

УДК 629.113(071):004.01:004.04

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДСКОГО ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Ю.В. Белов, доц., к.т.н., Донецкая академия автомобильного транспорта,
А.Н. Полетайкин, доц., к.т.н.,
Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики,
г. Новосибирск

Аннотация. Рассматриваются инфраструктурные средства мониторинга и интеллектуального управления дорожным движением на основе программируемого логического контроллера с применением аппарата нечеткой логики.

Ключевые слова: инфраструктура дорожного движения, облачные технологии, радиочастотная идентификация транспорта, интеллектуальный дорожный контроллер, модель нечеткого управления.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНІ ЗАСОБИ Й ТЕХНОЛОГІЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МІСЬКОГО ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Ю.В. Белов, доц., к.т.н., Донецька академія автомобільного транспорту,
О.М. Полетайкін, доц., к.т.н., Сибірський державний університет телекомунікацій та інформатики, м. Новосибірськ

Анотація. Розглядаються інфраструктурні засоби моніторингу й інтелектуального управління дорожнім рухом на основі програмованого логічного контролера із застосуванням апарата нечіткої логіки.

Ключові слова: інфраструктура дорожнього руху, хмарні технології, радіочастотна ідентифікація транспорту, інтелектуальний дорожній контролер, модель нечіткого управління.

INFRASTRUCTURE FACILITIES FOR MONITORING AND INTELLECTUAL ROAD TRAFFIC MANAGEMENT

G. Belov, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.), Donetsk Academy of Motor Transport,
A. Polietaikin, Assoc. Prof., Ph. D. (Eng.),
Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences,
Novosibirsk

Abstract. Review of automatic management of road traffic technologies in major cities of Ukraine is carried out in the given article. Priority directions of studies are determined for producing modern and perspective technologies in the given area. The facilities for monitoring and intelligence management of the road traffic on the basis of the programmed logical controller, using the device of fuzzy logic are considered.

Key words: provision of traffic safety, traffic infrastructure, cloud technologies, radiofrequency identification of transport, intelligence road controller, fuzzy control model.

Введение

Актуальность данного исследования обусловлена чрезвычайной серьезностью проблемы обеспечения безопасности дорожного

движения в крупных городах, где по всему миру ежегодно более одного миллиона человек погибает в ДТП и более чем 50 миллионов получают травмы разной степени тяжести. По оценкам ВОЗ [1] международные

денежные убытки из-за связанного с дорожным движением травматизма и материального ущерба достигают €500 миллионов в год. Почти 700 000 смертельных случаев ежегодно происходят в результате загрязнения воздуха, обусловленного движением транспорта. Эту проблему усугубляют неуклонно возрастающая автомобилизация и технологическая отсталость дорожно-транспортных сетей. В целом нынешняя ситуация в области безопасности дорожного движения представляет собой кризис, выход из которого возможен только при комплексном подходе к решению указанной проблемы обеспечения БДД.

Мероприятия по обеспечению БДД предполагают также и эффективное управление дорожным движением. Под эффективностью, помимо безопасности, в данном случае понимается:

- 1) оперативность прохождения маршрута всеми участниками дорожного движения, во многом определяющая материальные затраты (также один из показателей эффективности управления дорожным движением);
- 2) точность следования транспортных средств, движущихся по установленным маршрутам, – показатель, демонстрирующий наибольшую чувствительность к изменению состояния инфраструктуры дорожного движения;
- 3) экологичность дорожно-транспортной инфраструктуры, находящаяся в прямой зависимости от величины задержек транспортных средств внутри сети и, как следствие, коррелирующая с показателем 1) оперативность;
- 4) надежность инфраструктуры дорожного движения в целом, которая определяется надежностью всех ее компонент: людей, дорог, транспорта, а также технических средств организации дорожного движения.

Анализ публикаций

Работы в области организации и обеспечения безопасности дорожного движения (Клишковштейн Г.И., Кременец Ю.А., Дерех З.Д., Рейцен Е.А., Ткачук С.П., Душник В.Ф.) подтверждают, что наиболее перспективным направлением решения подобных задач является применение автоматизированных си-

стем управления дорожным движением, которые определяют и задают оптимальные управления светофорным объектам [2]. В частности, для сложных городских сетей необходимо определять оптимальное управление светофорными объектами, которое должно обеспечить наибольшую пропускную способность при минимальных потерях времени с учетом оперативных данных о дорожном движении, а также множества влияющих на дорожное движение факторов, таких как характеристики улично-дорожной сети (УДС), погодные условия и другие [3]. При этом управляющая система должна быть обеспечена специальными техническими средствами для оперативной регистрации параметров транспортных потоков – детекторами присутствия либо прохождения транспорта [4].

Цель и постановка задачи

Целью статьи является повышение эффективности управления городским дорожным движением за счет создания новых интеллектуальных средств мониторинга и управления дорожным движением в реальном масштабе времени на основе использования современных и перспективных компьютерных технологий.

Объектом исследования являются современные технологии мониторинга и управления дорожным движением в условиях крупного города. Предмет исследования – современные программно-аппаратные средства и облачные сервисы мониторинга и управления дорожным движением.

Для достижения поставленной цели предлагается создание интеллектуальной инфраструктуры дорожного движения (ИИДД), которая отличается от существующих АСУДД структурной интеграцией трех взаимосвязанных интерактивных компонентов [5]:

- 1) существующие сервисы электронной картографии со средствами радиолокации и радионавигации;
- 2) новый облачный сервис мониторинга и управления дорожным движением на основе дорожных контроллеров;
- 3) усовершенствованные средства радиочастотной идентификации автомобиля и доступа к облачным сервисам.

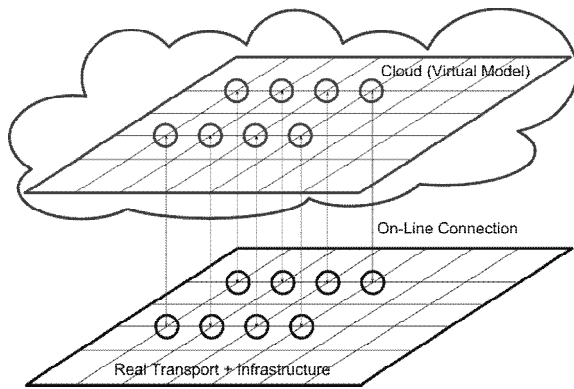


Рис. 1. Отображение инфраструктуры и транспорта в облаке

Научная новизна проекта определяется системной интеграцией облака мониторинга и управления, блоков радиочастотной идентификации транспорта, а также средств управления дорожной инфраструктурой, что дает возможность автоматизировать процессы оптимального управления транспортными средствами и дорожным движением в режиме реального времени для решения социальных, гуманитарных, экономических и экологических проблем и создания таким образом ИИДД на уровне города, региона, страны, планеты.

Разработка комплекса интеллектуальных средств сегмента ИИДД

Анализ существующих АСУДД показал, что при проектировании подобных систем в основном используется двухуровневая архитектура типа «клиент–сервер» (рис. 2), где в качестве клиентов выступают дорожные контроллеры (ДК), а центральный сервер обеспечивает централизованное управление дорожным движением на базе центрального управляющего пункта (ЦУП), координируя работу ДК и принимая информацию о его состоянии для отображения диспетчеру.

Такая структура имеет ряд недостатков, среди которых основным является переход на локальное управление всех светофорных объектов в случае отказа сервера или другого компонента ЦУП. Можно выделить 2 поколения таких систем.

АСУДД первого поколения (рис. 2, а) к тому же состоят из устаревших контроллеров, таких как УК-2, ДКМ, Приор-05, среди которых только ДКМ продолжает уверенно

функционировать, проработав несколько десятков лет. Также оставляет желать лучшего проводная телефонная сеть связи между центром и ДК, эффективность которой сомнительна. Отсутствие полноценной обратной связи с ЦУП в контуре управления этой системы приводит к тому, что неисправно работающий светофорный объект можно выявить только путем его внешнего осмотра.

Осуществлять оперативное отслеживание параметров транспортных потоков с использованием детекторов транспорта в таких условиях очень проблематично [4]. Все это говорит о низкой управляемости и надежности таких систем.

Иначе обстоит дело с современными АСУДД второго поколения (рис. 2, б), где в качестве ДК используются поставляемые на украинский рынок контроллеры КДК ООО «Система-Сервис», г. Харьков [6], а также контроллеры фирмы «Росток-Элеко», г. Киев [7], которые также предлагают современное оборудование ЦУП и средства проводной и (чаще) радиосвязи с дорожными контроллерами на периферии, а также спектр детекторов транспорта для оперативного отслеживания параметров транспортных потоков.

Такие системы более надежны и устойчивы в эксплуатации, демонстрируют высокую прогрессивность и наблюдаемость состояния объекта управления, и вместе с тем высокую стоимость. Однако они не лишены характерного для двухуровневых структур недостатка: остановки координированного управления в случае выхода из строя оборудования ЦУП.

Указанного недостатка лишена АСУДД третьего (рис. 2, в), перспективного, поколения. Она имеет структуру, схожую с АСУДД второго поколения, за исключением того, что управляющий центр интегрирован в «облако», то есть функционирует посредством сервисов, доступных через беспроводную глобальную коммуникационную сеть, имеющую распределенную структуру и доступную в пределах всей планеты. Последнее обстоятельство гарантирует устойчивое функционирование АСУДД в режиме координированного управления даже при физическом отсутствии ЦУП, так как множество облачных серверов, координирующих отдельные группы ДК, выделенные по геогра-

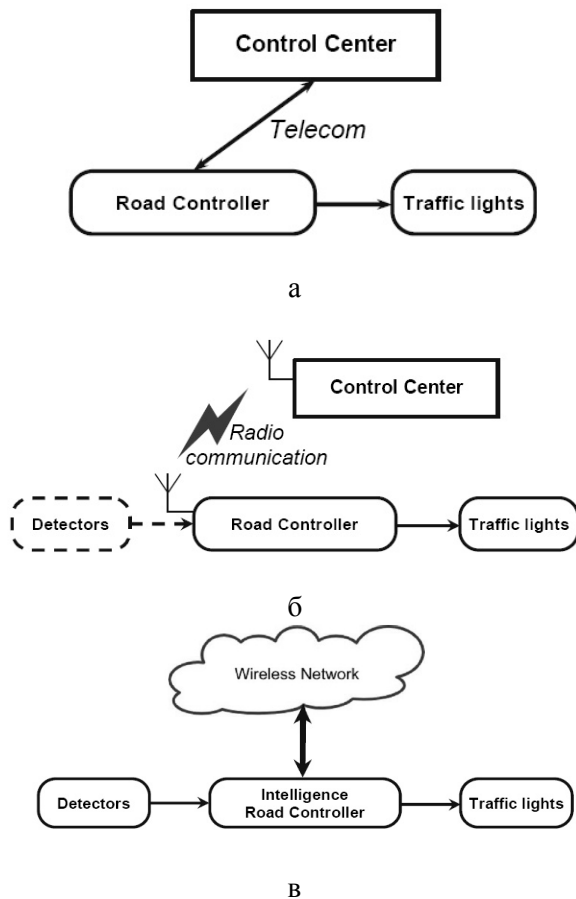


Рис. 2. Эволюция технологий управления дорожным движением: а – структура АСУДД первого поколения (устаревшая); б – структура АСУДД второго поколения (современная); в – структура АСУДД третьего поколения (перспективная)

фическому признаку, в состоянии обеспечить координированное управление, взаимодействуя друг с другом через вычислительную сеть. Диспетчерские же функции оказываются доступны посредством защищенных облачных сервисов в любой момент времени из любой точки планеты. Следует отметить, что такая система обязана иметь на нижнем уровне управления комплекс технических средств для мониторинга состояния дорожно-транспортной сети, а в облаке – вычислительные ресурсы, поддерживающие этот мониторинг, – так называемые *мониторы инфраструктуры*. В противном случае об эффективном управлении дорожным движением не может быть и речи.

Однако инновационность этой системы заключается прежде всего в интеллектуализации основных процессов организации до-

рожного движения, синхронизирующей процессы развития реальной дорожно-транспортной инфраструктуры и виртуального киберпространства и синтезирующей компоненты этой интеллектуальной системы путем создания в киберпространстве облачных сервисов точного мониторинга и оптимального управления указанными реальными процессами. Такая интеллектуальная облачная инфраструктура становится самостоятельной координирующей надсистемой, радикально решающей проблему безопасности дорожного движения путем полного исключения аварийных и предаварийных ситуаций на дорогах за счет тотального контроля и интеллектуального управления.

Рассмотрим данную архитектуру более детально с точки зрения инфообмена между четырьмя ее компонентами (рис. 3) [5]. Cloud Servers – серверы, создающие облако долговременного хранения распределенных данных и сервисов; Buffer Computers – буферные компьютеры, обеспечивающие сбор данных от мониторов инфраструктуры и доставку сервисов управления дорожным контроллерам; C-RFID – компьютерные блоки радиочастотной идентификации транспортных средств; I-CMC – инфраструктурные контроллеры мониторинга и управления дорожным движением на основе радиочастотной идентификации транспортных средств.

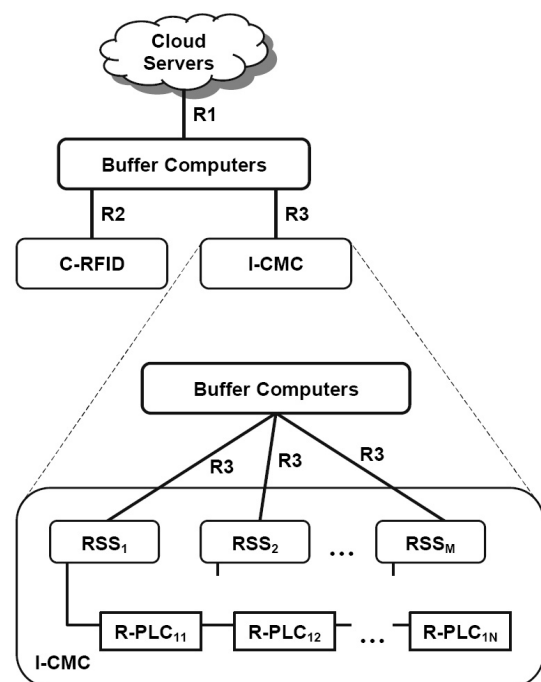


Рис. 3. Архитектура перспективной АСУДД с тремя уровнями управления

Структура коммуникационной интеграции четырех компонентов АСУДД представлена транзакциями: $(R1 \cdot R2) = (SC, BC, C-RFID)$ – доставка облачных сервисов к потребителю; $(R1 \cdot R3) = (SC, BC, I-CMC)$ – инфообмен с дорожными контроллерами. Маршрут первого типа использует традиционные технологии GPRS, HSPA, Wi-Fi, WiMAX на основе сети Internet. Для второго типа транзакций, ввиду их чрезвычайной важности, а также высоких требований к надежности, помехоустойчивости и защищенности, необходимы дополнительные научно-технические исследования в процессе создания масштабируемого протокола.

Предполагается, что в блоке C-RFID будут записаны индивидуальный код транспортного средства, электронный код регистрации по месту проживания, а также код водителя, выполняющего эксплуатацию данного автомобиля в текущий момент времени. Считать триаду кодов должны радиоприемники, которыми будут оснащены все светофорные объекты, мосты, тоннели, железнодорожные переезды и другие пункты УДС, существенные с позиции управления дорожным движением, в том числе некоторые критические контрольные точки [5].

С точки зрения данного исследования наиболее интересен компонент I-CMC. Он представляется в виде матрицы, элементами которой являются дорожные контроллеры (R-PLC), а столбцы соответствуют сегментам УДС, контролируемым серверами сегмента (RSS), которые управляются буферным компьютером АСУДД. Модуль RSS представляет собой надежный компьютер промышленного исполнения, а компонент R-PLC построен на базе компактного и достаточно мощного программируемого логического контроллера SIMATIC S7-1200 фирмы SIEMENS для программирования технологических процессов, в том числе для решения задач автоматического регулирования дорожного движения.

На рис. 4 представлена схема технической реализации инфраструктуры городского дорожного движения (ИГДД) на основе АСУДД третьего поколения. В данной схеме просматриваются три уровня управления [8].

На уровне 1 реализуется технологическое управление дорожным движением в автоматическом и ручном режиме посредством специальных компьютерных и периферийных устройств.

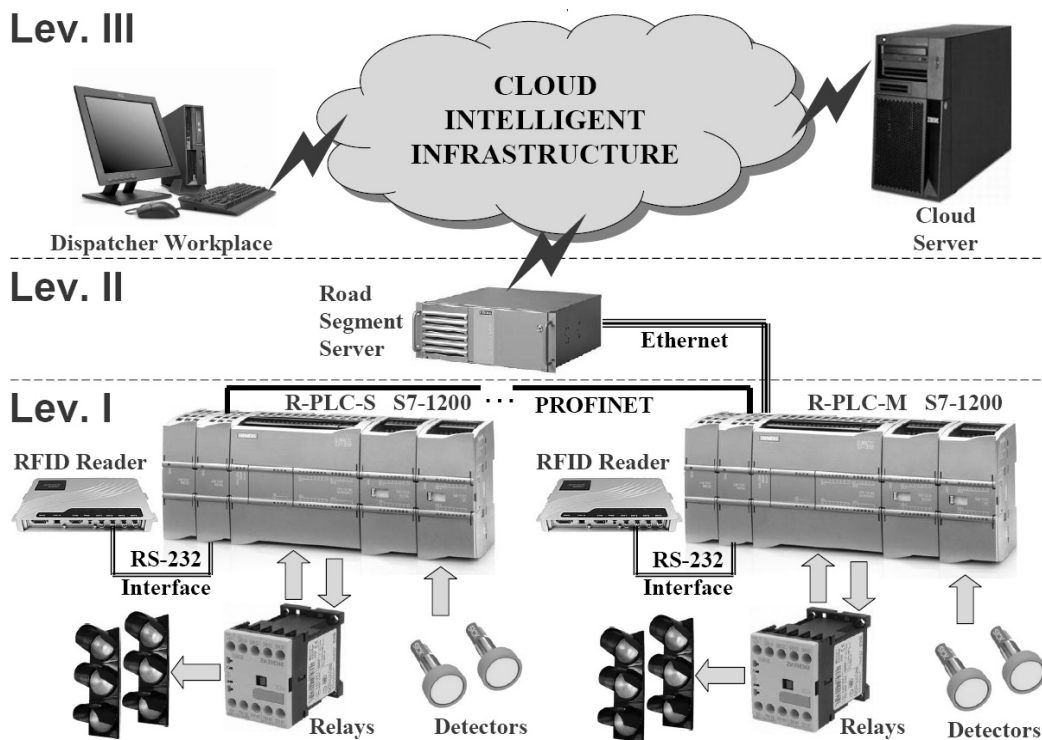


Рис. 4. Техническая реализация инфраструктуры городского дорожного движения

В качестве вычислительного средства используется ПЛК S7-1200. Источниками данных для управления являются информационно-регистрирующие устройства двух типов: 1) RFID-считыватель, собирающий данные с транспондеров участников дорожного движения в пределах светофорного объекта, и 2) детекторы транспорта, регистрирующие параметры входящих потоков транспорта. Исполнительные устройства представлены электромагнитными реле, обеспечивающими срабатывание светофоров. Коммуникация с центром управления осуществляется через уровень 2.

Уровень 2 является промежуточным (коммуникационным). Он выполняет две функции: 1) обеспечивает коммуникацию между центральной частью ИГДД и локальными контроллерами сегмента и 2) реализует центральное управление контроллерами сегмента в случае отсутствия связи с уровнем 3. Технически реализован на базе промышленных компьютеров средней мощности, каждый из которых выполняет функцию буферного компьютера сегмента (RSS). Связан каналом Ethernet с ведущим контроллером R-PLC-M (Master), который в свою очередь связан промышленной сетью PROFINET с ведомыми контроллерами R-PLC-S (Slave). RSS имеет выход в Интернет и таким образом интегрируется в облачную инфраструктуру.

Уровень 3 – центрального управления. Осуществляет координированное управление светофорным объектом на уровне 1 через буферные компьютеры уровня 2. Содержит серверную часть, построенную на базе мощ-

ных серверов, оснащенных средствами облачных вычислений (cloud servers), а также человеко-машинный интерфейс, который включает, наряду с рабочими станциями, аппаратно-программные средства визуализации и оперативного управления.

Поскольку данный проект посвящен интеллектуализации управления дорожным движением в условиях отдельного светофорного объекта, остановимся подробно на технической реализации этого аспекта ИГДД.

В качестве управляющего вычислительного устройства выбран вышеупомянутый ПЛК S7-1200. Это один из самых новых контроллеров фирмы SIEMENS для программирования технологических процессов [9]. Контроллер SIMATIC S7-1200 способен решать задачи автоматического регулирования и управления перемещением и может использоваться в машиностроении, системах управления предприятием, во многих других областях. Обладает широкими функциональными возможностями и отличается относительно невысокой стоимостью.

Каждый контроллер комплектуется стационарным RFID-считывателем, который обеспечивает одновременное чтение данных с большого количества транспондеров участников дорожного движения в радиусе до 12 метров и имеет несколько интерфейсов для взаимодействия с контроллером (см., напр., [10]). Взаимодействие контроллера с другими периферийными устройствами и с управляющим центром структурно показано на рис. 5.

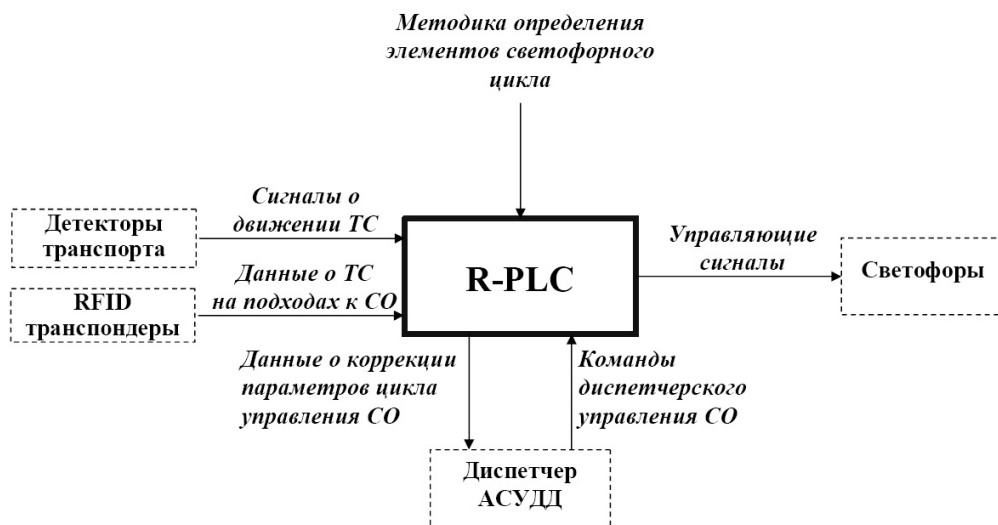


Рис. 5. Ячейка транспортной инфраструктуры

Подсистема реализует такие функции:

- 1) установка параметров цикла светофорного регулирования по команде диспетчера (диспетчерское управление);
- 2) регистрация данных о движении транспорта на подходах к светофорному объекту;
- 3) выработка корректив параметров цикла светофорного регулирования (интеллектуальное управление);
- 4) формирование и вывод управляющих воздействий на светофоры (непосредственное управление);
- 5) передача данных о коррекции параметров цикла светофорного регулирования диспетчеру (обратная информационная связь).

Функция 2 обеспечивает необходимую обратную связь с объектом управления. Технически ее выполнение обеспечивают детекторы транспорта и оборудование радиочастотной идентификации транспорта.

Для реализации интеллектуального управления (функция 3) необходимо учитывать также и параметры потоков на смежных светофорных объектах, принятые по сети от соответствующих дорожных контроллеров. Идентификация и оценивание этих параметров, а также подготовка на их основе данных для интеллектуального управления – предмет отдельного исследования.

Кроме того, при проведении системных исследований предметной области было установлено влияние на движение транспорта по улично-дорожной сети крупного города

большого количества разнородных параметров, некоторые из которых, такие как сложность и степень опасности пересечения, погодные условия, видимость дорожной разметки, насыщенность средствами светофорного регулирования и дорожными знаками, а также эффективность их восприятия участниками дорожного движения и др., трудно поддаются формализации классическими аналитическими и вычислительными методами. Более того, большинство выявленных параметров характеризуются высокой степенью неопределенности, которую не удалось погасить вероятностными и статистическими методами.

В связи с этим для погашения неопределенности оказалось целесообразно применить методику нечеткого вывода и построить на ее основе модель нечеткого управления светофорным регулированием на заданном светофорном объекте, структура которой показана на рис. 6.

На вход модели поступают указанные выше данные о транспортных потоках (входная информация на рис. 5) с заданного (2) и смежных (3) светофорных объектов, а также смоделированные параметры на предыдущем цикле регулирования (обратная связь 1). Характеристики УДС (4), обладающие, как указано выше, высокой степенью неопределенности, определяются нечеткими переменными. Все входные данные в модели на рис. 6 подлежат фаззификации классическими методами нечеткой логики [11].

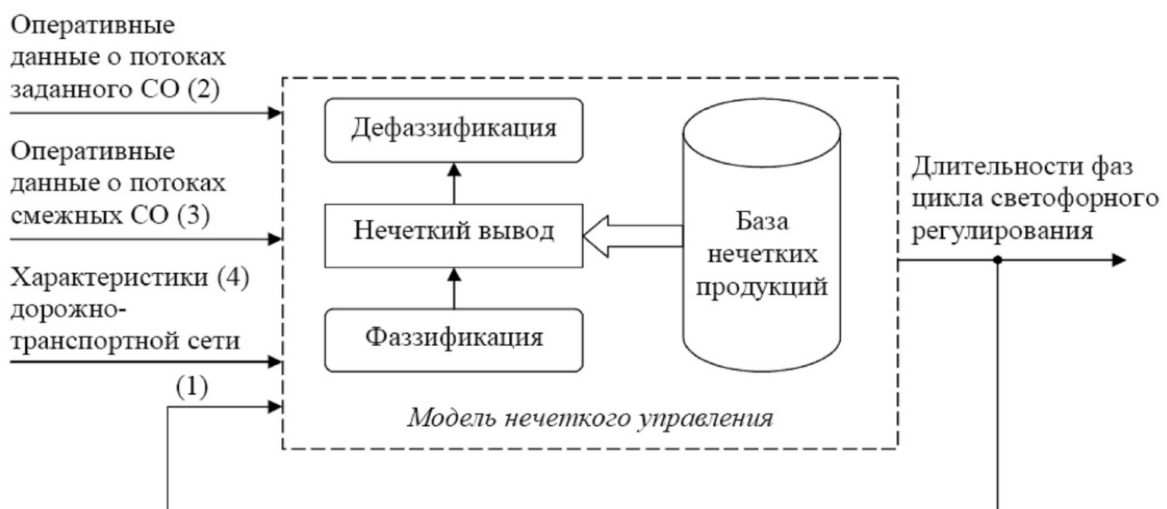


Рис. 6. Структура модели нечеткого управления светофорным регулированием на заданном светофорном объекте

Логика регулирования дорожного движения представляется в виде базы нечетких правил продукции. Блок нечеткого вывода генерирует значения трех выходных нечетких переменных, выражающих параметры цикла светофорного регулирования на пересечении: длительность цикла, длительность зеленой фазы по главному направлению и длительность переходного интервала. Агрегированные и дефазифицированные значения этих параметров применяются для задания фактических параметров светофорного регулирования на данном светофорном объекте.

Такова в общем концепция нечеткого управления светофорным регулированием на заданном светофорном объекте. Детальная разработка этой концепции – предмет отдельного исследования, требующего работы с экспертами по организации и регулированию дорожного движения и, по крайней мере, имитационного моделирования данного процесса в условиях как детерминированного, так и нечеткого управления.

Ожидаемый эффект от внедрения интеллектуальных технологий в инфраструктуру городского дорожного движения: сокращение времени прохождения маршрута внутри дорожно-транспортной сети, покрываемой ИГДД, всеми участниками дорожного движения; уменьшение материальных затрат, которые несут участники дорожного движения и владельцы транспортных средств; повышение точности следования транспортных средств, движущихся по установленным маршрутам; улучшение экологической обстановки за счет сокращения задержек транспортных средств внутри сети; понижение аварийности на дорогах дорожно-транспортной сети, покрываемой ИГДД; устойчивое и безотказное функционирование ИГДД.

Выводы

Таким образом, из изложенного материала следует, что в настоящее время в мире остро стоит проблема обеспечения безопасности дорожного движения, требующая принятия срочных и эффективных мер по ее решению.

Вместе с тем создание сегментов интеллектуальной инфраструктуры дорожного движения на основе современных и перспективных компьютерных технологий является

объективной необходимостью и неизбежно, о чем свидетельствуют результаты подобных исследований в развитых странах мира.

Литература

1. Roads, Injuries, Traffic: Data and statistics / Official site WHO, 2011 // data source: <http://www.who.int/research/en/>.
2. Дерех З.Д. Наукові шляхи реалізації програми забезпечення безпеки дорожнього руху в Україні / З.Д. Дерех, Є.О. Рейцен // Безпека дорожнього руху України: наук.-техн. вісник – 1999. – № 1(2). – С. 19–23.
3. Душник В.Ф. До питання організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі / В.Ф. Душник // Безпека дорожнього руху України: наук.-техн. вісник. – 2003. – № 1–2 (15). – С. 39–41.
4. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения / Ю.А. Кременец. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005.
5. Хаханов В.И. Зеленая волна – облако мониторинга и управления дорожным движением (Green wave traffic on cloud) / В.И. Хаханов // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2012. – Вып. 160. – С. 4–21.
6. Оборудование для управления дорожным движением / Официальный сайт ООО «Система Сервис». – Харьков, 2014. – Режим доступа: <http://komkon.ua/product/rtc/>.
7. Аппаратно-программный комплекс оборудования для управления дорожным движением / Официальный сайт Киевской АК «Росток». – К., 2014. – Режим доступа: <http://rostok-elekom.com/>.
8. Белов Ю.В. Трехуровневая архитектура системы распределенной автоматизации управления дорожным движением / Ю.В. Белов, О.А. Гузь, А.Н. Полетайкин // Обеспечение безопасности и комфорта дорожного движения: проблемы и пути решения: материалы международной научно-практической конференции. – Х.: ХНУРЭ, ХНАДУ, 2011. – С. 123–126.
9. Продукты для промышленной автоматизации: Интерактивный каталог СА 01/2014. – Сименс, Украина, Департамент IA&DT.
10. Esker F. RFID in Vehicles / F. Esker. – NetWorld Alliance LLC. – 2012. – 143 p.

11. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и flzzyTECH / А.В. Леоненков. – С.Пб.: БХВ Петербург, 2005. – 736 с.

References

1. Roads, Injuries, Traffic: Data and statistics. Official site WHO, 2011. data source: <http://www.who.int/research/en/>.
2. Dereh Z.D., Rejcen Je.O. Naukovi shljahy realizacii' programy zabezpechennja bezpeky dorozhn'ogo ruhu v Ukraini . *Bezpeka dorozhnogo ruhu Ukrainy: nauk.-tehn. visnyk*, 1999, vol. 1(2). pp.19–23.
3. Dushnyk V.F. Do pytannja organizacii dorozhnogo ruhu na vulychno-dorozhnyj merezhi. *Bezpeka dorozhnogo ruhu Ukrainy: nauk.-tehn. visnyk*, 2003, vol. 1-2 (15). pp. 39–41.
4. Kremenc Ju.A. Tehnycheskye sredstva organizacii dorozhnogo dvyzhenja. Moskva, YKC «Akademknyga» Publ., 2005.
5. Hahanov V.Y. Zelenaja volna – oblako monitorynga y upravlenja dorozhnym dvyzheniem [Green wave traffic oncloud] *Avtomatizirovannye systemy upravlenja y prybory avtomatyky*, 2012, vol. 160. pp. 4–21.
6. Oborudovanye dlja upravlenja dorozhnym dvyzheniem. Ofycjal'nyj sajt OOO «Systema Servys». – Kharkov, 2014. Available at: <http://komkon.ua/product/rtc/>.
7. Apparatno-programmnyj kompleks oborudovanyja dlja upravlenja dorozhnym dvyzheniem. Ofycjal'nyj sajt Kyevskoj AK «Rostok». 2014. Available at: <http://rostok-elekom.com>.
8. Belov Ju.V., Guz' O.A., Poletajkyn A.N. Trehurovnevaja arhytektura systemy raspredelennoj avtomatyzacii upravlenja dorozhnym dvyzheniem. *Materyaly mezhdunarodnoj nauchno-praktycheskoj konferencii «Obespechenje bezopasnosti y komforta dorozhnogo dvyzhenja: problemy y puti reshennja»*. Kharkov, KhNURE, KhNADU, 2011. pp. 123–126.
9. Produkty dlja promyshlennoj avtomatyzacii: Interaktyvnyj katalog CA 01/2014. Symens, Ukrainy, Departament IA&DT.
10. EskerF. RFID in Vehicles. NetWorldAlliance LLC, 2012. 143 p.
11. Leonenkov A.V. Nечеткое моделирование в среде MATLAB y flzzyTECH. S.Pb., BHV Peterburg Publ., 2005. 736 p.

Рецензент: И.С. Наглюк, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 1 сентября 2014 г.