

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ СЕТИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Н. А. Матвиенко¹, М. И. Новиков¹, Р. В. Киричек^{1*}

¹ СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

* Адрес для переписки: kirichek@sut.ru

Аннотация

Интеллектуальные транспортные системы являются самым стремительно развивающимся, ключевым и перспективным блоком в концепции «Умный город». Интеллектуальные транспортные системы - это участок соприкосновения автотранспортной индустрии и индустрии телекоммуникационных технологий. **Предмет исследования.** В статье рассмотрено текущее состояние развития интеллектуальных транспортных систем в мире и в России. Определены основные параметры функционирования интеллектуальных транспортных систем, методы управления и статистической оценки на базе программно-конфигурируемой сети. **Метод.** Предложены сценарии тестирования ИТС и контроллера программно-конфигурируемой сети, разработана модельная сеть для проведения натурного эксперимента. **Практическая значимость.** Разработанная архитектура программно-конфигурируемой транспортной самоорганизующейся сети может быть использована в качестве улучшенной модели ИТС с надежным элементом управления. Методика тестирования, позволит гибко проектировать сегменты интеллектуальных транспортных систем с оптимальным использованием сетевых ресурсов. **Основные результаты.** Представленная в статье архитектура транспортной самоорганизующейся сети с управлением на базе SDN позволит значительно улучшить эффективность современных ИТС, повысить безопасность дорожного движения, актуализировать предоставляемую пользователям информацию, снизить затраты на построение сетей. Результаты будущих исследований на базе разработанных сценариев тестирования позволят реализовать сбалансированную архитектуру сети.

Ключевые слова

Интеллектуальные транспортные системы, программно-конфигурируемые сети, модельная сеть, разработка, сценарии тестирования.

Информация о статье

УДК 004.725.5

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 26.12.17, принята к печати 28.02.18.

Ссылка для цитирования: Матвиенко Н. А., Новиков М. И., Киричек Р. В. Разработка модельной транспортной программно-конфигурируемой сети для исследования функционирования интеллектуальных транспортных систем // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Том 6. № 1. С. 43–54.

DEVELOPMENT OF A MODEL NETWORK FOR INVESTIGATION OF THE FUNCTIONING OF INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS

N. Matvienko¹, M. Novikov¹, R. Kirichek^{1*}

¹ SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

* Corresponding author: kirichek@sut.ru

Abstract—Intelligent transportation systems are the fast-growing, key and promising block in the "Smart City" concept. Intelligent transportation systems - this is the area of contact between the transport industry and the telecommunications technology industry. **Research subject.** The article describes current state of intellectual transportation systems development in Russia and in the world. The main parameters of the functioning of intelligent transportation systems based on software defined network, management methods and statistical estimation are determined. **Method.** Scenarios for testing ITS and a controller for a software-defined network are proposed, and a model network for a full-scale experiment is developed. **Core results.** The developed architecture of a software-defined transportation self-organizing network can be used as an improved ITS model with a reliable control element. The testing methodology will allow to flexibly design segments of intelligent transport systems with optimal use of network resources. **Practical relevance.** The architecture of the transportation self-organizing network with SDN-based management presented in the article will significantly improve the efficiency of modern ITS, traffic safety, actualize the information provided to customers, and reduce the cost of networks architecture. The results of future studies based on the developed testing scenarios will allow implementing a balanced network architecture.

Keywords—Intelligent transportation systems, Software-Defined networking, model network, develop, testing.

Article info

Article in Russian.

Received 26.12.18, accepted 28.02.18.

For citation: Matvienko N., Novikov M., Kirichek R.: Development of a model network for investigation of the functioning of intelligent transportation systems // Telecom IT. 2018. Vol. 6. Iss. 1. pp. 43–54 (in Russian).

Введение

Одной из наиболее важных задач транспортной системы России является обеспечение максимальной эффективности функционирования транспортно-дорожного комплекса страны путем повышения качества удовлетворения потребностей экономики и населения в безопасных и эффективных транспортных услугах. Реализация задачи обеспечения требуемой мобильности населения возможна за счет двух взаимно дополняемых направлений деятельности: строительство новых участков дорог и внедрение технологий организационного управления транспортной системой с использованием современных информационно-телекоммуникационных и телематических технологий [1, 2].

Для решения данных проблем необходимо внедрение новых современных решений, в качестве которых, на данный момент, выступают интеллектуальные транспортные системы (ИТС) [2]. Согласно п. 2.1 ГОСТа Р 56294–2014 «Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем» Интеллектуальная транспортная система (ИТС) – система управления, интегрирующая современные информационные и телематические технологии и предназначенная для автоматизированного поиска и принятия к реализации максимально эффективных сценариев управления транспортно-дорожным комплексом региона, конкретным транспортным средством или группой транспортных средств с целью обеспечения заданной мобильности населения, максимизации показателей использования дорожной сети, повышения безопасности и эффективности транспортного процесса, комфортности для водителей и пользователей транспорта^{1,2} [3]. Для стабильного функционирования транспортным системам нужен производительный элемент управления, в качестве которого рассматривается программно-конфигурируемая сеть (SDN, *Software Defined network*). Программно-конфигурируемая сеть подразумевает разделение плоскости управления и плоскости передачи данных, что позволяет улучшить производительность и отказоустойчивость сети, а также упростить её инфраструктуру.

Обзор развития и состояния интеллектуальных транспортных систем в мире и в России

США. В США развитие ИТС основывается на национальных программах, реализуемых Министерством транспорта [6]. В 1991 г. Конгресс США, законом «Об эффективном использовании интермодальных систем наземного транспорта» (*Intermodal Surface Transportation Efficiency Act – ISTEA*) впервые учредил, разработанную Минтрансом США, Федеральную программу – Пятилетний национальный программный план развития ИТС. В 1996 г. началась разработка программы стандартов ИТС по списку критических интерфейсов. В 1998 г. в соответствии с законом *Transportation Efficiency Act for the 21st Century (TEA 21)* началось создание научно-исследовательской программы (НИП) ИТС и программы развертывания ИТС, определена ведущая роль Минтранса США в развитии интегрированной ИТС, созданы структуры федерального уровня, в том числе, объединенный офис программы ИТС, который финансирует НИП, управляет эксплуатационными испытаниями, координирует разработку стандартов и действия Федеральных агентств³. Большинство государственных инициатив, таких как «Национальная архитектура ИТС», «Программа разработки стандартов», «Информационные системы и сети для коммерческих транспортных средств (*Commercial Vehicle Information Systems and Networks – CVISN*)», «Программы общественного городского транспорта, сельские ИТС, мероприятия по безопасности пассажиров» и «Оценочная программа» положили основу, на которой в январе 2002 г. построена «План Программа Национальной интеллектуальной транспортной системы: Видение на 10 лет» и разработан критический

¹ ГОСТ Р 56294-2014. Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем. М.: Стандартинформ. 2015.

² About ITS. URL: http://www.its.dot.gov/its_program/about_its.htm

³ About VICS. URL: <http://www.vics.or.jp/en/navi/manufacturers.html>

интерфейс для взаимодействия на региональном, штатном и национальном уровнях. Таким образом, в США создана система постоянно обновляемых официальных стратегических и программных документов по эволюции ИТС, которая охватывает все уровни планирования – от стратегического до текущего, гарантируя на законодательном уровне участие государства в исследованиях, разработках и развертывании ТС.

Примеры внедрения ИТС в США:

- Лос-Анджелес, Калифорния: Новая управляющая система LADOT включает 1170 светофорных объектов и 4590 детекторов, используемых для оптимизации процесса управления. По результатам внедрения получена следующая статистика: уменьшилось потребление горючего на 13 %, на 41 % уменьшилось количество остановок транспортных средств, и на 16 % сократились потери времени.

- Чикаго, Иллинойс: Пилотный проект оптимизации движения общественного транспорта на основе автоматической системы управления и диспетчеризации (АСУД) ОРАС. Проект основан на последовательном предоставлении преимущества автобусам на перекрестках, в результате чего повышается скорость движения автобусов на 25–50 %. Предполагается, что в результате этого городской пассажирский общественный транспорт будет более привлекательным и одновременно будет снижена экологическая нагрузка, потому что будет сокращено количество автобусов при сохранении интервалов.

Япония. История активного применения ИТС в Японии началась в 1990-х годах. В тот период Япония, обладающая небольшой территорией и крайне загруженной дорожной сетью, несла значительные потери от пробок (до 3,5 млн человеко-часов, или 109 млрд долларов в год) [5]. В середине 1990-х годов в результате совместных усилий министерств землепользования, транспорта и туризма, внутренних дел и коммуникаций, а также национального полицейского агентства была реализована самая современная в мире система информирования водителей при помощи встраиваемых в машины устройств (*Vehicle Information and Communication System, VICS*)⁴. Система VICS, несмотря на свое государственное происхождение, функционирует за счет поддержки 90 компаний автомобильного сектора и не получает государственного финансирования. При этом система VICS обладает ограничениями, в силу архитектуры, сформированной в ранние 1990-е годы. Для развития достигнутого успеха японскими органами государственной власти и бизнесом было принято решение перейти к новой системе Smartway, представляющей собой следующее поколение интеллектуальных транспортных систем.

Примеры внедрения ИТС в Японии:

- Система VICS. Запущена в 1996 г., а с 2003 г. стала функционировать на территории всей страны. Системе VICS передается собранная центром наблюдения за дорожным движением информация по загрузке и состоянию дорог. Далее эта информация обрабатывается и переводится в цифровой вид системой VICS, а затем рассылается по бортовым навигационным системам. Пользователи системы получают информацию в трех видах – в виде текста, простой графики

⁴ List of European ITS User Needs. D2. 02 – Issue 1.

и карт. Бортовые системы динамически обрабатывают данные и предлагают водителю оптимальный маршрут. На начальном этапе система VICS собирала информацию через систему сенсоров, установленных на объектах дорожной инфраструктуры (дорожном полотне, камерах наблюдения и пр.). Однако с 2003 г. активно развивается сбор информации о состоянии дорожного движения при использовании «машин-зондов» (мобильных пунктов наблюдения за дорожным движением), а также путем использования уже установленных бортовых систем VICS в качестве таких систем, позволяющих собирать информацию о скорости движения транспортного потока, погоде и состоянии дорог. Данные из системы VICS передаются водителям по трем каналам:

2) При помощи радиомаяков, сообщающих информацию о состоянии загрузки дорожного движения на 200 км впереди автомобиля. В основном радиомаяки используются на скоростных автострадах.

3) При помощи инфракрасных маяков, сообщающих информацию о состоянии загрузки дорожного движения на 30 км впереди автомобиля. Инфракрасные маяки используются преимущественно на магистральных дорогах.

4) При помощи радиовещания на частотах FM. Такой способ обычно используется на проселочных дорогах.

- Система Smartway. Бортовое устройство Smartway предоставляет пользователям три вида услуг:

- 1) Снабжение информацией о дорожной сети и вопросах безопасности.

- 2) Интернет-услуги.

- 3) Безналичные платежи на пунктах оплаты дорог, парковках, бензозаправках и т. п.

В рамках Smartway также используются технологии vehicle-to-vehicle (V2V) по предотвращению столкновений и технологии увеличения безопасности при высокоскоростном движении. Smartway предоставляет водителю информацию как в визуальной, так и акустической форме. Система Smartway была создана в рамках сотрудничества более чем 30 производителей автомобилей и навигационного оборудования, причем ее развитие произошло в рекордные сроки – путь от концепта до первых опытных образцов (2007 г.) был пройден всего за три года [6]. Активное распространение системы планировалось на 2010 г., однако, по имеющейся информации, на середину 2011 г. система находилась на относительно раннем этапе внедрения. В 2010–2011 гг. на автострадах было установлено свыше 1 600 стационарных устройств системы.

Европа. Работы по созданию и развитию ИТС в Европе проводятся, начиная с 1980-х гг. В конце 1990-х гг. началась разработка европейской рамочной архитектуры ИТС, первый вариант которой был выпущен в 2000 г., а совершенствование ее продолжается до настоящего времени. В 2008 г. Еврокомиссией был принят План действий для развертывания интеллектуальных транспортных систем в Европе. В 2010 г. был принят нормативный акт более высокого уровня – Директива 2010/40/EU Парламента и Совета Европы от 7 июля 2010 г. по основам внедрения интеллектуальных транспортных систем в области автодорожного транспорта и сопряжений разных средств транспорта. Директивой предусмотрено создание Европейского комитета по ИТС (ЕИС) и консультативной группы по ИТС, состоящей из представителей высокого уровня соответствующих поставщиков услуг ИТС, ассоциаций пользователей, операторов транспорта и сооружений,

промышленности, социальных партнеров, профессиональных ассоциаций, местной администрации и других коллективных органов⁵.

Примеры внедрения ИТС в Европе:

- Программа TEMPO. Инициированная в 2001 году программа TEMPO является частью транспортной программы TEN-T и стала общеевропейским проектом развития ИТС. Прямое финансирование из бюджета Европейской комиссии составило 192 млн евро, общая сумма привлеченных инвестиций составила 1,2 млрд евро за 6 лет [7]. Главной целью программы TEMPO было увеличение безопасности и улучшение качества услуг на дорогах через реализацию серии трансграничных проектов развития ИТС – Streetwise, Viking, Centrico, Arts, SERTI, Corvette, Connect.

- Проект CVIS (Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems). Проект CVIS реализовывался в шестой Рамочной программы Европейского союза консорциумом из 60 участников, среди которых были представлены автомобилестроительные компании, производители автокомпонентов, исследовательские институты, университеты и органы государственной власти. Общий бюджет проекта составил 63 млн евро, из чего треть была предоставлена Европейской комиссией [8]. Цель проекта заключалась в развитии кооперативных интеллектуальных транспортных систем vehicle-to-infrastructure (V2I) и V2V.

Россия. В настоящее время в России довольно востребованы признанные во всем мире и апробированные высокоэффективные инновационные транспортные технологии. В России началом процесса организации национальной ИТС можно считать проведение в апреле 2009 г. Российского международного конгресса по интеллектуальным транспортным системам, прошедшего при официальной поддержке Государственной Думы и Министерства транспорта РФ. В 2008 г. – принята «Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г. [9, 10]. Министерство транспорта РФ создало Департамент программ развития, которому поручено в том числе курировать вопросы ИТС, а в 2009 г. – на основании Федерального закона № 145-ФЗ, создана государственная компания «Автодор»; Затем, в 2012 г. – создан технический комитет по стандартизации в сфере ИТС ТК 57 «Интеллектуальные транспортные системы», который ведет работу по разработке ГОСТ в сфере ИТС. ГК «Автодор» разработан и принят ряд стандартов по созданию и эксплуатации ИТС на автодорогах госкомпании, осуществляется их оснащение современными ИТС⁶. Активно разрабатываются отдельные, но разрозненные элементы ИТС. Российский опыт построения интеллектуальных систем основывается на том, что в основе ИТС должны быть обязательно автоматизированные системы управления дорожным движением (АСУДД).

Примеры внедрения ИТС в России:

- АСУДД Кольцевой автомобильной дороги. Охватывает большую часть Кольцевой автомобильной дороги (кроме Северного участка). АСУДД представляет собой совокупность периферийных устройств, объединенных в единую сеть, а также центрального пункта управления (ЦПУ) и вынесенных пунктов управления (ВПУ). Применяется оборудование двух основных производителей: Siemens и Telegra. Для установки оборудования по основному ходу используются 74 п-

⁵ About CVIS. URL: http://www.cvisproject.org/en/about_cvis/objectives

⁶ About of Arada System. URL: <http://www.aradasystems.com/products>

образные опоры. Вся информация стекается в Центральный пункт управления КАД по волоконно-оптическим кабелям, общая протяженность которых – порядка 350 км. Сеть передачи данных построена с использованием технологии SDH с организацией большого кольца передачи данных, к которому подключены малые кольца, обеспечивающие связь с установленным на магистрали периферийным оборудованием [11]. На основании данных по интенсивности движения транспортных средств за период 2011–2013 гг., полученных в процессе внедрения и проведения тестовой эксплуатации системы АСУДД, можно увидеть увеличение пропускной способности магистрали на 15–20 %. Наблюдается также снижение количества нарушений скоростного режима и количества аварий на магистрали.

- АСУДД на автодорожном тоннеле судопропускного сооружения С-1. В рамках строительства тоннеля был построен и сейчас активно функционирует Центр управления (Центральный диспетчерский пункт) АСУДД тоннеля. Было разработано специальное программное обеспечение для функционирования данного центра. За происходящим в тоннеле постоянно наблюдают шесть диспетчеров. Информация о состоянии периферийного оборудования тоннеля отображается на специальных мнемосхемах. Основным производителем оборудования – Peek Traffic Ltd.

Транспортная программно-конфигурируемая сеть

Программно-конфигурируемая сеть – современный подход в построении интеллектуальных сетей. Отличительной особенностью таких сетей является разделение уровня управления и уровня передачи данных.

Центральным устройством программно-конфигурируемой сети является контроллер, который выполняет функцию управления сетью. Этот факт позволяет значительно облегчить функционирование и структуру коммутаторов и маршрутизаторов, главной задачей которых теперь является передача пакетов с входного порта на выходной с максимальной скоростью, согласно инструкциям, поступающим от контроллера.

Концепт архитектуры программно-конфигурируемых транспортных сетей представлен на рис. 1.

Архитектура разработанной сети состоит из контроллера программно-конфигурируемой сети, коммутаторов с поддержкой протокола OpenFlow, придорожных элементов сети, устройств на борту автомобиля, а также сервера, на котором будет храниться информация о дорожной обстановке, проводиться вычисления маршрутов, скорости движения и др. Взаимодействие автомобилей в рамках предлагаемой концепции осуществляется по принципам, характерным для сетей VANET. Стоит отметить, что в связи с появлением концепции Умных городов сети VANET рассматриваются как одни из основных, которые позволяют осуществлять коммуникации для реализации различных приложений [11, 12, 13, 14].

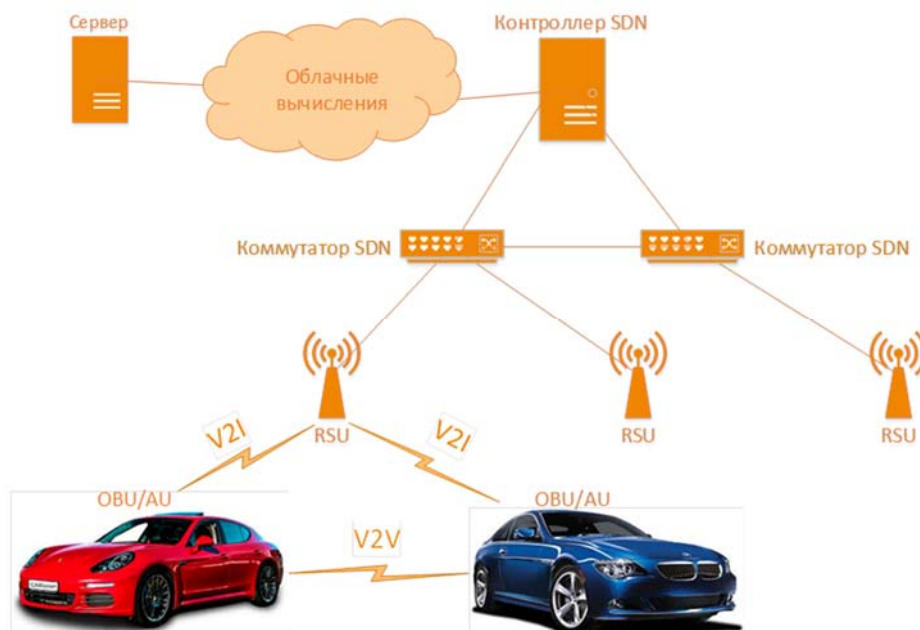


Рис. 1. Архитектура VANET/SDN

Исследование

Основными параметрами для исследования функционирования модельной сети были выбраны:

- Величина задержки в канале;
- Пропускная способность канала;
- Величина потерь пакетов в канале;
- Производительность контроллера SDN.

Для изучения основных параметров функционирования ИТС была разработана модельная сеть, которая показана на рис. 2.

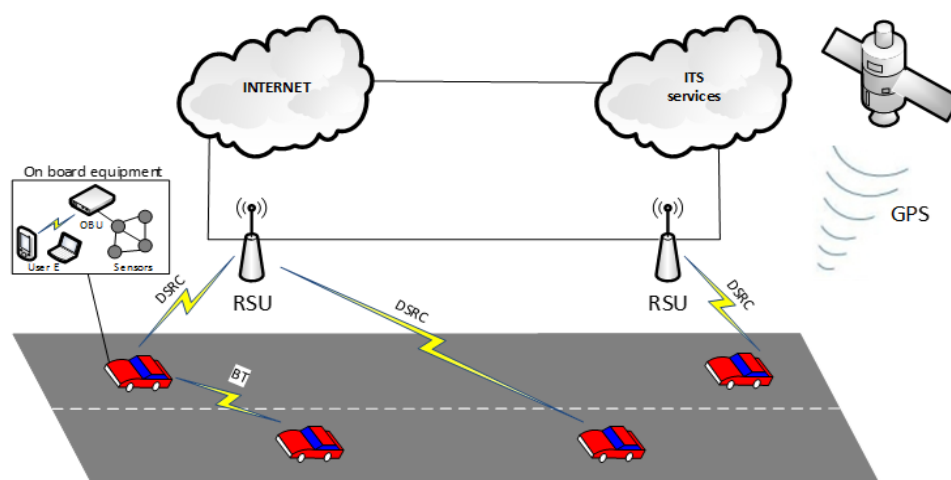


Рис. 2. Архитектура сети для исследования основных параметров ИТС:
Roadside Unit (RSU) — придорожная единица;
On Board Unit (OBU) — бортовая единица;
Dedicated short-range communications (DSRC) — выделенная связь ближнего действия;
Bluetooth (BT) — производственная спецификация беспроводных персональных сетей;
Intelligent Transport Systems (ITS) — интеллектуальные транспортные системы;
Global Positioning System (GPS) — система глобального позиционирования

Для проведения лабораторных и натурных экспериментов будет использовано оборудование индийского производителя Arada Systems.

В качестве придорожного единицы выступает LocoMate™ RSU, в качестве оборудования, устанавливаемого на борт транспортного средства, LocoMate™ OBU и LocoMate™ mini 2. Бортовые единицы LocoMate™ OBU и LocoMate™ mini 2 различаются лишь форм-фактором, обусловлено это тем, что производитель, на момент приобретения оборудования, создавал решения для проведения исследований и тестирования своей продукции и для запуска в пилотных проектах, а не для массового внедрения в масштабных реализациях ИТС⁷. Технические характеристики данного оборудования представлены в табл.

Таблица.

Технические характеристики оборудования Arada Systems

LocoMate™ OBU и LocoMate™ mini	
Аппаратная составляющая	
Модули	DSRC, GPS, Bluetooth
Рабочие частоты	от 5.700 до 5.925 ГГц
Питание	автомобиль, электросеть, PoE (Power of Ethernet)
Ширина п/п канала:	10/20 МГц
Программная составляющая	
Протоколы	802.11p, 1609.2, 1609.3, 1609.4, SAEJ2735, ipv4 /ipv6, ssh/telnet
Дополнительные Возможности	SDK (software development kit)
LocoMate™ RSU	
Аппаратная составляющая	
Модули	DSRC, GPS
Рабочие частоты	от 5.700 до 5.925 ГГц
Питание	PoE (Power of Ethernet)
Ширина п/п канала:	10/20 МГц
Программная составляющая	
Протоколы	802.11p, 1609.2, 1609.3, 1609.4, SAEJ2735, ipv4 /ipv6, ssh/telnet
Дополнительные возможности	SDK (software development kit)

Для проведения экспериментов по тестированию параметров ИТС разработаны следующие сценарии тестирования:

- Исследование величины задержки при передаче, в зависимости расстояния между OBU и RSU;

⁷ About of Arada System. URL: <http://www.aradasystems.com/products>

- Исследование величины потерь в зависимости от расстояния между OBU и RSU;
- Исследование влияния максимальной загруженности канала передачи на величину задержки и потерь пакетов.

Для нагрузочного тестирования контроллера будет использоваться схема, представленная на рис. 3.

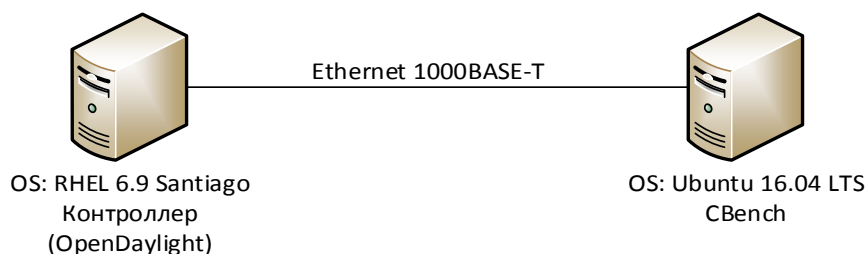


Рис. 3. Схема нагрузочного тестирования контроллера

В качестве инструмента для нагрузочного тестирования контроллера трафиком, генерируемым устройствами VANET, была выбрана утилита CBench (*controller benchmarker*), которая на сегодняшний день является одним из немногих доступных инструментов для проведения тестирования производительности контроллеров.

Измеряемые характеристики:

1. Максимальное, среднее, минимальное количество ответов контроллера в секунду на сообщения `packet_in`.
2. Максимальная, средняя, минимальная задержка между прибытием пакета и соответствующим сообщением `packet_in`.

Выводы

ИТС России находятся на стадии активного развития и решения организационно-технических вопросов в данной области. В сложившейся ситуации исследования и разработки в сфере ИТС очень актуальны, востребованы и перспективны.

На основе проведенных работ по исследованию функционирования интеллектуальных транспортных систем получены следующие результаты:

- 1) Создана модельная сеть на базе оборудования Arada System.
- 2) Определены основные параметры функционирования сети.
- 3) Разработаны и описаны тестовые сценарии.

Технология программно-конфигурируемых сетей позволяет решить ряд недостатков транспортных самоорганизующихся сетей. Использование SDN для управления трафиком, инфраструктурой транспортной сети предоставляет ряд преимуществ:

- 1) Программируемость и гибкость управления сетью.
- 2) Упрощение структуры элементов сети => Снижение стоимости сетевой инфраструктуры.
- 3) Надежность, достигаемая за счет хранения информации о сети и статистики на отдельном устройстве.
- 4) Независимость от проприетарного программного обеспечения.

5) Простота масштабирования сети (как транспортной, так и плоскости управления).

Заключение

При дальнейших исследованиях предполагается провести лабораторные и натурные эксперименты с тестированием основных параметров, их последующей статистической обработкой контроллером SDN, и проверкой соответствия оборудования Arada System требованиям СТО АВТОДОП 8.5-2014.

Литература

1. Жанказиев С. В. Интеллектуальные транспортные системы. М.: МАДИ. 2016. 13 с.
2. Солодкий А. И. Развитие ИТС в России – проблемы и пути их решения // Техника и технология транспорта. 2016. № 1. С. 15–20.
3. Ezell S. Intelligent Transportation Systems. D.C.: ITIF. 2010. 21 p.
4. Меренков А. О. Зарубежный опыт в области реализации интеллектуальных транспортных систем // Вестник университета (Государственный университет управления). 2015. № 7. С. 100–102.
5. Infrastructure Ministry of Land and Transport. ITS introduction guide-shift from legacy systems to smartway. Chapter 2. Smartway. 2007. pp. 25–28.
6. Mike McDonald. Intelligent Transport Systems in Europe: Opportunities for Future Research. 2006. 308 p.
7. Козлов Л. Н., Урличич Ю. М., Циклис Б. Е. О концептуальных подходах формирования и развития интеллектуальных транспортных систем в России // Транспорт Российской Федерации. 2009. № 3–4 (22). С. 22–23.
8. Комаров В. В., Гараган С. А. Архитектура и стандартизация телематических и интеллектуальных транспортных систем. Зарубежный опыт и отечественная практика. М.: НТБ «Энергия». 2012.
9. Клиновштейн Г. И. Задачи улучшения организации дорожного движения // Системный анализ дорожного движения и дорожно-транспортных происшествий. 1989.
10. Кременец Ю. А., Печерский М. П. Технические средства обеспечения организации дорожного движения. М.: ЦБНТИ Минавтотранса РСФСР. 1981.
11. Шилин П. А., Киричек Р. В. Исследование возможности применения роя БПЛА для организации инфраструктуры сети VANET // 19-я Международная научная конференция «Распределенные компьютерные и телекоммуникационные сети: управление, вычисление, связь (DCCN)». 2016. С. 394–400.
12. Shilin P., Kirichek R., Paramonov A., Koucheryavy A. Connectivity of VANET segments using UAVs // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9870. pp. 492–500.
13. Шилин П. А., Киричек Р. В. Обеспечение связи движущихся узлов VANET на основе подобию их траекторий движения // 72-я Всероссийская научно-техническая конференция, посвященная Дню радио. 2017. С. 205–207.
14. Makolkina M., Paramonov A., Vladyko A., Dunaytsev R., Kirichek R., Koucheryavy A. The Use of UAVs, SDN, and Augmented Reality for VANET Applications // Advances in Intelligent Systems Research. 2018. Vol. 134. pp. 153–157.

References

1. Zhankaziev S. Intelligent transport systems. M.: MADI. 2016. 13 p.
2. Solodkiy A. The development of ITS in Russia – problems and solutions // Tekhnika i tekhnologiya transporta. 2016. No. 1. pp. 15–20.
3. Ezell S. Intelligent Transportation Systems. D.C.: ITIF. 2010. 21 p.
4. Merenkov A. International experience in the implementation of the intelligent transportation system // Vestnik universiteta (Gosudarstvennyi universiteta upravleniya). 2015. No. 7. pp. 100–102.

5. Infrastructure Ministry of Land and Transport. ITS introduction guide-shift from legacy systems to smartway. Chapter 2. Smartway. 2007. pp. 25–28.
6. Mike McDonald. Intelligent Transport Systems in Europe: Opportunities for Future Research. 2006. 308 p.
7. Kozlov L., Urlichich Yu., Tsiklis B. On the conceptual approaches to forming and development of intellectual transport systems in Russia // Transport Rossiyskoy Federatsii. 2009. No. 3–4 (22). pp. 22–23.
8. Komarov V., Garagan S. Architecture and standardization of telematic and intelligent transport systems. Foreign experience and domestic practice. M.: NTB «Energiya». 2012.
9. Klinkovstein G. Task of improving road traffic management // System analysis of traffic and road accidents. 1989.
10. Kremenets Yu., Pecherskiy M. Technical means for ensuring the organization of traffic. M.: TSBNTI Minavtotransa RSFSR. 1981.
11. Shilin P., Kirichek R. Research the possibility of using UAVs swarm for organization VANET infrastructure // 19th International conference «Distributed computer and telecommunication networks: control, computation, communications (DCCN)». 2016. pp. 394–400.
12. Shilin P., Kirichek R., Paramonov A., Koucheryavy A. Connectivity of VANET segments using UAVs // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9870. pp. 492–500.
13. Shilin P., Kirichek R. Providing communication of moving VANET nodes based on the similarity of their trajectories of motion // 72d All-Russian scientific-technical conference, dedicated to the Day of Radio. 2017. pp. 205–207.
14. Makolkina M., Paramonov A., Vladyko A., Dunaytsev R., Kirichek R., Koucheryavy A. The Use of UAVs, SDN, and Augmented Reality for VANET Applications // Advances in Intelligent Systems Research. 2018. Vol. 134. pp. 153–157.

Матвиенко**Никодим Александрович**

– студент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232,
Российская Федерация,
matvienko.nikodim@gmail.com

Новиков Максим Игоревич

– студент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232,
Российская Федерация, novikov.mix@mail.ru

Киричек Руслан Валентинович

– кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ,
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация,
kirichek@sut.ru

Matvienko Nikodim

– Undergraduate, SPbSUT, St. Petersburg,
193232, Russian Federation,
matvienko.nikodim@gmail.com

Novikov Maxim

– Undergraduate, SPbSUT, St. Petersburg,
193232, Russian Federation, novikov.mix@mail.ru

Kirichek Ruslan

– Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232,
Russian Federation, kirichek@sut.ru