

УДК 517.977.56, 519.876.5

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ НА БАЗЕ СИСТЕМЫ МИКРОСКОПИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

А. С. Голубков,

инженер, младший научный сотрудник

В. А. Царев,

канд. техн. наук, доцент

Институт менеджмента и информационных технологий

Череповецкий филиал Санкт-Петербургского государственного политехнического университета

Описаны состав и особенности функционирования современных автоматизированных систем управления дорожным движением. Предложен способ адаптивного управления дорожным движением на основе предсказания транспортных потоков и быстрых моделей оптимизации перекрестков. Представлены характеристики системы микроскопического моделирования транспортных потоков, применяемой в системе адаптивного управления дорожным движением.

Ключевые слова — адаптивное управление дорожным движением, оптимизация управления дорожным движением, моделирование транспортных потоков, микроскопическое моделирование.

Введение

В настоящее время во многих крупных городах весьма остро стоит проблема транспортных заторов. При этом исследования [1] показывают, что потенциал существующих улично-дорожных сетей (УДС) используется далеко не полностью. Повышение пропускной способности УДС может быть достигнуто за счет внедрения автоматизированных систем управления дорожным движением (АСУДД). При внедрении АСУДД достигается улучшение следующих показателей [2, 3]: время в пути транспортных средств (ТС) снижается на 10–15 %; количество общих транспортных остановок сокращается на 20–40 %; расход топлива снижается на 5–15 %, количество вредных выбросов в атмосферу сокращается на 5–15 %; повышается безопасность дорожного движения.

Современные АСУДД

Основными компонентами современных АСУДД [4] помимо светофоров и светофорных контроллеров являются:

1) детекторы транспорта (ДТ), обеспечивающие обнаружение ТС и подсчет их числа при движении по полосам;

2) одна или несколько ЭВМ для обработки данных с ДТ и расчета оптимальных управляющих сигналов;

3) совокупность программных средств, реализующих алгоритмы детектирования транспорта и оптимизации управления транспортными потоками;

4) средства информирования водителей ТС (различные информационные табло);

5) средства связи и телекоммуникации, используемые для объединения программно-аппаратных средств АСУДД в единую систему.

В современных АСУДД применяются различные типы детекторов транспорта: петлевые (индукционные); инфракрасные активные и пассивные; магнитные; акустические; радарные; видеодетекторы; комбинированные (в различных комбинациях ультразвуковые, радарные, инфракрасные и видеодетекторы). Все ДТ обладают различной эффективностью в различных условиях эксплуатации [5]. Однако в связи с достигнутым высоким уровнем развития вычислительной и телевизионной техники во многих случаях наиболее предпочтительными являются видеодетекторы на основе технологий обработки и анализа изображений, а также комбинации видеодетекторов с детекторами других типов.

В существующих АСУДД тех или иных производителей используются в различных комбинациях три основных способа адаптивного управления транспортными потоками [2].

1. Метод управления с использованием библиотек, характеризуемый предварительным расчетом множества планов координации и переключением их на основании текущих усредненных показаний стратегических ДТ путем выбора из библиотеки соответствующего подходящего плана.

2. Метод актуального управления, характеризуемый предварительным расчетом планов координации светофоров, переключением их по календарному графику и реализацией изменений в этих планах в соответствии с транспортными запросами, фиксируемыми локальными детекторами на отдельных направлениях.

3. Метод адаптивного управления, характеризуемый постоянным пересчетом планов координации и календарных режимов на основании информации, получаемой с локальных и стратегических (путевых) детекторов в режиме реального времени.

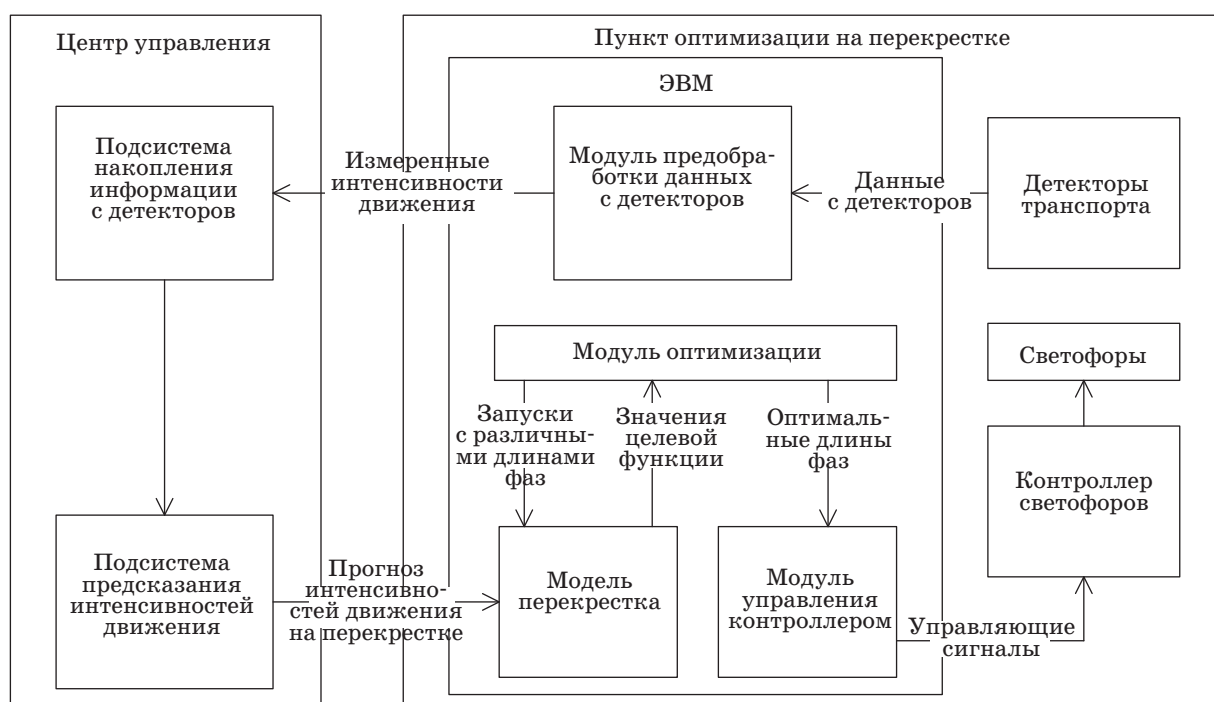
Оптимизация управления транспортными потоками в современных АСУДД производится различными методами. В системе Balance (Германия) [6] применяются генетические алгоритмы оптимизации. В системе Utopia (Нидерланды) [7] производится расчет на основе ценовой функции, учитывающей время задержки, число остановок, специфические приоритетные требования, взаимное расположение перекрестков. В системе «Спектр» (Санкт-Петербург, Россия) [8] ис-

пользуются следующие алгоритмы: поиск разрывов потока транспорта; расчет по формуле Вебстера; переключение программ по интенсивностям. В АСУДД производства ОАО «Электромеханика» (Пенза, Россия) [9] используется следующее алгоритмическое обеспечение: алгоритм поиска разрыва потоков транспорта; поиск разрыва с сохранением общей длительности цикла координации; алгоритм переключения заранее рассчитанных режимов по контрольным точкам интенсивности движения транспорта; алгоритм динамического перерасчета параметров цикла на основе формулы Вебстера. В АСУДД «Агат» (Минск, Белоруссия) [3] используются следующие эвристические алгоритмы управления: выбор плана координации по карте времени; выбор фазы, режима по плану координации; выбор плана координации по параметрам движения в характерных точках и др.

Авторами данной статьи предлагается алгоритм адаптивного управления транспортными потоками на основе краткосрочного предсказания интенсивностей транспортных потоков и моделей оптимизации перекрестков.

Адаптивное управление транспортными потоками на основе моделей оптимизации перекрестков

Разрабатываемая система управления дорожным движением (рисунок) состоит из одного центрального пункта и множества локальных пун-



■ Схема системы адаптивного управления дорожным движением

ктов управления, число которых соответствует числу управляемых перекрестков в системе. Все локальные пункты имеют соединение по каналам связи с центральным пунктом управления.

Центральный пункт управления выполняет функции сбора и обработки информации об интенсивностях движения транспортных средств в УДС. Обработка информации представляет собой предсказание величин транспортных потоков на основе следующих данных:

- текущих интенсивностей транспортных потоков;
- скоростей движения ТС;
- расстояний между смежными управляемыми перекрестками в системе;
- предсказания маршрутов движения ТС на основе статистики для текущего дня недели и времени суток;
- текущих длин фаз светофорных объектов на перекрестках УДС.

Локальные пункты в системе выполняют непосредственно оптимизацию управления транспортными потоками на соответствующих перекрестках. В состав каждого локального пункта управления входят:

- детекторы транспорта;
- ЭВМ, выполняющая предобработку данных с ДТ, если это необходимо, и оптимизацию управления транспортными потоками;
- контроллер светофоров, допускающий внешнее задание длин фаз светофорного объекта;
- светофоры.

В качестве ДТ предлагается использовать видеодетекторы. В этом случае сигнал с видеокamer поступает в ЭВМ локального пункта управления, где программный модуль предобработки выполняет анализ видеоизображений и оценку интенсивностей транспортных потоков на всех контролируемых полосах. Далее интенсивности транспортных потоков передаются в центральный пункт управления.

Оптимизация управления транспортными потоками производится следующим образом. В ЭВМ имеется точная программная микроскопическая модель перекрестка. При расчете оптимальных длин фаз для следующего фазового цикла управления светофорным объектом (длительность фазового цикла составляет, как правило, 2–5 мин) выполняются следующие действия.

- В модели задаются входные интенсивности транспортных потоков на следующие 5 мин (прогноз интенсивностей от центрального пункта управления) с точностью до отдельного ТС.
- Модуль оптимизации запускает прогоны модели перекрестка длительностью 5 мин модельного времени, для каждого прогона задает новые длины фаз модельного светофорного объекта

и рассчитывает по результатам каждого прогона значение целевой функции.

- В результате цикла оптимизации, состоящего из нескольких прогонов модели, модуль оптимизации находит оптимальные длины фаз модельного светофорного объекта, соответствующие экстремуму целевой функции поиска.

Длины фаз светофорного объекта представляют собой вектор параметров оптимизации $\Phi = (\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4)$ (на крестообразном перекрестке обычно задается не более четырех фаз). В качестве целевой функции $F(\Phi)$ может служить среднее время ожидания проезда перекрестка ТС. Критерием оптимизации в этом случае будет минимум среднего времени ожидания проезда

$$\min_{\Phi \in \Phi} F(\Phi) = F(\Phi^*),$$

где Φ — допустимое множество значений координат вектора длин фаз; Φ^* — вектор оптимальных значений длин фаз. Допустимое множество значений координат вектора длин фаз имеет следующий вид:

$$\Phi = \{\varphi | T_{\min} \leq \varphi_i \leq T_{\max}, i = 1, \dots, 4\} \subset R^4,$$

где T_{\min} и T_{\max} — соответственно минимальное и максимальное значения длины фазы.

Расчет производных целевой функции на модели является невозможным, поэтому в качестве методов оптимизации могут быть использованы только прямые методы. Предложено применение поочередного циклического варьирования длин фаз светофорного объекта от прогона к прогону с постоянным шагом по длине фазы. Длина шага варьирования длин фаз может быть задана равной 2–3 с.

Необходимым условием возможности реализации описанной системы адаптивного управления дорожным движением является наличие системы микроскопического моделирования транспортных потоков, скорость работы которой была бы достаточной для выполнения оптимизации длин фаз светофорного объекта за время одного фазового цикла.

Система микроскопического моделирования транспортных потоков

Авторами статьи разработана система микроскопического моделирования транспортных потоков в УДС, которая может быть использована для оптимизации управления транспортными потоками в составе системы адаптивного управления дорожным движением. Главной особенностью системы моделирования является применение дискретно-событийного подхода в моделиро-

вании [10, 11], благодаря чему система имеет высокое быстродействие.

Быстродействие системы оценено в серии экспериментов с моделями отдельных типовых перекрестков. Эксперименты выполнены на компьютере с процессором Intel Core 2 Quad Q6600 с частотой каждого ядра 2,4 ГГц (реально в экспериментах использовалось только одно ядро, так как моделирование выполняется в один программный поток). В результате моделирование транспортных потоков через единичный перекресток в течение 45 сут (3 888 000 с) заняло 2864 с процессорного времени. Таким образом, превышение скорости моделирования над скоростью течения реального времени составило $3\,888\,000/2864 \approx 1358$ раз, т. е. за время реального фазового цикла на перекрестке модуль оптимизации способен выполнить более 1300 прогонов оптимизационного эксперимента.

Особенностью дискретно-событийного подхода в моделировании является независимость результатов моделирования от скорости выполнения модели, т. е. даже в режиме полной загрузки процессора моделирование покажет совершенно идентичные результаты результатам выполнения, например, в режиме реального времени.

Напротив, в системно-динамическом подходе при ускорении моделирования посредством увеличения шага дискретизации по времени точность моделирования падает. Системно-динамический подход [12] реализует подавляющее большинство современных систем микроскопического моделирования транспортных потоков: Aimsun (Испания) [13], Paramics Modeler (Шотландия) [14], DRACULA (Великобритания) [15], TransModeler (США) [16], VISSIM (Германия) [17]. Во всех перечисленных системах моделирования используется шаг дискретизации по времени 0,1–1,0 с.

В системно-динамической дорожно-транспортной модели шаг моделирования по времени, равный 1 с, вполне способен лишить модель адекватности. Так, ТС на скорости 60 км/ч за 1 с преодолевает более 16 м пути, т. е. на типовых скоростях движения модельное ТС позиционируется лишь с точностью порядка 10 м.

В предложенной дискретно-событийной модели точность позиционирования модельных объектов остается постоянной практически при любой скорости и зависит от разрядности использу-

емых переменных и типа выполняемых над ними арифметических операций. При использовании чисел с плавающей запятой двойной точности (64 бита, 15 значащих десятичных цифр мантисы) точность позиционирования модельных ТС в дискретно-событийной модели в любой момент времени составит не более 1 см.

Заключение

Предложенная система адаптивного управления дорожным движением способна продемонстрировать высокую эффективность благодаря исчерпывающей оптимизации каждого отдельного перекрестка и учету транспортных потоков между соседними перекрестками с точностью до отдельных ТС. При наличии в УДС по какому-либо направлению транспортного потока высокой плотности происходит автоматическая подстройка управления на всех смежных перекрестках с организацией на данном направлении зеленой волны. При этом оптимизации подвергаются и все прочие направления с транспортными потоками меньшей плотности.

Оптимизация управления каждым отдельным перекрестком в реальном времени является возможной благодаря использованию системы микроскопического дискретно-событийного моделирования транспортных потоков в УДС, разработанной авторами статьи. Данная система моделирования вследствие применения дискретно-событийного подхода обладает высокой производительностью и точностью. В ближайшее время на сайте разработчиков [18] будет доступна ознакомительная версия системы моделирования.

Качество оптимизации управления транспортными потоками в высокой степени зависит от точности предсказания плотности потоков транспорта. При этом точность предсказания тем выше, чем меньше временной интервал предсказания. При использовании на локальных перекрестках аппаратного обеспечения достаточной производительности пересчет оптимальных длин фаз цикла регулирования светофорного объекта может производиться с началом каждой следующей фазы. В этом случае реально используемый временной интервал предсказания сократится до длительности одной фазы, т. е. до 15–100 с, в результате чего повысится эффективность оптимизации.

Литература

1. Бродский Г. С., Айвазов А. Р. Автоматизированное управление дорожным движением в городской среде // Мир дорог. 2007. № 26. С. 2–3.
2. Бродский Г. С., Рыкунов В. В. Поехали! АСУДД — мировой опыт и экономический смысл // Мир дорог. 2008. № 32. С. 36–39.

3. ГНПО АГАТ. <http://www.agat.by> (дата обращения: 16.06.2010).
4. **Crowdhury M. A., Sadek A.** Fundamentals of Intelligent Transportation System planning. — Boston — London: Artech House, 2005. — 190 p.
5. **Кременец Ю. А., Печерский М. П., Афанасьев М. Б.** Технические средства организации дорожного движения. — М.: Академкнига, 2005. — 279 с.
6. **GEVAS software: Traffic Control.** <http://www.gevas.eu/index.php?id=149&L=1> (дата обращения: 16.06.2010).
7. **УТОPIA — Peek Traffic.** <http://www.peektraffic.nl/page/484> (дата обращения: 16.06.2010).
8. **ЗАО «РИПАС»:** Разработка и производство автоматизированных систем. <http://www.ripas.ru> (дата обращения: 16.06.2010).
9. **АСУДД — ОАО «Электромеханика».** <http://www.elmeh.ru/catalog/3/asud> (дата обращения: 16.06.2010).
10. **Карпов Ю. Г.** Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 400 с.
11. **Советов Б. Я., Яковлев С. А.** Моделирование систем. — М.: Высш. шк., 2001. — 343 с.
12. **Nagel K.** High-speed microsimulations of traffic flow. Thesis: University Cologne, 1995. — 202 p.
13. **Aimsun.** The integrated transport modeling software. <http://www.aimsun.com> (дата обращения: 20.05.2010).
14. **Quadstone Paramics.** Traffic Simulation Solutions. <http://www.paramics-online.com> (дата обращения: 20.05.2010).
15. **SATURN Software Web Site.** <https://saturnsoftware.co.uk> (дата обращения: 20.05.2010).
16. **TransModeler Traffic Simulation Software.** <http://www.caliper.com/transmodeler/> (дата обращения: 20.05.2010).
17. **PTV Vision — транспортное планирование.** <http://www.ptv-vision.ru> (дата обращения: 20.05.2010).
18. **Компания «Малленом».** <http://www.mallenom.ru> (дата обращения: 20.05.2010).

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Каждому из Вас необходимо зарегистрироваться на сайте РУНЭБ (<http://www.elibrary.ru>) с тем, чтобы Вам присвоили индивидуальный цифровой код (при регистрации код присваивается автоматически), что обязательно для создания корректной базы данных РУНЭБ, объективно отражающей информацию о Вашей научной активности, а также для подсчета Вашего индекса цитирования (РИНЦ).