

УДК 004.414.32

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

Богданова И.Г., Михайлов Д.А., Семенов М.М.

ФГБОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет)», Самара,
e-mail: Irina.Bogdanova163@gmail.com

Статья посвящена вопросам управления транспортными потоками. Обоснована актуальность задачи управления транспортными потоками (ТрП). Проведены обзор существующих методов и моделей управления и их классификация. Методы управления ТрП классифицированы по критерию зонирования – на локальное и системное, по способу воздействия – на программное и адаптивное. Выявлены преимущества и недостатки каждого метода, конфликты целей локального и системного подходов. Предложены возможные решения урегулирования конфликтов, такие как программное управление (ПУ) со сменой программ координации по времени, ПУ со сменой программ координации по характеристикам ТрП, ПУ с общей коррекцией программ координации, комбинированное управление и управление в реальном масштабе времени. Выявлены критерии и факторы, определяющие эффективность управления транспортными потоками.

Ключевые слова: транспортный поток, управление, динамические характеристики, методы управления, модели, критерии эффективности

METHODS AND MEANS OF THE AUTOMATED INFLUENCE ON DYNAMIC CHARACTERISTICS OF TRAFFIC FLOWS

Bogdanova I.G., Mikhailov D.A., Semenov M.M.

Samara State Aerospace University n.a. S.P. Korolev, Samara, e-mail: Irina.Bogdanova163@gmail.com

Article is devoted to questions of management of transport streams. Relevance of a problem of management of traffic flows (TF) is proved. The review of the existing methods and models of management and their classification are carried out. Methods of management of TF are classified by criterion of zoning – on local and system, by a way of influence – on program and adaptive. Advantages and shortcomings of each method are revealed, the conflicts of whole of local and system approaches. Possible solutions of settlement of the conflicts, such as the program control (PC) with change of programs of coordination on time, PC with change of programs of coordination for characteristics of TF, PC with the general correction of programs of coordination, the combined management and management in real time are proposed. The criteria and factors defining effective management of transport streams are revealed.

Keywords: traffic flows, management, dynamic characteristics, methods of management, models, criteria of efficiency

Бесперебойное функционирование дорожно-транспортного комплекса является базовым условием устойчивого развития экономики и социального благополучия населения. Автомобилизация, играя положительную роль в развитии экономики города и общества, без соответствующего инфраструктурного подкрепления порождает ряд серьезных проблем в области дорожного движения, имеющих далекоидущие последствия для социальной и экономической сферы.

Для поиска эффективных стратегий управления ТрП в мегаполисе, оптимальных решений по проектированию улично-дорожной сети и организации дорожного движения необходимо учитывать широкий спектр характеристик ТрП, закономерности влияния внешних и внутренних факторов на динамические характеристики смешанного ТрП. Применение моделирования и создания адекватной модели ТрП является актуальной задачей в процессе организации и управления дорожным движением.

Для решения задачи моделирования и управления ТрП необходимо провести классификацию существующих методов и моделей управления. Классификация методов управления ТрП приведена на рисунке.

Различают локальное и системное управления. Локальное заключается в выработке воздействий в зоне одного перекрестка на основе статистически оцененных микро- или макрохарактеристик потока, основываясь на предположении о пуассоновском характере прибывающего ТрП. Целевая функция локального управления обеспечивает получение оценки эффективности функционирования одного перекрестка без учета соседних.

Любой модуль программной среды интеллектуальной транспортной системы, локализованный информационно, как программный эквивалент класса объектов предметной области «Организация дорожного движения», характеризуется триадой $\langle TypeOb, TFunction, Algorithm \rangle$, где $TypeOb$ – тип объектов класса, $TFunction$ – действия

над объектами – переменными типа *TypeOb*, *Algorithm* – схемы поведения объектов – экземпляров класса. *TFunction* и *TypeOb* экспортируются из модуля-класса, *Algorithm* инкапсулированы в нем, так что пассивация и активация элементов *Algorithm* вне модуля опосредована, – она производится через вызовы элементов *Tfunction*.

в цикле управления при отсутствии на соответствующих направлениях движения ТрС или пешеходов.

3. *Коррекция длительностей* – формирование длительностей фаз управления и формирование переходных интервалов, в течение которых происходит смена фаз управления [9].



Классификация методов управления транспортными потоками

Под расчетом управляющих воздействий на изолированном (локальном) перекрестке понимается нахождение цикла работы светофорного объекта, всех основных и промежуточных тактов, обеспечивающих оптимум некоторого критерия качества.

Задача локального управления на перекрестке разделена на несколько частных задач, решаемых в следующей последовательности:

1. *Фазообразование* – формирование фаз управления, т.е. совокупностей неконфликтующих направлений, по которым могут двигаться транспортные средства на перекрестке. Критерием качества фазообразования примем общее число фаз управления на перекрестке и уровень загрузки фазы транспортными средствами. Сокращение числа фаз уменьшает число переходных интервалов, увеличение загрузки фазы повышает пропускную способность перекрестка.

2. *Компоновка фаз* – формирование последовательности включения фаз управления. Возможны включения в цикл специальных фаз, рассчитанных на пропуск отдельных видов ТС – трамвая, специальных автомобилей, либо пропуск фазы

Системное управление обеспечивает оптимизацию движения транспортных потоков в зоне, включающей в себя множество перекрестков и, как правило, производится с учетом макрохарактеристик потоков. Причем изменение управляющих воздействий на одном перекрестке неизбежно вызывает изменение характеристик ТрП на соседних перекрестках. Метод состоит в решении системы уравнений для взаимосвязанных транспортных потоков, на входах зоны эти потоки считаются пуассоновскими с постоянной интенсивностью. Каждый перегон и каждый перекресток описывается уравнением преобразования ТрП с учетом того, что исходящий поток одного перекрестка является входящим для других смежных перекрестков.

Обычным является конфликт целей локального и системного управлений. Поэтому, если на улично-дорожной сети (УДС) применяются совместно оба метода управлений, они разделяются по времени действия. Время, отводимое для локального управления, выбирается таким образом, чтобы ограничить воздействие ТрП на соседних перекрестках. Как локальное, так и системное управления могут быть ре-

лизованы как «жесткими» алгоритмами, не учитывающими кратковременные флуктуации потоков, так и адаптивными алгоритмами, которые «следят» за прибытием и убытием ТрП. Оба эти вида управления имеют серьезные недостатки. Локальное изолированное управление обладает недостаточной точностью. Системное (сетевое) управление сводится к решению систем нескольких десятков и даже сотен уравнений, требующих большого количества исходной информации о параметрах ТрП: интенсивности потоков для всех перекрестков, доли поворотного движения на каждом из них, типовые маршруты движения ТрП и т.д. Трудоемкое «точное» решение системы сетевых уравнений оправдано лишь при высокой точности описания транспортной ситуации, т.е. при наличии элементов адаптации.

Разделение методов управления на программные (off-line) и адаптивные (on-line) является еще одним способом классификации. Программное управление базируется на статистической устойчивости характеристик ТрП и заключается в расчете управляющих воздействий – программ координации для заранее выявленных типовых ситуаций и дальнейшем введении в действие соответствующих воздействий при появлении на объекте ситуаций, близких к типовым. Суть адаптивных методов заключается в оперативном расчете или коррекции управляющих сигналов в реальном масштабе времени в соответствии с результатами измерения и анализа характеристик ТрП. Приведенная классификация не отражает всего многообразия методов управления. В каждом из них имеются алгоритмы, отличающиеся видом целевой функции, описанием характеристик ТрП.

Разновидностью системного управления со сменой программ координации является координированное управление, составляющее основу стратегии и тактики управления дорожным движением. За последние годы проводилось широкое исследование проблемы координированного управления ТрП. Накопленный материал позволил установить некоторые закономерности изменения физических характеристик ТрП. Схема управления должна быть пригодной для различных условий, но достаточно простой, чтобы гарантировать надежность. Сущность координированного управления сводится к обеспечению безостановочного проезда группы автомобилей с определенной скоростью через все регулируемые перекрестки магистрали.

В рамках системного координированного управления, когда на длительности

фаз накладываются большие ограничения с верхних уровней, данные алгоритмы функционируют в достаточно малых интервалах времени (15–20 мин).

Для больших районов управления задачи координированного управления целесообразно разделить на следующие:

1) выделение зон управления и оперативное формирование программ координации для каждой из них;

2) синхронизация программ координации (при условии равенства или кратности циклов управления).

Задачи системного управления ТрП взаимосвязаны между собой. В результате решения задачи высокого уровня определяется область ограничений для задач нижнего уровня. На задачи локального управления накладываются ограничения, определяемые на втором уровне переключения светофорных сигналов. На задачи второго уровня накладываются ограничения по циклу, определяемые в результате решения задач синхронизации программ координации. В свою очередь, задачи второго и третьего уровней решаются с учетом ограничений, вырабатываемых на верхних уровнях.

Целью расчета параметров светофорного регулирования при координированном управлении является определение длительности фаз и величин сдвигов фаз, обеспечивающих минимум обобщенного критерия, учитывающего величину задержек и число остановок ТрС на перекрестках магистрали.

Для расчета программ координации необходимо, чтобы исследуемый объект удовлетворял ряду требований [4]:

– интенсивность движения от 300 до 1000 авт/час на полосе движения (в приведенных единицах);

– количество полос – не менее двух, для осуществления маневров;

– диапазон длин перегонов до 1000 м;

– характер движения автомобилей на перегонах – групповой;

– отсутствие на перегонах помех движению (стоянки ТС, остановки общественного транспорта и т.д.).

Порядок расчета выглядит следующим образом:

– расчет длительности цикла на каждом перекрестке магистрали и выбор общего;

– расчет длительностей фаз на каждом перекрестке;

– расчет величин сдвигов фаз на каждом перекрестке.

Рассмотрим основные методы координированного управления на перекрестках [5].

Программное управление со сменой программ координации по времени. На

основании эпизодических измерений характеристик потоков и показателей качества производятся анализ эффективности действующих программ координации и сравнение их с контрольными значениями. Если эффективность недостаточна, то перерасчитывается «библиотека» управляющих воздействий и контрольных значений времени их действия. Ввод в действие программы координации происходит в определенные, заранее установленные моменты времени.

Программное управление со сменой программ координации по характеристикам транспортных потоков. Смена программ координации происходит автоматически на основе информации, получаемой в течение заданного периода времени. При принятии решения о смене программы координации учитывается наличие переходного интервала, которым характеризуется режим работы светофора. В течение переходного интервала эффективность управления резко снижается. Оценка длительности интервала может быть получена из условия обеспечения минимальной ошибки усреднения измеряемых параметров.

Программное управление с общей коррекцией программ координации. В течение периода квазистационарности управляющие воздействия корректируются на основе информации об объекте. Локальное гибкое управление – объединяет методы управления на отдельном перекрестке, когда запаздыванием выработки управляющих воздействий по отношению к измерению и анализу характеристик можно пренебречь.

Комбинированное управление. В современных автоматизированных системах управления дорожным движением обычным является совмещение выбора программ координации из «библиотеки», общая и местная гибкая коррекция.

Управление в реальном масштабе времени – такое системное управление, при котором запаздывание отработки управляющих воздействий, рассчитываемых в процессе функционирования системы управления, не превышает времени, в течение которого можно пренебречь нестационарностью транспортного потока.

Эффективность координированного управления повышается, если задачу расчета программ координации решать с учетом взаимного влияния соседних перекрестков, степени распада групп в зависимости от длины перегона, степени формирования групп в зависимости от величины сдвига фаз. Сущность компьютерных аналитических расчетов заключается в переборе ва-

риантов, в результате чего определяются управляющие параметры, соответствующие минимуму критерия эффективности:

$$D = \min_{\delta_i} \sum_{i=1}^n [f(D_i) + \phi(\bar{D}_i)],$$

где $f(D_i)$ – задержка ТрП на i -м перекрестке для прямого направления;

$\phi(\bar{D}_i)$ – задержка ТрП на i -м перекрестке для встречного направления.

Эффективность программ координации определяют следующие основные факторы:

- снижение уровня задержек ТС у перекрестков, обусловленное оптимизацией управления светофорной сигнализацией;

- увеличение средней скорости движения ТС на перегонах между перекрестками за счет уменьшения длин очередей у светофоров на красный сигнал и обеспечения минимально возможного числа прерывов в движении;

- сокращение числа неоправданных остановок в процессе движения, что приводит к уменьшению износа материальной части ТС и дорожных покрытий.

Список литературы

1. Богданова И.Г. Прогнозирование интенсивности движения на автомобильных дорогах мегаполиса / Т.И. Михеева, Д.А. Михайлов, С.В. Михеев, И.Г. Богданова // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2013): труды Международной научно-технической конференции / под ред. С.А. Прохорова. – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2013. – С. 254–257.
2. Гасников А.В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие / А.В. Гасников, С.Л. Кленов, Е.А. Нурминский, Я.А. Холодов, Н.Б. Шамрай; под ред. А.В. Гасникова. – М.: МФТИ, 2010. – 362 с.
3. Зырянов В.В. Моделирование транспортных потоков на городской сети / В.В. Зырянов, В.Г. Кочерга // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах. – СПб.: СПб. ГАСУ, 2006. – 371 с.
4. Каменев А.В. Управление транспортными потоками дорожной сети / А.В. Каменев, Д.С. Холодилов // Вестник Международной академии системных исследований. Серия: Информатика, экология, экономика. – 2014. – Т. 16, № 1. – С. 136–141.
5. Михайлов Д.А. Учет динамических характеристик транспортных потоков / И.Г. Богданова, С.В. Михеев, Д.А. Михайлов // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2014): труды Международной научно-технической конференции / под ред. С.А. Прохорова. – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2014. – С. 356–360.
6. Михеева Т.И. Структурно-параметрический синтез интеллектуальных транспортных систем – Самара: Самар. науч. центр РАН, 2008. – 380 с.
7. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов. – М.: Логос, 2013. – 188 с.
8. Cascetta E. Transportation systems analysis: models and applications // NY: Springer, 2009. – 752 p.
9. Kerner B.S. Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control: The Long Road to Three-phase Traffic Theory [Text] / B.S. Kerner. – Springer, 2009. – 271 p.
10. Yang W.-D. The Fusion Model of Intelligent Transportation Systems Based on the Urban Traffic Ontology /

W.-D. Yang, T. Wang // *Physics Procedia*. – 2012. – T. 25. – P. 917–923.

References

1. Bogdanova I.G. Prognozirovaniya intensivnosti dvizheniya na avtomobil'nyh dorogah megapolisa / T.I. Miheeva, D.A. Mihajlov, S.V. Miheev, I.G. Bogdanova // *Perspektivnye informacionnye tehnologii (PIT 2013): trudy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii* / pod red. S.A. Prohorova. Samara: Izdatel'stvo Samarskogo nauchnogo centra RAN, 2013. pp. 254–257.

2. Gasnikov A.V. Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnyh potokov: ucheb. posobie / A.V. Gasnikov, S.L. Klenov, E.A. Nurminskij, Ja.A. Holodov, N.B. Shamraj; pod red. A.V. Gasnikova. M.: MFTI, 2010. 362 p.

3. Zyrjanov V.V. Modelirovanie transportnyh potokov na gorodskoj seti / V.V. Zyrjanov, V.G. Kocherga // *Organizacija i bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya v krupnyh go-rodah*. SPb.: SPb. GASU, 2006. 371 p.

4. Kamenev A.V. Upravlenie transportnymi potokami dorozhnoj seti / A.V. Kamenev, D.S. Holodilov // *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii sistemnyh issledovanij*. Serija: Informatika, jekologija, jekonomika. 2014. T. 16, no. 1. pp. 136–141.

5. Mihajlov D.A. Uchjot dinamicheskikh harakteristik transportnyh potokov / I.G. Bogdanova, S.V. Miheev, D.A. Mihajlov // *Perspektivnye informacionnye tehnologii (PIT 2014): trudy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii* / pod red. S.A. Prohorova. Samara: Izdatel'stvo Samarskogo nauchnogo centra RAN, 2014. pp. 356–360.

6. Miheeva T.I. Strukturno-parametricheskij sintez intellektual'nyh transportnyh sistem Samara: Samar. nauch. centr RAN, 2008. 380 p.

7. Jakimov M.R. Transportnoe planirovanie: sozdanie transportnyh modelej gorodov. M.: Logos, 2013. 188 p.

8. Cascetta E. Transportation systems analysis: models and applications // NY: Springer, 2009. 752 p.

9. Kerner B.S. Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control: The Long Road to Three-phase Traffic Theory [Text] / B.S. Kerner. Springer, 2009. 271 p.

10. Yang W.-D. The Fusion Model of Intelligent Transportation Systems Based on the Urban Traffic Ontology / W.-D. Yang, T. Wang // *Physics Procedia*. 2012. T. 25. pp. 917–923.