

Поступила 24.10.2011

УДК 656.11:658.012

ЦЕНТРИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСА ИНТЕНСИВНОСТИ ДЛЯ АДАПТИВНОЙ НАСТРОЙКИ СДВИГОВ ФАЗ ПЛАНА КООРДИНАЦИИ

Канд. тех. наук, доц. ШУТЬ В. Н., асп. АНФИЛЕЦ С. В.

Брестский государственный технический университет

В системе дорожного транспорта, в которой осуществляется около 2/3 всего объема транспортного обслуживания, в той или иной форме работает до 8–10 % трудоспособного населения. В подсистеме дорожного движения, завершающей систему дорожного транспорта, каждый человек в среднем ежедневно находится около одного часа, т. е. до 7 % своего активного времени. Таким образом, дорожный транспорт и входящее в него дорожное движение являются одной из важнейших систем жизнеобеспечения современного общества. Развитие транспортной инфраструктуры, в том числе развитие улично-дорожной сети, всегда значительно отстает от роста количества автомобильного транспорта. Это приводит к увеличению загрузки уличной сети и снижению эффективности использования транспорта [1] из-за повышения следующих параметров:

- времени в пути;
- количества незапланированных остановок;
- расхода топлива;
- износа транспортных средств, улиц и дорог и т. п.

В этих условиях постоянно развиваются автоматизированные системы управления движением транспортных и пешеходных потоков в городах. Тенденция развития автоматических систем управления дорожным движением как в настоящее время, так и в перспективе может рассматриваться в двух направлениях.

Первое направление – совершенствование технического обеспечения систем управления за счет развития электронных вычислительных средств, аппаратуры передачи данных, широкого внедрения радиоканалов связи в звене «центр – периферия», в том числе и каналов сотовой связи, внедрения более совершенных средств отображения информации, расширения

парка используемых детекторов транспорта, наращивания интеллектуальных возможностей дорожных контроллеров.

Второе направление – наращивание выполняемых функций автоматической системы управления, обеспечивающих повышение качества обслуживания участников движения и внедрение автоматизированных методов контроля за движением. Развитие систем управления по второму направлению производится (и будет производиться) за счет реализации новых алгоритмов, соответствующих развивающейся технологии управления движением и сопряжения автоматических систем с другими системами, такими как [2]:

- природоохранные (экологические);
- контроль над выполнением положений правил дорожного движения (ПДД);
- управление городским пассажирским транспортом;
- управление парковками, в том числе стоянками (уличными, внеуличными), гаражами и паркингами;
- навигация и маршрутное ориентирование.

Практически повсеместно используемое в настоящее время жесткое программное управление светофорными объектами также не способно учитывать кратковременные случайные колебания числа автомобилей, подходящих к перекрестку.

Одним из способов, позволяющих сгладить проблему, связанную с суточными колебаниями интенсивностей, является использование многопрограммного жесткого регулирования [2]. Кроме того, для решения транспортных проблем в настоящее время активно развиваются различные системы адаптивного учета изменений в транспортных потоках.

Целью работ в данной сфере является оптимизация управления транспортными потоками на перекрестках [3]. Используя современное техническое обеспечение, а также алгоритмы адаптивного управления, можно значительно улучшить качество дорожного движения в городе.

Магистральные улицы – улицы со стабильно высокой транспортной нагрузкой или улицы с высокой загрузкой полос, как правило, магистрали общегородского, а в крупных городах районного значения. Они характеризуются напряженным движением с довольно высокой скоростью. Повсеместно, кроме разрешенных мест, запрещены остановка-стоянка и движение тихоходного транспорта. Допуск пешеходов на проезжую часть запрещен, кроме регулируемых пешеходных переходов, причем сделано это посредством ограждений и дорожных знаков на транспортных выездах. При въезде на знаках приоритета показана категория улицы.

В настоящее время на магистральных улицах применяется координированное регулирование, целью которого является обеспечение безостановочного движения транспортных средств вдоль улицы или магистрали. Координированное управление функционированием соседних светофорных объектов должно обеспечивать уменьшение количества непроизводительных остановок и торможений в потоке и как следствие транспортных задержек. Эффективность работы программы координированного управления на магистрали зависит от таких параметров, как расстояние между группами транспортных средств, плотность потока в группе, скорость распада и перемешивания пачек (групп автомобилей).

Однако изменение интенсивности и распределение групп на городских магистралях имеют характер нестационарных случайных процессов, которые не учитываются координированным управлением, что является основным недостатком. Этот недостаток частично компенсируется за счет многопрограммного координированного управления [3]. Еще один метод, который может частично восполнить данный недостаток, – это коррекция программ координации. И все же эти методы имеют недостатки, отображающиеся на потоках постоянной интенсивности, но изменяемой структурой распределения пачек

в потоке. Возможны варианты, когда устанавливается режим, при котором группа транспортных средств подходит позже начала разрешающего сигнала, тогда длительность фазы будет равна максимально возможной. Второй вариант, когда в установившемся режиме группы транспортных средств подходят до начала разрешающего сигнала. В таком случае происходит неоправданная задержка транспорта, движущегося по магистральной улице.

Предлагается алгоритм адаптивного регулирования, который подстраивается под структуру потока по магистрали. Алгоритм оптимизирует движение по магистрали, отдавая приоритет транспорту, движущемуся в транзитном направлении. Наблюдения на светофорных объектах (СФО) показали, что существующий сдвиг фазы не будет оптимален на всем протяжении суток. В табл. 1 приведено количество транспортных средств, проехавших светофорный объект на зеленый сигнал, и количество транспорта, подъехавшего на красный свет. Из данных видно, что распределение импульса интенсивности в цикле значительно сместилось на запрещающий сигнал.

Таблица 1

**Распределение числа транспортных средств
в фазе по циклам**

Номер цикла	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$N_{\text{зел}}$	10	19	10	17	13	17	7	9	13	7
$N_{\text{кр}}$	14	13	9	11	10	10	9	11	8	11

Отношение количества машин, подъехавших на красный сигнал, $N_{\text{кр}}$ к количеству машин, проехавших на зеленый сигнал, $N_{\text{зел}}$ характеризуется коэффициентом $k = N_{\text{кр}}/N_{\text{зел}} = [1,4; 0,68; 0,9; 0,64; 0,77; 0,59; 1,29; 1,22; 0,61; 1,57]$ (табл. 1). Среднее значение за десять циклов $k_{\text{ср}} = 0,97$. Ситуация в следующих десяти циклах на данном светофорном объекте сохранилась. Из этого следует, что необходимо ввести смещение так, чтобы увеличить пропуск основной массы транспортных средств за зеленый сигнал.

Таким образом, критерием необходимости новой подстройки СФО является коэффициент k . И если этот коэффициент в некоторый момент времени начинает превышать заранее

установленный уровень, то необходимо произвести коррекцию в сдвиге фаз СФО.

При создании адаптивной системы управления дорожным движением необходимо соблюдать принципы сбалансированности. Это включает в циклической реализации функций следующее:

- сбор информации;
- выбор управляющих воздействий;
- реализацию управляющих воздействий.

Все эти функции должны быть сопоставимы друг с другом по уровню качества, так как качество управления будет определяться качеством наихудшей функции.

Современные детекторы транспорта позволяют фиксировать не только наличие транспортных средств, но и подсчитывать их, фиксировать их скорость, а также состав транспортного потока. Предлагается алгоритм поэтапной настройки, который основывается на построении распределения импульса интенсивности в светофорном цикле. Для предлагаемого алгоритма предполагается использование в качестве детекторов транспорта системы детектирования на основе видеокамер. Различные алгоритмы цифровой обработки изображений и компьютерного зрения позволяют на сегодняшний день достаточно точно обнаруживать транспортные средства и измерять характеристики транспортного потока [4]. Применение систем видеодетектирования в дорожных контроллерах позволяет определять плотность потока транспортных средств по полосам, скорость и принадлежность к определенному классу, а также осуществлять видеообзор с любой выбранной камеры в реальном времени, проводить сбор и обработку накопленных данных, управлять данными детектирования.

Использование видеодетектирования обеспечивает эффективное управление движением транспортных и пешеходных потоков в городах при помощи средств светофорной сигнализации, видеоконтроля и регистрации нарушений на дорогах, контроля движения маршрутного транспорта.

Детекторы транспорта за дискретные интервалы времени фиксируют количество проходящего транспорта за светофорный цикл. Формируется набор

$$\vec{N}_0 = \vec{N}_1 + \vec{N}_2, \quad (1)$$

где $\vec{N}_1$ – набор значений интенсивности, характеризующий распределение импульса интенсивности за дискретные интервалы времени dt за разрешающий сигнал светофора; $\vec{N}_2$ – набор значений интенсивности, характеризующий распределение импульса интенсивности за дискретные интервалы времени dt за запрещающий сигнал светофора.

Первый этап работы алгоритма начинается с достижения таймером времени аналогично тому, что и в многопрограммном регулировании, т. е. когда предполагается смена транспортной ситуации (данные интервалы времени определяются из предпроектного обследования участка магистрали). На этом этапе рассчитывается коэффициент

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{n2} N_{2i}}{\sum_{i=1}^{n1} N_{1i}}, \quad (2)$$

где $n1$ – число выборок на разрешающий сигнал светофора; $n2$ – число выборок на запрещающий сигнал светофора.

Этот коэффициент определяет отношение интенсивности на запрещающий сигнал к интенсивности на разрешающий сигнал. Если данный коэффициент превышает допустимое значение, определенное для этой улицы, то алгоритм переходит ко второму этапу – алгоритму поэтапной настройки. Данный коэффициент определяется для перекрестков, находящихся на границе магистральной улицы, которые анализируют входной поток в систему координируемых перекрестков. Возможно вычислять данный коэффициент для каждого перекрестка в системе и сравнивать полученное среднее значение.

На втором этапе начинается поэтапная настройка светофоров по прямой волне. Для первого перекрестка в выбранном направлении определяется распределение импульса интенсивности $\vec{N}_0$, $\vec{N}_1$, $\vec{N}_2$.

Для обеспечения условия эффективного пропуска транспортного потока необходимо провести операцию центрирования. Суть опе-

рации заключается в смещении цикла регулирования относительно входного потока так, чтобы середина распределения импульса интенсивности располагалась в центре разрешающего сигнала (зеленого сигнала светофора). Для этого вводится переходной цикл для данного светофорного объекта. Для того чтобы внести смещение в существующий план регулирования, длительность переходного цикла необходимо увеличить на рассчитанное значение t_0 . По завершении этого переходного цикла устанавливается режим регулирования СФО на основе существующего плана координации.

Для расчета середины распределения импульса интенсивности относительно начала цикла регулирования можно использовать формулу центра масс системы материальных точек [5]

$$t_c = dt \left(\frac{\sum_{i=1}^{n1+n2} N_{0i} \cdot i}{\sum_{i=1}^{n1+n2} N_{0i}} \right). \quad (3)$$

Следовательно, смещение в цикле регулирования определяется (рис. 1)

$$t_0 = \left| \frac{t_z}{2} - t_c \right|, \quad (4)$$

где t_z – длительность разрешающего сигнала.

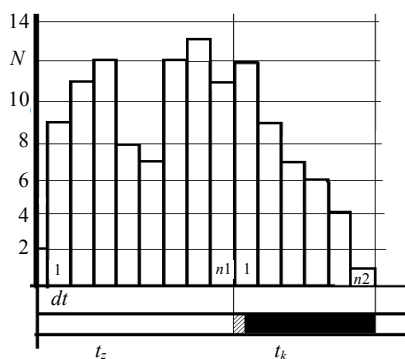


Рис. 1. Распределение импульса интенсивности на подходе к перекрестку

Соответственно параметры переходного цикла (T_{tr} , t_{ztr} , t_{ktr}) будут вычисляться по следующим формулам.

Длительность переходного цикла

$$T_{tr} = T_c + t_0, \quad (5)$$

где T_c – длительность цикла, установленная на данном СФО; t_0 – смещение в цикле регулирования, определенное ранее.

Длительность разрешающего сигнала в переходном цикле t_{ztr}

$$t_{ztr} = t_z + \frac{t_0}{2}, \quad (6)$$

где t_z – длительность разрешающего сигнала, рассчитанная для данного СФО.

Длительность запрещающего сигнала в переходном цикле t_{ktr}

$$t_{ktr} = t_k + \frac{t_0}{2}, \quad (7)$$

где t_k – длительность запрещающего сигнала, рассчитанная для данного СФО.

В следующий светофорный цикл проверяется условие

$$\left| t_c - \frac{t_z}{2} \right| \leq e, \quad (8)$$

где e – достаточное отклонение середины распределения импульса, с.

Если условие не выполняется, тогда необходимо выполнить пересчет интервала смещения. При успешной настройке данного светофорного объекта на входной поток в выбранном прямом направлении в следующей фазе алгоритма наступает настройка следующего по порядку в прямом направлении светофора. Таким образом, по всей магистрали настраиваются все светофорные объекты в этом направлении.

На третьем этапе происходит настройка светофорных объектов по обратной волне. Для этого распределение импульса в светофорном цикле заменяется суммарным распределением по обоим направлениям

$$N_i^* = \{N_{li}^f + N_{li}^b\}, \text{ при } i = \overline{1, n1}, \quad (9)$$

где N_i^* – суммарное распределение импульса интенсивности на подходе к перекрестку за разрешающий интервал светофорного цикла; N_{li}^f – количество транспортных средств, прошедших в прямом направлении за i -й интервал разрешающего сигнала; N_{li}^b – количество транспортных средств, прошедших в прямом направлении за i -й интервал разрешающего сигнала.

Аналогично вычисляют суммарное распределение импульса на подходе к перекрестку за запрещающий интервал светофорного цикла N_2^* . Суммарное распределение импульса интенсивности

$$N_0^* = N_1^* + N_2^*. \quad (10)$$

Тогда середина суммарного распределения импульса интенсивности относительно начала цикла регулирования рассчитывается

$$t_c^* = \frac{dt \sum_{i=1}^{n1+n2} N_{0i}^* \cdot i}{\sum_{i=1}^{n1+n2} N_{0i}^*}. \quad (11)$$

Далее, аналогично с настройкой по прямой волне, по формулам (4)–(8) рассчитывают параметры переходного цикла, тем самым настраивается каждый светофорный объект по магистральной улице в обратном направлении, и этим завершаются этапы настройки по данному алгоритму.

Для алгоритма пофазной настройки после установки в стабильный режим также можно применять алгоритмы для коррекции программы координации для дальнейшего использования детекторов в гибком регулировании. Возможно использование адаптивных алгоритмов стратегического управления, основанных на прогнозировании характеристик транспортных потоков [6, 7], для более точного определения длительностей фаз вдоль магистрали. Комплексное использование адаптивного алгоритма стратегического уровня и алгоритма поэтапной настройки фазы позволит значительно улучшить качество обслуживания на участке улично-дорожной сети.

ВЫВОДЫ

В условиях постоянной автомобилизации населения и соответственно роста нагрузки на магистральные улицы города, а также при постоянно меняющихся характеристиках транспортных потоков необходимо применение систем координированного регулирования, учитывающих наиболее точно параметры этих потоков. Многопрограммное координирован-

ное регулирование частично решает проблемы суточных колебаний в характеристиках транспортных потоков. Но программы координации, установленные на довольно долгий период, устаревают и становятся неэффективными. Постоянный пересчет данных программ тоже требует значительных затрат времени и средств. Требуется установка систем, использующих обратную связь с потоком, которая реализуется средствами детекторов транспорта.

Таким образом, развитие технической базы позволяет совершенствовать алгоритмы адаптивного управления и использовать их для более эффективного решения транспортных проблем. Данная система должна решать оптимизационные задачи, используя текущую информацию о транспортном потоке, на основе координированного и адаптивного управления. Существующие современные технологии детектирования позволяют с достаточной точностью определять параметры потоков.

В перспективе необходимо применять детекторы транспорта не только в алгоритмах адаптивного управления на перекрестке или магистрали, но и в общегородской системе. Например, использовать данные о потоках для разгрузки магистралей и загруженных улиц. Детекторы могут собирать необходимую статистику о потоках для архитектурно-планировочных решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Врубель, Ю. А. Определение потерь в дорожном движении / Ю. А. Врубель, Д. В. Капский, Е. Н. Кот. – Минск, 2003. – 21 с.
2. Воробьев, Э. М. Автоматизированные системы управления дорожным движением / Э. М. Воробьев, Д. В. Капский, Ю. И. Мосиенко. – Минск: ОАО «ТРОНТПРИНТ», 2005. – 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. Anfilets, S. V. Application of algorithms for searching motion in frame for the detection of vehicles / S. V. Anfilets, V. V. Kasyanik, V. N. Shuts // Proceedings of the 11th International conference Pattern Recognition and Information Processing, 2011. – P. 378.
5. Яворский, Б. М. Справочное руководство по физике / Б. М. Яворский, Ю. А. Селезнев. – М.: Наука, 1989. – 42 с.
6. Анфилец, С. В. Корректировка программы регулирования на перекрестке с использованием нейросетевого прогнозирования / С. В. Анфилец, В. В. Касьяник,

В. Н. Шуть // Нейрокомпьютеры и их применение: тез. докл. IX Всерос. науч. конф. – М., 2011.

Поступила 17.10.2011

7. **Traffic** Prediction and Management via RBF Neural Nets and Semantic Control / S. Massoud Amin [et al.] // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 1998. – P. 315.