



6. Головнин, О.К. Функциональные программные составляющие интеллектуальной транспортной системы / Т.И. Михеева, О.К. Головнин // ПИТ 2013 : труды Международной научн.-техн. конф.. – Самара : Изд-во СНЦ РАН, 2013. – С. 273–276.

7. Сапрыкин О.Н., Михеева Т.И., Головнин О.К., Паттерны визуализации пространственно-координированных данных / ПИТ-2014. Труды междунаучно-техн. конф. Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2014. С.360-362.

8. Михеева Т.И., Михеев С.В., Михайлов Д.А. К вопросу об измерении интенсивности транспортных потоков и визуализации в ITSGIS / Актуальные проблемы автотранспортного комплекса: межвуз. сб. науч. статей. - Самара, Самар. гос. техн. ун-т, 2011. – С. 180-186.

9. Осьмушин, А.А. Обмен информацией V2I в геоинформационной транспортной системе в условиях критических ситуаций / С.В. Михеев, А.А. Осьмушин, О.К. Головнин // Известия СНЦ РАН. – 2014. – Т. 16, № 4 (2). – С. 399–403.

10. Федосеев, А.А. Технология Data Mining в задачах прогнозирования развития транспортной инфраструктуры [Электронный ресурс] / А.А. Федосеев, С.В. Михеев, О.К. Головнин // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1. – Режим доступа : <http://www.science-education.ru/107-8153>.

11. Головнин, О.К. Геоинформационная система закрепления территорий на электронной карте / Т.И. Михеева, О.К. Головнин // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем: межвузовский науч. сборник. – Уфа: Изд-во УГАТУ, 2014. – С. 23-28.

С.В. Михеев

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КООРДИНИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ

(Самарский национальный исследовательский университет
им. акад. С.П. Королева)

Постоянное усложнение дорожно-транспортных условий требует непрерывного совершенствования методов и средств управления транспортными потоками. Актуальной является проблема создания гибкой технологии, обеспечивающей проведение компьютерных экспериментов в предметной области (ПрО) «Управление транспортными потоками», и имеющей эффективную реализацию в современной геоинформационной среде, легко адаптирующейся к задачам исследования ПрО. Эта проблема связана с использованием методов и инструментальных средств, позволяющих разрабатывать технологии компьютерного исследования с полным учетом свойств ПрО и профессионального кругозора исследователя.

В качестве методологической основы компьютерной технологии управления транспортными потоками (ТрП) резонно использовать таксономические



модели сложноорганизованной интеллектуальной транспортной геоинформационной среды «ITSGIS», которые с одной стороны органично связаны с иерархической декомпозицией ПрО, а с другой – имеют адекватную реализацию в виде механизмов наследования:

- геоинформационные таксономические технологии [1] позволяют проводить исследования транспортных потоков в естественных категориях предметно-ориентированного лексикона пользователя-исследователя без знания технологических аспектов программирования;
- объектно-ориентированные имитационные технологии исследования отличаются от существующих наличием гибкой инструментальной среды, допускающей простую модификацию и расширение спектра исследовательских задач и наличием адаптивного управления транспортными потоками [2];
- геоинформационный анализ и таксономическое проектирование позволяют создавать эволюционную технологию моделирования поведения транспортных потоков на улично-дорожной сети города; такая технология в отличие от существующих имеет возможность не только получать в имитационном эксперименте новые знания о различных объектах транспортной инфраструктуры, но и использовать их для развития технологии проектирования и исследования путем уточнения и расширения понятийных основ ПрО [3];
- использование сетецентрического координированного управления транспортными потоками на улично-дорожной сети (УДС) [4] города приведет к упорядочиванию транспортных потоков, увеличению пропускной способности транспортной сети и улучшению экологической ситуации за счет сокращения транспортных задержек.

Применение сетецентрического управления ТрП в среде интеллектуальной транспортной геоинформационной системы «ITSGIS» обеспечивает [5]:

- повышение безопасности дорожного движения;
- увеличение пропускной способности транспортной сети;
- снижение задержек транспорта на перекрестках;
- увеличение эффективности использования дорожно-уличной сети;
- снижение расхода горюче-смазочных материалов;
- оздоровление экологической обстановки;
- повышение оперативности управления движением.

В рамках сетецентрического подхода «ITSGIS» изначально построена как распределенная, открытая для наращивания и состоящая из автономных, но согласованно и координировано действующих интеллектуальных подсистем отдельных транспортных районов, которые в случае необходимости могли бы взаимодействовать, выявлять конфликты и находить приемлемые компромиссы [6].

Управление, основанное на сетецентрическом принципе, обеспечивает построение зон управления, в которых происходит обмен информацией между



управляющими центрами. Управляющие центры, расположенные в пределах зоны управления, могут получать данные о целях и действиях управляющих центров других зон, управлять транспортными потоками на перекрестках и переездах в пределах своей зоны управления. Задача координированного управления – минимизация количества транспортных средств, вынужденных остановиться перед перекрестком [7].

Рассматривая «ITSGIS» как компьютерную технологию автоматизированного исследования транспортных потоков, построенную на декомпозиционной основе таксономических отношений объектов предметной области, получаем возможность:

- предоставить пользователю-непрограммисту предметно-ориентированные средства спецификации моделей;
- снижения трудоемкости и улучшения качества управления ТрП за счет использования принципов сетецентрического управления;
- проведения имитационных экспериментов и анализ их результатов.

Интеллектуальная транспортная геоинформационная система «ITSGIS» предназначена для выполнения следующих основных функций [8]:

- *построение объектно-ориентированных моделей* инструментальных программных средств исследования ТрП на основе таксономической спецификации межклассовых отношений исследуемой предметной области [9];
- *программную реализацию классов ПрО* на основе таксономических моделей, а также разработку CASE-инструментов поддержки среды исследования и управления [10];
- *автоматический мониторинг состояния объектов транспортной инфраструктуры* (дислокация технических средств организации дорожного движения, структура светофорного цикла);
- *автоматический мониторинг транспортных потоков* (сбор и анализ данных об интенсивности ТрП, скорости движения и составе ТрП от различных детекторов транспорта) [11];
- *отображение объектов транспортной инфраструктуры* (дорожных знаков, светофорных объектов, интенсивности движения ТрП) на электронной карте [8];
- *автоматическое координированное управление светофорными объектами*. Координация заключается в организации согласованной работы светофоров на смежных перекрестках, при этом с помощью соответствующих математических моделей выполняется многокритериальная оптимизация на сети улиц. Сущность координированного управления сводится к обеспечению безостановочного проезда группы автомобилей с определенной скоростью через все регулируемые перекрестки магистрали. Для этого сдвиг фаз регулирования в направлении координации выбирается, исходя из заданной скорости движения групп и расстояния между перекрестками. Переключение программ координации осуществ-



- ляется по расписанию (по времени суток и дням недели), либо по параметрам транспортных потоков (адаптивно) [13];
- *оперативное сетевое управление* движением ТрП в экстремальных ситуациях, задание специальных режимов светофорного регулирования;
 - *телевизионный надзор* за транспортной ситуацией и оперативной обстановкой в наиболее напряженных узлах УДС;
 - *автоматическое и оперативное сетевое управление* движением ТрП на скоростных магистралях города, в том числе:
 - автоматическое обнаружение заторов и ДТП,
 - управление движением в тоннелях;
 - *автоматизированное информирование* участников движения с помощью динамических информационных табло и управляемых дорожных знаков о дорожно-транспортной ситуации;
 - *контроль и диагностика* периферийного оборудования и каналов связи.

Для оценки оптимальности сетецентрического координированного управления транспортными потоками используется критерий транспортной задержки на управляемом перекрестке. Сравнительный анализ натуральных испытаний и имитационного моделирования алгоритмов локального и координированного управления транспортными потоками позволяет делать вывод о корректности построенных сетецентрических моделей и адекватности работы «ITSGIS».

Систематизация и обобщение известных схем локального и координированного управления ТрП на УДС города дает возможность выстроить общую структуру управления и спроектировать схему сетецентрического управления. Такая схема основана на расслоении динамических свойств «ITSGIS» и позволяет реализовать универсальные инструментальные средства управления имитацией [8].

Любой модуль имитационной среды «ITSGIS» локализованный информационно, как программный эквивалент класса объектов транспортной инфраструктуры, 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*.

Конечная задача локального управления – переключение светофорных сигналов в зоне одного перекрестка, для нее в качестве *TypeOb* выступают объекты класса «Регулируемый_Перекресток», в качестве *TFunction* – метод *MLocalControl*. Эта задача разделена на несколько частных задач (*Algorithm*): фазообразование, компоновка фаз, коррекция длительностей, формирование переходных интервалов [5].

Транспортная ситуация на управляемом перекрестке в момент времени t



описывается вектором состояния $\bar{Y}(t) = \{Y_1(t), Y_2(t), \dots, Y_i(t), \dots, Y_m(t)\}$, компоненты которого обозначают количество транспортных средств в данный момент на отдельных подходах к перекрестку [14]. На состояние транспортного потока оказывает воздействие управление $\bar{U}(t)$, выбранное из множества возможных управлений. Таким образом, в следующий момент времени состояние потока изменится под влиянием управляющего воздействия $\bar{U}(t)$: $\bar{Y}(t+1) = f\{\bar{Y}(t); \bar{U}(t)\}$.

Эффективность локального управления ТрП оценивается степенью приближения истинного состояния ТрП \bar{Y} к цели управления, т.е. требуемому значению \bar{Y}^* , предельное значение эффективности определяется равенством этих значений.

Целью управления транспортными потоками на перекрестке является обеспечение безопасного и эффективного движения ТрП. В качестве основополагающего критерия эффективности алгоритмов принимаем величину задержки, приходящейся на одно транспортное средство [15]. Его достоинством является простота реализации при исследовании любым способом (эмпирически, аналитически, моделированием), наглядность, прямая связь со стоимостным выражением потерь и, в связи с этим, возможность непосредственной оценки эффективности процесса управления. В процессе исследования в качестве «вторичных» можно использовать и другие критерии оптимизации. Для расчета принятого за основу критерия эффективности локального управления ТрП используется критерий Вебстера. В качестве параметров, используемых для оценки задержки D , выступают: T – длительность цикла (сек), G_j – зеленая, R_j – красная фаза светофорного цикла (сек); N_j – число транспортных средств, ожидающих в очереди, I – интенсивность ТП (авт/сек), g_j – часть эффективного времени горения зеленого сигнала, соответствующего времени свободного проезда (сек).

При реализации и сравнительной оценке алгоритмов управления ТрП на перекрестке в реальном масштабе времени используется следующий подход: разбиение диапазона изменения интенсивностей на короткие циклы с приблизительно одинаковыми значениями; определение задержки для циклов с учетом режима работы перекрестка; суммирование расчетных значений для получения общего конечного результата. В режиме разъезда очереди часть цикла, в которой образуется задержка, равна: $t_{pj} = T_j - g_j$; число транспортных средств, ожидающих в очереди: $N_{pj} = I_j(T_j - g_j)$; число транспортных средств, задержанных в очереди в j -ом цикле: $N_{oj} = N_{j-1} + I_j \cdot T$.

При расчете программ координации для магистралей с двусторонним движением ТрП возможно возникновение ситуаций, которые сложно и трудно правильно решать с помощью графоаналитического метода, предназначенного для решения таких задач. В этом случае используется метод, определяющий сдвиги фаз на каждом перекрестке, минимизирующий величину обоб-



щенного критерия транспортной задержки на магистрали $D = \min_{t_{ci}} \sum_{i=1}^n [f(D_i) + \varphi(D_i)]$

, где $f(D_i)$ – задержка ТП на i -м перекрестке для прямого направления; $\varphi(D_i)$ – задержка ТП на i -м перекрестке для встречного направления. Расчет обобщенного критерия проводится в «ITSGIS» с применением имитационной модели объекта управления: исходные данные о параметрах объекта управления (интенсивность, времена проезда и т.д.) заносятся в модель, и затем проводится просчет на модели при заданных параметрах светофорного регулирования.

Использование объектно-ориентированных геотехнологий позволило в имитационной среде «ITSGIS» моделировать макроструктуру ТрП различной сложности с произвольным набором имманентных свойств. В среде моделирования на электронной карте предусмотрена возможность конструирования УДС произвольной конфигурации, включающей большое количество перекрестков, варьируемого уровня сложности.

Сетецентрическое координированное управление транспортными потоками позволяет достичь следующих расчетных технико-экономических показателей:

- снижение задержек транспорта до 20-25 %;
- уменьшение времени поездки до 10-15 %;
- уменьшение массы выбросов окиси углерода, углеводородов, окислов азота и других вредных веществ до 5-10 %;
- снижение потребления горючего до 5-15 %.

Генеральным проектировщиком «ITSGIS» и разработчиком ее прикладного программного обеспечения, является научно-производственный центр «Интеллектуальные транспортные системы».

Литература

1. Golovnin, O.K. Territorial Management using ITSGIS / O.K. Golovnin, T.I. Mikheeva, V.A. Klyuchnikov // Proceedings of the 2nd International Conference “Intelligent Technologies for Information Processing and Management”, Vol. 1, Ufa, Russia, November 10–12, 2014. – P. 211–214.

2. Бадд Т. Объектно-ориентированное программирование в действии: Пер. с англ. – СПб.: Мир. 1997. - 464 с.

3. Головнин, О.К. Модель пространственных данных оценки состояния объектов транспортной инфраструктуры в интеллектуальной ГИС «ITSGIS» / Т.И. Михеева, А.А. Федосеев, О.К. Головнин // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем : межвузовский науч. сборник. – Уфа : Изд-во УГАТУ, 2013. – С. 69–73.

4. Амбарцумян, А.А. Сетецентрическое управление на сетях Петри в структурированной дискретно-событийной системе / А.А. Амбарцумян // Управление большими системами. – 2010. – № 30.1. – С. 506–535.

5. Михеева Т.И., Михеев С.В., Головнин О.К. Метод синтеза системы зонального сетецентрического управления транспортными процессами // Извест-



тия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 4 (4). – С. 799–807.

6. Паттерны проектирования сложноорганизованных систем / Т.И. Михеева, С.В. Михеев, О.К. Головнин, О.Н. Сапрыкин – Самара : Интел-транс, 2015. – 216 с.

7. Затуливетер, Ю.С. Графодинамические системы с сетевым управлением в математически однородном поле компьютерной информации / Ю.С. Затуливетер, Е.А. Фищенко // Управление большими системами : сборник трудов. – 2010. – № 30.1. – С. 567–604.

8. Intelligent Transport Systems: Methods, Algorithms, Realization / T.I. Mikheeva, I.G. Bogdanova, A.A. Fedoseev, O.K. Golovnin, [et al]; under the editorship of T. Mikheeva. – Saarbrücken : LAP Lambert Academic Publishing, 2014. – 164 p.

9. Михеев С.В., Михеева Т.И. Модели наследования в системе управления дорожным движением // Информационные технологии, 2001. № 7. С.50-54.

10. Михеев С.В. Таксономические модели управления дорожным движением // Актуальные проблемы радиоэлектроники – Самара: СГАУ, 2000. С. 91-95.

11. Михеев С.В. Алгоритм жесткого координирования дорожного движения // В кн. Перспективные информационные технологии в научных исследованиях, проектировании и обучении - Самара: СГАУ, - 2001. – С. 80-88.

12. Петров, В.В. Управление транспортными потоками с учетом их стохастичности / В.В. Петров, А.С. Кашталинский // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2012. – № 24. – С. 27–29.

13. Михеев, С.В. Расчет программ координации управления транспортными потоками / С.В. Михеев // Актуальные проблемы радиоэлектроники. Серия: Вестник СГАУ. – 2003. – С. 30–35.

14. Посмитный, Е.В. Методика адаптивного управления транспортными потоками высокой интенсивности в условиях города на основе мезо-модели динамики с применением генетических алгоритмов [Электронный ресурс] / Е.В. Посмитный, М.И. Медовщиков // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 84 (10). – С. 1–11. – Режим доступа : <http://ej.kubagro.ru/2012/10/pdf/75.pdf>.

15. Пуртов, А.М. Использование таксономии при анализе задержек в автотранспортных сетях / А.М. Пуртов // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2013. – № 2 (30). – С. 73–78.