времени $t_{эк.}$, в случае, если до окончания основного такта резерв меньше значения $t_{эк.}$. Тем самым транспортное средство обеспечивает себе проход через стоп-линию во время текущей разрешающей фазы.

Условием завершения работы модели является достижение максимальной длительности разрешающего сигнала t_k^{max} , либо отсутствие проезжающих контролируемое сечение транспортных средств после истечения параметра t_k^{\min} (появление разрыва). Как только фаза закончилась, производится переключение сигналов, и модель заново начинает свою работу.

При расширении работы модели с локального уровня до сетевого, необходимо производить нормирование въезда в зону затора, а также предотвращение блокирования направлений. Чтобы распределить нагрузку по сети и исключить блокирование дорожных узлов, можно прибегнуть к методу задержки включения разрешающего движения сигнала. Задержка в данном случае будет равна времени распространения фронта разъезда очереди по всему перегону. Либо применить сдерживание входящего в заторовую область транспортного потока с помощью включения в выбранных узлах укороченных разрешающих сигналов:

$$t_G^{short} = t_g^{\min} + \left(1 - \frac{I}{100}\right) \times (t_g^n - t_g^{\min}), \quad (6)$$

где t_G^{short} – длительность сокращенного зеленого сигнала; t_g^{\min} – минимальная длительность зеленого сигнала, определяемая экспертом с учетом особенностей строения контролируемого дорожного участка; I – весовой коэффициент (в случае, если был установлен факт возникновения транспортного затора, коэффициент увеличивается); t_g^n – нормальная длительность зеленого сигнала (среднестатистическое значение).

Имитационная модель потока движущихся объектов. Для исследования математической модели проведено имитационное моделирование работы перекрестка в среде AnyLogic (Рисунок 1).

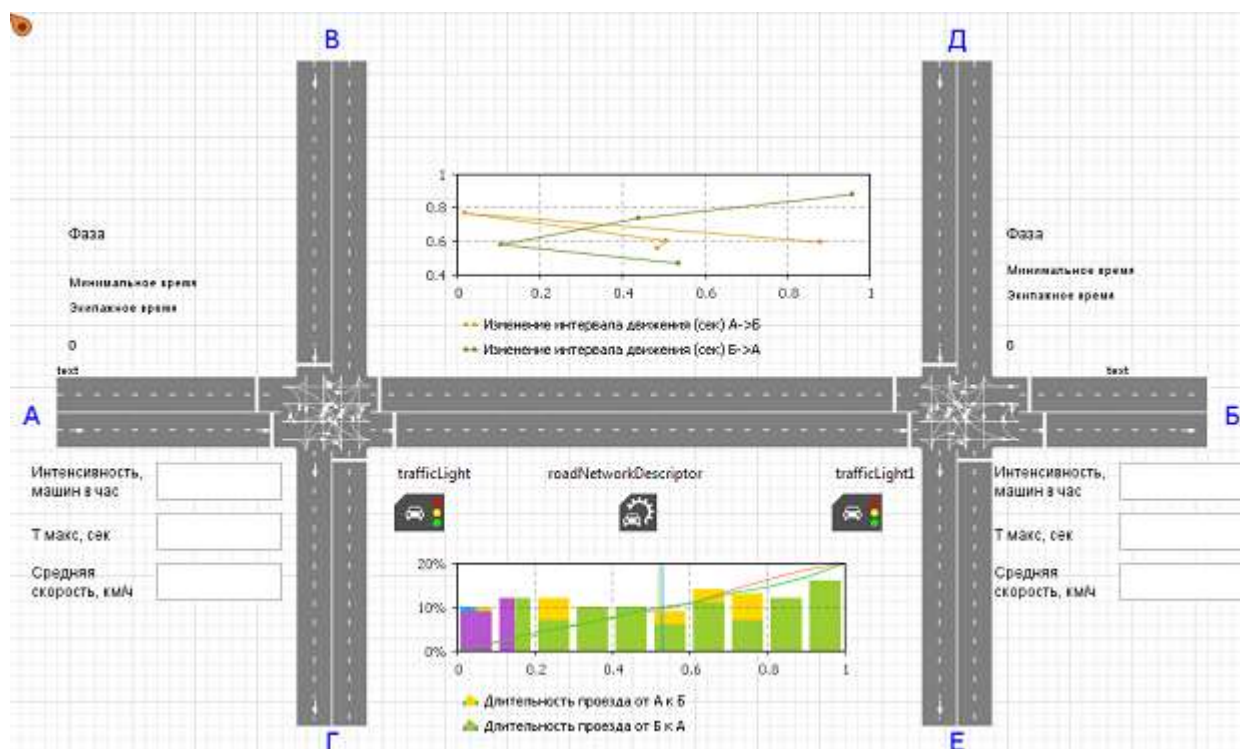


Рисунок 1 – Рабочая область в среде AnyLogic

Машины могут передвигаться в любом удобном для них направлении согласно заданным на перекрестке разметкам движения. Созданы агенты модели – машины, и построена схема их поведения (Рисунок 2), основными блоками которой являются:

- блок *carSource* – создает автомобили и перемещает их в пункт назначения;
- блок *carMoveTo* – управляет движением автомобиля;
- блок *carDispose* – удаляет машины из модели;
- блоки *TimeMeasureStart* и *TimeMeasureEnd* (на рисунке обозначены в виде часов со стрелкой) – позволяют измерять время, проведенное агентами между двумя точками диаграммы процесса. С их помощью измеряется время нахождения агента в системе или длительность пребывания агента в каком-то подпроцессе.

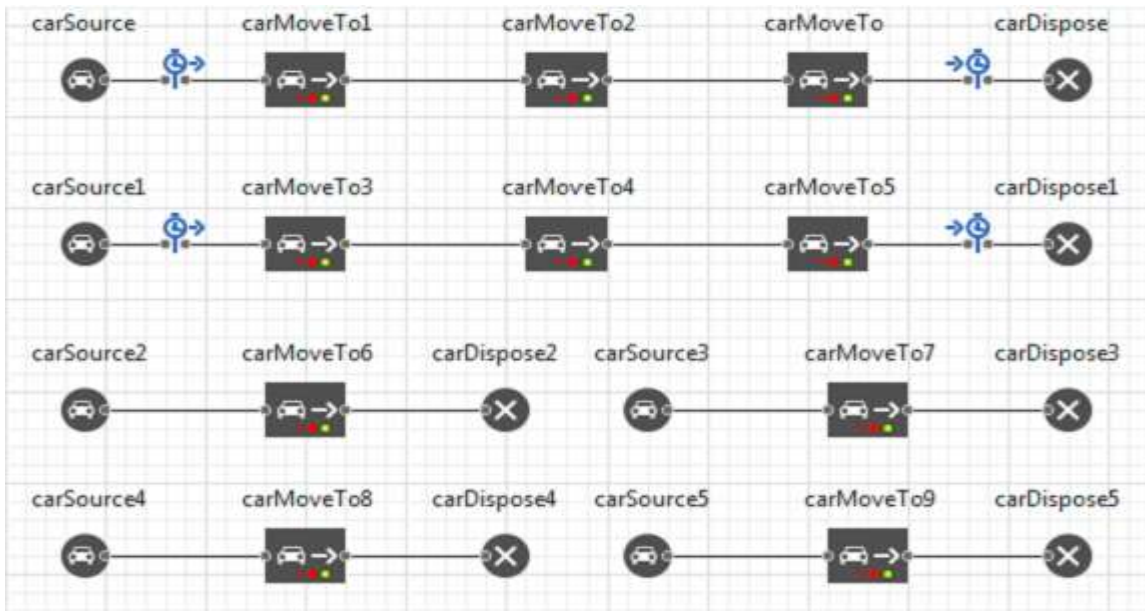


Рисунок 2 – Схема поведения агентов модели

Помимо адаптивной модели, также была построена модель работы обычного перекрестка с теми же значениями интенсивности, средней скорости потока, максимального времени разрешающей фазы, но с фиксированными значениями фаз, равных максимальному значению разрешающей фазы (было принято 60 с). Показателем эффективности данной модели является среднее время проезда из одного пункта в другой.

Результаты моделирования. На Рисунке 3 представлены результаты запуска адаптивной модели.

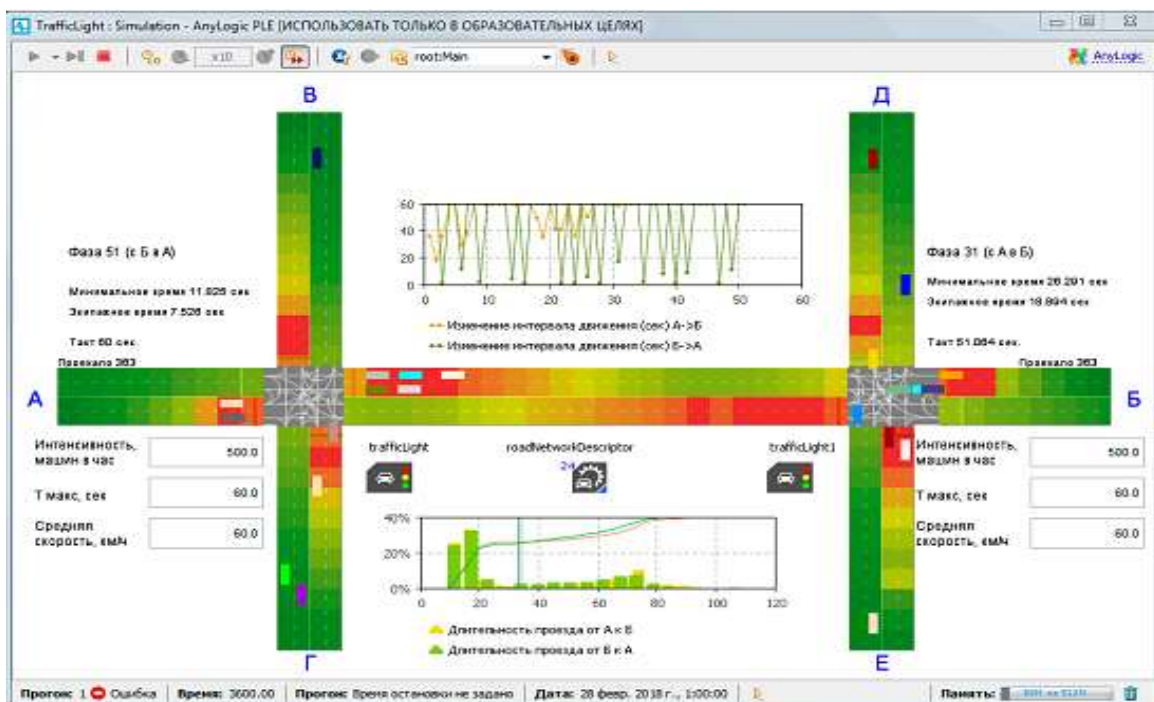


Рисунок 3 – Результаты запуска адаптивной модели

Как видно из графика, изменения интервала движения, длительность разрешающей фазы менялась в интервале от 0 (фаза пропускалась за отсутствием очереди) до 60 (максимально разрешенного времени). На графике длительности проезда горизонтальной линией показано среднее значение статистических параметров. Таким образом, среднее время проезда автомобиля перекрестка, регулируемого адаптивной моделью, составило около 35 секунд при средней скорости потока 60 км/ч и интенсивности движения 500 машин/час.

Результаты запуска модели неадаптивного алгоритма приведены на рисунке 4. График длительности проезда показывает, что среднее время проезда из одного пункта в другой увеличилось и почти приблизилось к отметке в 50с.

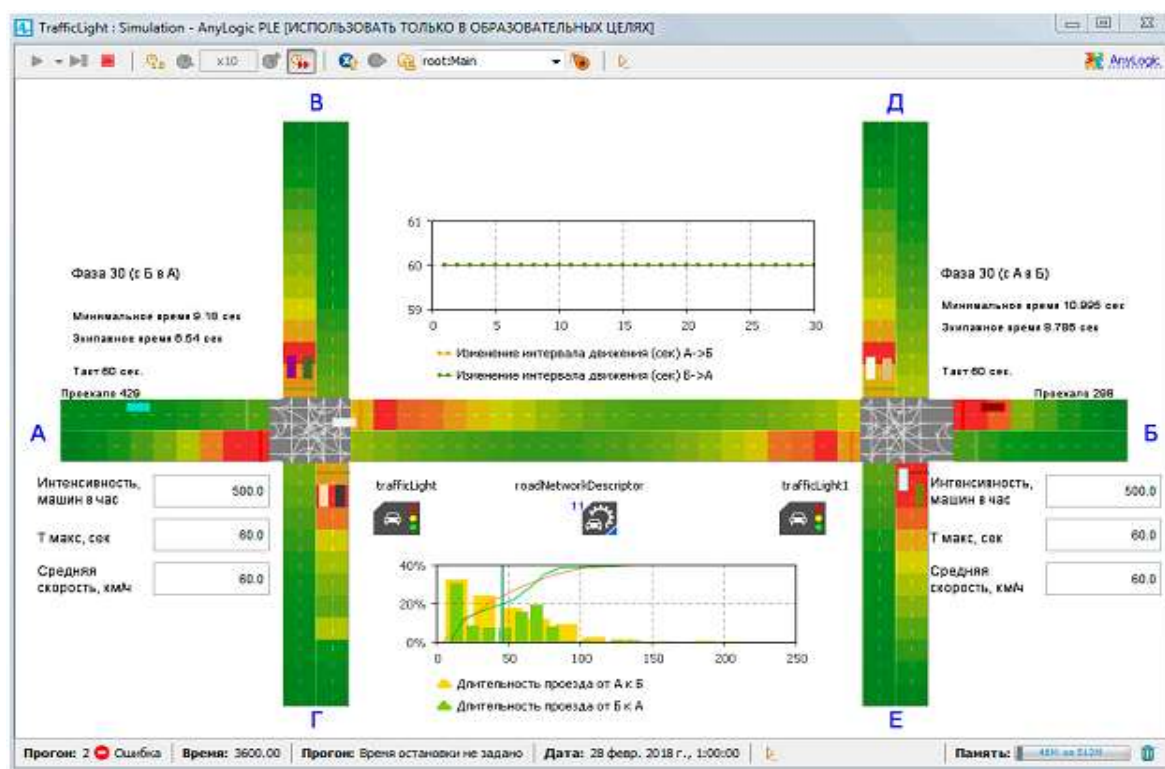


Рисунок 4 – Результаты запуска неадаптивной модели

Таким образом, можно сделать вывод, что адаптивная модель является эффективнее предустановленного управления светофорным объектом. Её применение в системах управления дорожным движением может поспособствовать минимизации заторовых ситуаций на дорогах, а так же предотвратить блокирование соседних регулируемых участков дорожной цепи.

Заключение

Проведен обзор существующих методов локального адаптивного управления дорожным движением. Предложен комбинированный метод, основанный на методе разъезда очереди и методе поиска разрыва,

позволяющий выявлять закономерности в потоке движущихся объектов и эффективно управлять им. Представлена математическая модель работы комбинированного метода. Выполнено имитационное моделирование в среде AnyLogic и показана эффективность работы метода при различной нагрузенности дорожной сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Титов А.Ю. Сравнительный анализ аппаратно-программных средств управления дорожным движением // ВПСУ-2014: труды XII всероссийского совещание по проблемам управления. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 864-870
2. Кретов Ю.А. Обзор некоторых адаптивных алгоритмов светофорного регулирования перекрестков / Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2013. – №7. – 61-67.
3. Ефимова Е.А. Сравнительный анализ создания имитационной модели пропускной способности городской транспортной сети / Е.А. Ефимова / Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2009. – № 1 (9). – С. 163-171.
4. Городкин В.А. Оптимизация работы светофорного объекта по основным тактам цикла / В.А. Городкин, З.В. Альметова, О.В. Леонова / Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2015. – № 4. – С. 67-76.

E. N. Proshkina, I. Y. Balashova

THE STUDY MODELS THE DETECTION OF REGULARITIES IN THE STREAM OF MOVING OBJECTS

Penza state University, Penza, Russia

The article deals with the modeling and management of traffic flow depending on the current road situation. The relevance of the study is due to the daily growth of the vehicle fleet and, as a result, the emergence of congestion. The analysis of automated traffic control systems and traffic flow control technologies is carried out. The algorithms of adaptive control of traffic light objects are considered. A combined method of adaptive traffic control based on the method of queue separation and the method of gap search is proposed. This method is developed for implementation in intelligent adaptive traffic management system. The application of the proposed method allows to manage the existing road network taking into account its density and capacity. A mathematical model of identifying patterns in the flow of moving objects is constructed. The application of this model is aimed at reducing the likelihood of congestion on controlled road sections. Simulation modeling of the proposed

method and method with preset phase values of the traffic light object is performed. The efficiency of using the combined method implementing an adaptive model of installation of phases of traffic lights, both at high and low traffic load is proved.

Keywords: method of travel of queue, the method of finding an open, adaptive model, local adaptive management.

REFERENCES

1. Titov A.Yu. Sravnitel'nyy analiz apparatno-programmnykh sredstv upravleniya dorozhnym dvizheniem // VPSU-2014: trudy XII vserossiyskogo soveshchanie po problemam upravleniya. – M.: Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2014. – pp. 864-870
2. Kretov Yu.A. Obzor nekotorykh adaptivnykh algoritmov svetofornogo regulirovaniya perekrestkov / Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2013. – No. 7. – pp.61-67.
3. Efimova E.A. Sravnitel'nyy analiz sozdaniya imitatsionnoy modeli propusknoy sposobnosti gorodskoy transportnoy seti / E.A. Efimova / Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki. – 2009. – No. 1 (9). – pp. 163-171.
4. Gorodkin V.A. Optimizatsiya raboty svetofornogo ob"ekta po osnovnym taktam tsikla / V.A. Gorodkin, Z.V. Al'metova, O.V. Leonova / Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya. – 2015. – No. 4. – pp. 67-76.