

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

DESIGNING WIRELESS NETWORKS FOR MOBILE OBJECTS

**I. Skorikov
M. Khoroshko**

Summary. In the last decade, mobile communication has developed a lot, allowing you to exchange data with anything, anywhere and anytime. The use of such communication systems in vehicles is a reality today. As a result, movable objects become sensor-rich platforms capable of responding to changes in their environment. As a consequence, wireless communication infrastructure plays an important role in providing information access to vehicles as well as downloading environmental data. The consequence of the development of wireless technologies is the formation of intelligent transportation systems, where vehicles are intelligent objects exchanging data with each other using an intelligent approach. This new concept of data exchange between vehicles, sensors and infrastructure opens up many opportunities such as: driver safety, tracking of incidents on the road, timely response to abnormal situations. At the same time, in order to enjoy these benefits, it is an open question to choose the most reliable wireless network architectures for mobile objects. Taking into account the noted, the article is devoted to the study of features and key points of designing wireless networks for mobile objects on the example of motor vehicles. In the process of the study the results of comparison of VANET and SDN-IoV are presented. Also, the requirements to be met by wireless networks for mobile objects are formulated. An author's approach to wireless network architecture is proposed, which is based on software-defined networks and the Internet of Vehicles. The block diagram of the algorithm of adaptive broadcasting of traffic signals is formalized separately and the principle of operation of the proposed architecture is presented on a practical example. In addition, the functionality that the node layer in the network must support is emphasized. The problems that the network protocol has to face are highlighted. In order to solve these problems it is proposed to use a network layer that implements a localized routing mechanism.

Keywords: wireless network, communication, sensors, exchange, data, protocol, nodes, architecture, vehicles, motion.

Скориков Иван Олегович

Аспирант, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск
i-skorikov@internet.ru

Хорошко Максим Болеславович

кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова», г. Новочеркасск
clevermaks@yandex.ru

Аннотация. В последнее десятилетие мобильная связь получила большое развитие, позволив обмениваться данными с чем угодно, где угодно и в любое время. Использование подобных систем связи в транспортных средствах является реальностью сегодняшнего дня. В результате движимые объекты становятся платформами с большим количеством датчиков, способными реагировать на изменения в окружающей обстановке. Как следствие, инфраструктура беспроводной связи играет важную роль в обеспечении доступа информации к транспортным средствам, а также в загрузке данных об окружающей среде. Следствием развития беспроводных технологий является формирование интеллектуальных транспортных систем, где транспортные средства представляют собой интеллектуальные объекты, обменивающиеся данными между собой с помощью интеллектуального подхода. Эта новая концепция обмена данными между транспортными средствами, датчиками и инфраструктурой открывает много возможностей, таких как: безопасность водителя, отслеживание инцидентов на дорогах, своевременное реагирование на нештатные ситуации. В тоже время, для использования этих преимуществ необходимо решить вопрос выбора наиболее надежных архитектур беспроводных сетей. С учетом отмеченного, статья посвящена изучению особенностей и ключевых моментов проектирования беспроводных сетей для подвижных объектов на примере авто-транспортных средств. В процессе исследования представлены результаты сравнительного анализа технологий VANET и SDN-IoV. Также сформулированы требования, которым должны отвечать беспроводные сети для подвижных объектов. Предложен авторский подход к архитектуре беспроводной сети, которая базируется на программно-определимых сетях и Интернете транспортных средств. Отдельно формализована блок-схема алгоритма адаптивной трансляции сигналов дорожного движения и на практическом примере представлен принцип работы предлагаемой архитектуры. Кроме того, акцентировано внимание на функциональных возможностях, которые должен поддерживать уровень узлов в сети. Выделены проблемы, с которыми приходится сталкиваться сетевому протоколу. С целью решения обозначенных проблем предложено использовать сетевой уровень, реализующий локализованный механизм маршрутизации.

Ключевые слова: беспроводная сеть, связь, датчики, обмен, данные, протокол, узлы, архитектура, транспортные средства, движение.

С увеличением интенсивности дорожного движения в крупных городах и населенных пунктах большинства стран мира возникают дорожные заторы, аварии, увеличиваются выбросы парниковых газов, что приводит к ухудшению качества жизни населения. В данном контексте не подлежит сомнению тот факт, что с ростом интенсивности дорожного движения необходимо внедрять передовые интеллектуальные информационные системы, которые смогут адаптивно отслеживать и контролировать движение транспортных средств. В то же время с появлением электромобилей нового поколения открываются широкие возможности для использования систем автоматической дорожной сигнализации.

Таким образом, можно отметить, что области применения автомобильных сетей многочисленны и разнообразны и включают в себя функции безопасности, предотвращение столкновений, оповещение об авариях и распространение информации. Другие обеспечивают электронную оплату за проезд, отслеживание грузов и активов, а также системы информирования путешественников [1].

Большая часть отмеченных функций и возможностей реализуется на базе Интернета транспортных средств (IoV), получившего широкое развитие и распространение в последнее время. В результате государственные учреждения, промышленные предприятия и исследователи прилагают большие усилия для создания эффективных беспроводных сетей для подвижных объектов, которые способны внести значительный вклад в разработку и внедрение интеллектуальных транспортных систем (ITS). Исключительные характеристики IoV включают в себя высокую вычислительную способность, связь с высокоскоростным соединением, предсказуемую мобильность и переменную плотность сети, которая недоступна в мобильной сети Ad hoc [2]. Кроме того, IoV отличается от автомобильных сетей (VANET) наличием централизованного управления, что делает ее более подходящей для применения в сфере безопасности ITS. С другой стороны, автомобильные сети позволяют подвижным объектам на дорогах превращаться в точки доступа, обеспечивая связь с другими транспортными средствами и объектами инфраструктуры.

Особенно актуальны задачи повышения качества обмена сообщениями между абонентами сети в процессе движения, в зонах с неустойчивой связью, малонаселенных пунктах, труднодоступных территориях, где доступ к Интернету или мобильная связь отсутствуют [3]. Поэтому, в настоящее время, большое внимание уделяется усовершенствованию средств передачи данных, сетевого оборудования, методов взаимодействия между сетями и улучшению предоставления качества информационных услуг.

Особый акцент необходимо сделать на том, что исследование VANET для обеспечения безопасности дорожного движения и управления трафиком в современных больших масштабах сталкивается с определенными сложностями. Чтобы преодолеть эти трудности, VANET требуется программируемая архитектура для реализации современных транспортных услуг. IoV — это эволюционная форма VANET и MANET, более мощная, но более комплексная в реализации [4]. Учитывая динамические аспекты транспортных средств на дороге, проектирование беспроводных сетей и разработка эффективного протокола маршрутизации для передачи данных является сложной задачей. Это связано с тем, что архитектура сетей должна учитывать неоднородность плотности узлов и технологий связи, прерывистость соединения и переменную мобильность.

Таким образом, обозначенная проблематика является теоретически и практически значимой, что и обуславливает выбор темы данной статьи.

Перспективы повышения безопасности дорожного движения с помощью технологий мобильной связи и беспроводных сетей рассматривают в своих трудах Шемякин А.В., Терентьев В.В., Горячкина И.Н., Латышевых Н.М., Elias C. Eze, Sijing Zhang, Enjie Liu, Emmanuel N. Nweso, Joy C. Eze.

Над созданием оптимального протокола маршрутизации для Интернета транспортных средств с уменьшенными накладными расходами трудятся Журавлева Л.М., Левшунов В.В., Рыжков Д.А., Нилов М.А., Бабошин В.А., Бондаренко С.А., Piyush Chouhan, Swapnil Jain, S. Vijayarangam, Gokulnath.

Подходы к разработке системы на основе беспроводной сенсорной сети для измерения и мониторинга дорожного движения рассматривают Плеханов П.А., Роенков Д.Н., Глазунов В.В., Ashit Kumar Dutta, Mohamed Elhoseny.

Однако, несмотря на имеющиеся труды и достижения современных ученых, в связи с появлением новых технологий и расширением использования цифровых инноваций на дорогах, ряд вопросов в данной предметной плоскости требует отдельного внимания. Так, в дальнейшем развитии нуждаются инструменты для сбора данных в режиме реального времени, применяемые на дорогах, а также решения, позволяющие усовершенствовать системы, связанные с «умными дорогами», с помощью беспроводных сенсорных сетей.

Таким образом, цель статьи заключается в изучении особенностей и ключевых моментов проектирования беспроводных сетей для подвижных объектов на примере автотранспортных средств.

Различия между VANET и SDN-IoV

Параметры	VANETs	SDN-IoV
Цель / Задача	Наиболее принципиальной и важной целью VANET с момента ее создания является улучшение безопасности движения во избежание катастрофических жертв и повышение эффективности дорожного движения для минимизации времени, затрат и выбросов загрязняющих веществ	Повышение безопасности движения, эффективности и коммерческой информационно-развлекательной составляющей транспорта. Комплекс, доступный в IoV, предоставляет пассажирам возможность доступа к онлайн-сервисам, включая онлайн-музыку, потоковое видео и мониторинг удаленного доступа
Принципы коммуникации	Два типа связи: — между транспортным средством и автомобилем (V2V); — между транспортным средством и дорожным устройством (V2R)	Пять типов связи: — автомобиль-транспортное средство (V2V); — между транспортным средством и боковым устройством дороги (V2R); — транспортное средство-инфраструктура (V2I); — автомобиль — датчики (V2S); — транспортное средство — все (V2X)
Коммуникационные технологии	Два типа коммуникационных технологий: — беспроводной доступ в транспортной среде (WAVE): i. Выделенная связь малого радиуса действия (DSRC) — непрерывный воздушный интерфейс для большой и средней дальности (CALM) i. GSM2G/GPRS-2.5G ii. UMTS-3G iii. Инфракрасная связь	Пять типов коммуникационных технологий — беспроводной доступ в транспортной среде (WAVE): i. выделенная связь малого радиуса действия (DSRC) — непрерывный воздушный интерфейс для дальней и средней дальности (CALM): i. GSM2G/GPRS-2.5G ii. UMTS-3G iii. Инфракрасная связь — Bluetooth — ZigBee — 4G/LTE
Совместимость	Из-за несовместимой архитектуры сети персональное устройство не может взаимодействовать с автомобилем, что приводит к проблемам использования сети	Благодаря встроенным функциям Интернета вещей можно эффективно интегрировать передачу информации между другими узлами, такими как персональные устройства и интеллектуальные устройства
Удобство использования	Локальное и дискретное, которое подходит для применения в ограниченных масштабах, например, для оповещения и информирования водителей о любых происшествиях на дорогах или для предотвращения столкновений	Обладает гибкостью и устойчивостью применения, для чего имеются вычислительные сети и коммуникационные возможности
Мощность обработки	Имеет ограничения в плане вычислительной мощности для обработки локальной информации, собранной датчиками в окружающей среде	Сети подключены к облаку, что позволяет анализировать большие данные с помощью облачных вычислений. Обработка производится в облаке, что включает в себя анализ данных и сбор информации в режиме реального времени

Прежде всего, необходимо акцентировать внимание на том, что текущая архитектура автомобильных сетей не отвечает основным требованиям, предъявляемым к современным транспортным системам и их приложениям, таким как гибкость и масштабируемость протоколов маршрутизации [4]. Развертывание беспроводных сетей на интеллектуальных шоссе сопряжено с определенными трудностями.

Во-первых, необходимость разработки и реализации сетевой архитектуры, адаптированной к беспроводным технологиям. Это включает в себя выбор топологии и адекватного набора коммуникационных

протоколов, способных обеспечить необходимую автономность.

Во-вторых, жесткие ограничения (в основном по энергопотреблению и возможностям памяти/обработки) узлов сети сильно влияют на задачу принятия решений по ее архитектуре.

Для преодоления обозначенных сложностей, по мнению автора, особого внимания заслуживает новая технология, названная программно-определяемой сетью (SDN), которая модернизирует архитектуру IoV для эффективной и оптимизированной методологии марш-

рутизации. С увеличением количества транспортных средств и дорожно-транспортных происшествий невозможно управлять огромным трафиком больших городов распределенным образом. С развитием коммуникационных технологий SDN позволяет управлять IoV логически централизованно через гетерогенные сети (сотовые сети, придорожные устройства и т.д.) [5]. В настоящее время SDN рассматривается в основном для управления фиксированными сетями, особенно в сетях доступа и центрах обработки данных [6]. Однако, если применить ее к IoV, она также может улучшить транспортную связь на интеллектуальном шоссе. Сравнение технологий VANET и SDN-IoV представлено в таблице 1.

Для того, чтобы спроектировать архитектуру беспроводных сетей для подвижных объектов кратко выделим требования, которым должна отвечать сеть:

1. Топология и динамика сети будет плоской. Это означает, что все узлы сети будут принадлежать к одному уровню иерархии, т.е. будут иметь одинаковые функции и аппаратные компоненты.
2. Географическая информация: узлы должны получать географическую информацию (т.е. координаты) для определения местоположения обнару-

женных событий в контролируемой зоне (в нашем случае — движущихся транспортных средств).

3. Эффективность энергопотребления: важно, чтобы узлы сети работали долго (не менее 2–3 лет), поскольку каждая замена батарей потребует временного прекращения дорожного движения. Ключевым моментом здесь является максимально возможное распределение энергопотребления между всеми узлами сети, чтобы избежать раннего истощения энергии небольшого количества узлов.
4. Обнаружение спорадических событий: в рамках рассматриваемого предметного поля обнаружение событий носит случайный характер, поскольку не существует предопределенного шаблона трафика транспортных средств.
5. Надежность обнаружения событий: высокая важность некоторых критических событий, которые могут быть обнаружены приложением (например, движение автомобиля в противоположном направлении), делает очень важным высокий уровень надежности выявления тех или иных происшествий.

Таким образом, с учетом отмеченного, на рис. 1 представлена разработанная автором архитектура беспро-

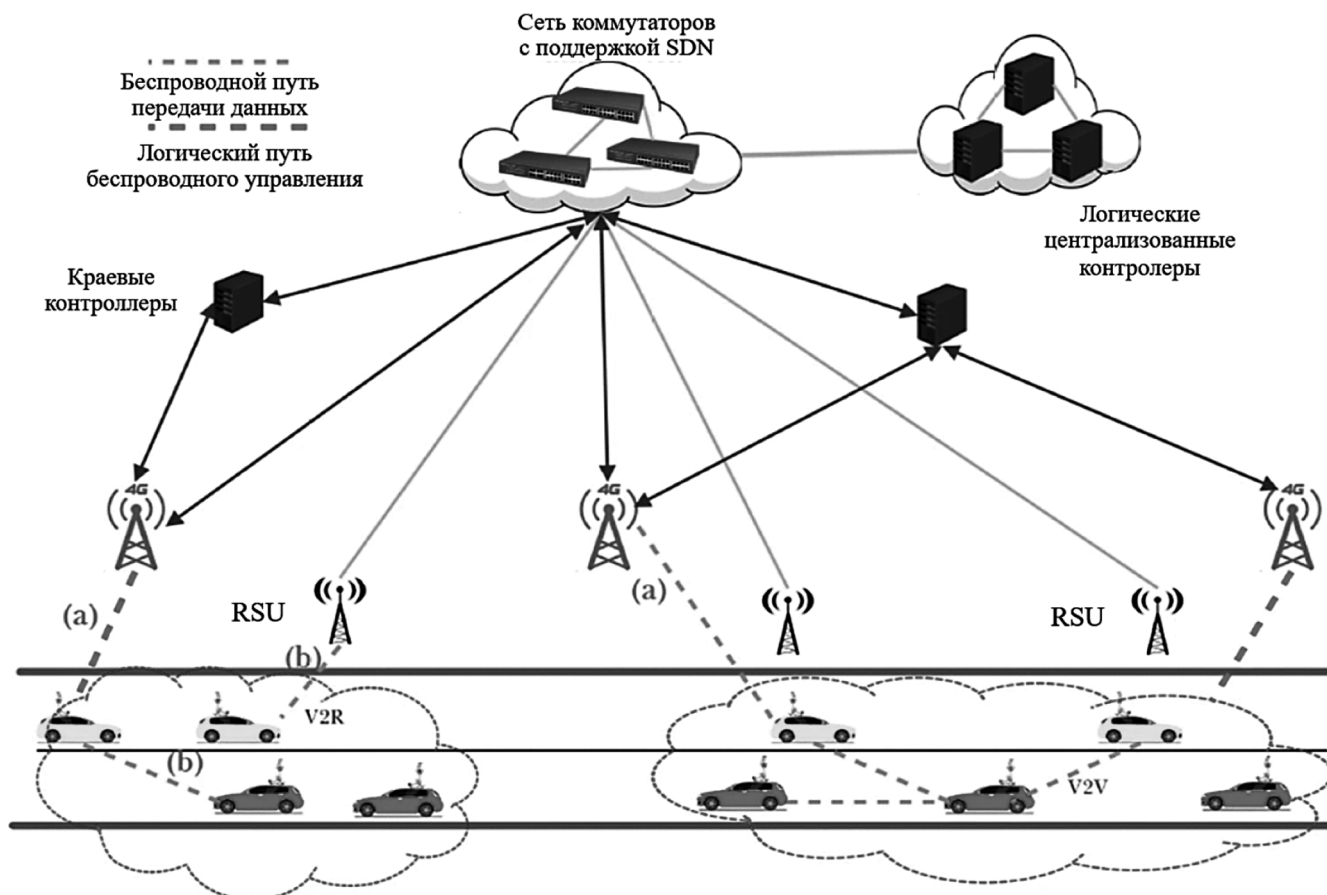


Рис. 1. Архитектура SDN-IoV для подвижных объектов: а) управляющие сообщения от транспортных средств; б) многоходовая связь (транспортное средство — транспортное средство, транспортное средство — устройство на обочине)

водных сетей на основе SDN-IoV для подвижных объектов. При этом предполагается, что движущиеся транспортные средства оборудованы широкими блоками (OBU) (блоки на базе IEEE802.11p), а вдоль дорог расположены придорожные коммуникационные инфраструктуры, которые называются придорожными блоками (RSU).

Предложенная на рис. 1 архитектура состоит из программного обеспечения, названного контроллером, который исследует базовую топологическую информацию, чтобы описать правила пересылки данных, а транспортные средства выступают в качестве немых устройств пересылки. Предлагаемый механизм разделяет трафик управления и трафик данных путем разделения каналов связи, RSU используются для пересылки данных, а сотовая сеть — для передачи трафика управления. В SD-IoV каждое транспортное средство распознается как открытый виртуальный коммутатор с правилами передачи данных, установленными в таблицах потоков [7].

Система использует базовую архитектуру приложения связи транспортного средства с инфраструктурой выделенной связи ближнего радиуса действия, состоящей из RSU и OBU, где RSU подключаются через магистраль Ethernet. Каждый RSU покрывает ячейку размером 500 метров, что позволяет всем автомобилям, приближающимся к перекрестку, иметь возможность связаться с RSU. RSU через широкоэвещательные пакеты отправляет информацию сигнализации на основе полученной информации о трафике. На любых конкрет-

ных перекрестках дорог, например, перекрестках или T-образных перекрестках, RSU можно использовать для передачи информации о сигналах дорожного движения на OBU. Как следствие водителю приходится реагировать на информацию, получаемую бортовыми блоками, встроенными в навигационную систему автомобиля.

Механизм работы взаимодействия массивов между RSU и OBU показан на рис. 2. RSU передает сигнальную информацию на основе измеренной статистики транспортного потока. Когда OBU входит в зону действия RSU и получает первое широкоэвещательное сообщение от RSU, OBU продолжает отправлять одноадресные сообщения с интервалом в 5 с соответствующему RSU, чтобы обновить свою скорость, положение (широту и долготу) и время достижения перекрестка. RSU обновляет список активных OBU в диапазоне через каждые 5 с и ежесекундно передает всем OBU текущее состояние сигнала светофора. Сравнивая оставшееся время до перекрестка и текущую длительность фазы сигнала, OBU может определить, какая фаза сигнала будет зеленой, желтой или красной, когда автомобиль достигнет перекрестка.

Таким образом, OBU может предпринять необходимые действия, например, замедлиться или продолжить движение с текущей скоростью, основываясь на полученной информации.

На рисунке 3 показан принцип работы описываемой системы.

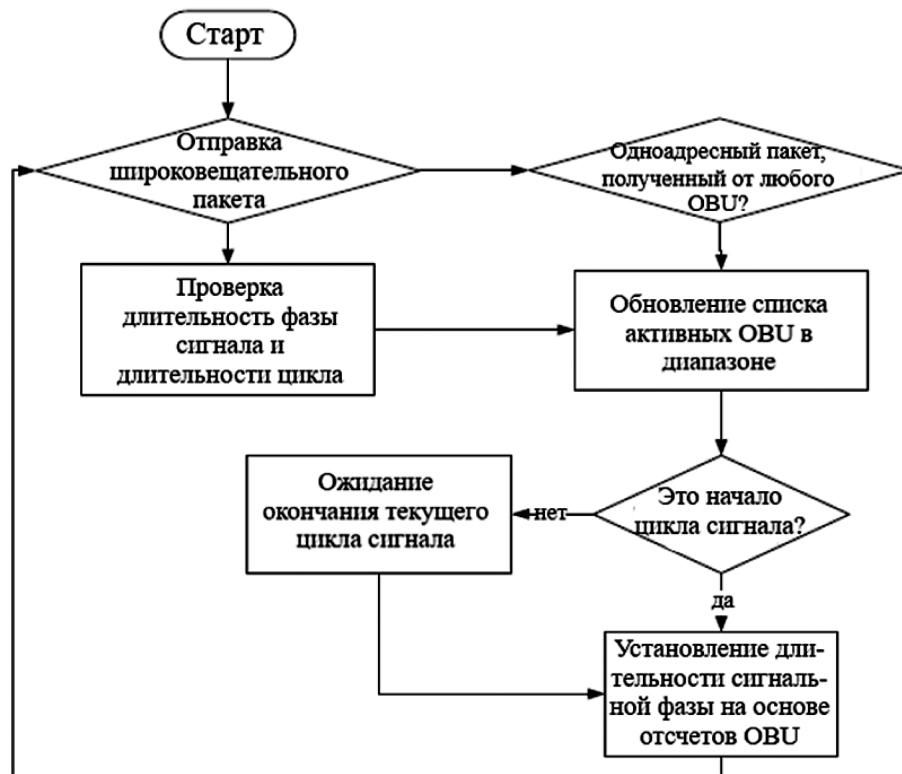


Рис. 2. Блок-схема алгоритма адаптивной трансляции сигналов дорожного движения в RSU

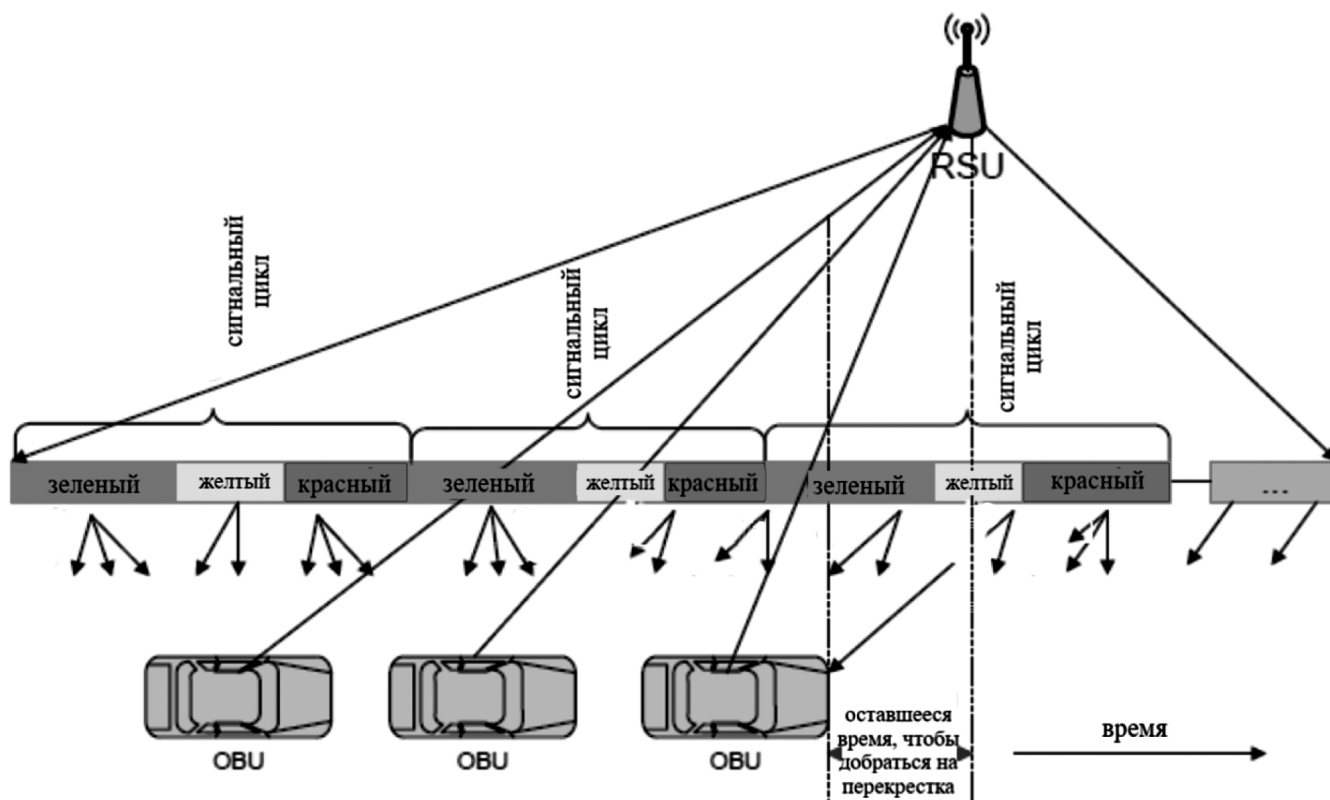


Рис. 3. Принцип работы предлагаемой архитектуры SDN-IoV для подвижных объектов

Принимая во внимание требования, предъявляемые к беспроводным сетям для подвижных объектов, можно определить функциональные возможности, которые должен поддерживать уровень узлов в сети.

Первая проблема, с которой приходится сталкиваться сетевому протоколу, — это высокая динамичность топологии, обусловленная в основном тремя факторами: неисправностями, добавлением и мобильностью узлов [8]. Также большое количество узлов является существенной проблемой, которую необходимо учитывать на сетевом уровне. Традиционные методы маршрутизации, основанные на обнаружении маршрутов «точка-точка», резервировании ресурсов на пути и повторном выявлении альтернативных маршрутов при изменении топологии, не подходят. Начальные задержки, наблюдаемые в этих методах, чрезмерны для аperiodических моделей генерации пакетного трафика с жесткими требованиями к задержке. Кроме того, нецелесообразно резервировать ресурсы для непредсказуемого и аperiodического трафика, поскольку большую часть времени эти ресурсы будут использоваться не полностью. Даже если потоки трафика периодичны и непрерывны, полезность этих методов маршрутизации невелика, поскольку динамика сети приводит к частым перерывам в обслуживании и последующей активации процедур восстановления маршрутов [9].

В процессе восстановления маршрутов данные могут с большими задержками добираться до источника, что

неприемлемо при работе с критически важными приложениями. Наконец, механизмы, основанные на установлении маршрутов «точка-точка», плохо масштабируются, так как они несут большие накладные расходы при обнаружении и восстановлении маршрутов, и каждый узел должен хранить таблицы состояния этих маршрутов [10]. Чтобы избежать влияния изменений топологии, предлагается использовать сетевой уровень, реализующий локализованный механизм маршрутизации. Этот тип маршрутизации обеспечивает адаптивность к динамическим изменениям топологии, поскольку узлам сети не нужно получать глобальную информацию о состоянии узлов. Как следствие, при изменениях топологии, связанных с добавлением, выходом из строя или мобильностью узлов, не будет возникать значительного количества управляющих пакетов.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы.

В настоящее время дорожное движение является важной проблемой во многих промышленно развитых странах. Этот факт делает необходимым создание дорожно-транспортной системы, основанной на беспроводных технологиях и сетях, характеризующейся высокой динамичностью, что позволит снизить уровень заторов и инцидентов. В данной работе предложена архитектура беспроводной сети на базе SDN-IoV для подвижных объектов. Преимущества SDN-IoV, применяемые для управления дорожным движением, позволяют про-

ектировать и разрабатывать системы с высоким уровнем автономности и интеллектуальности. Возможности таких систем по управлению и получению информации о дорожном движении огромны.

В тоже время сложность SDN-IoV требует детального анализа и проектирования архитектуры сети (включая стек протоколов связи, физическую передачу данных, топологию и т.д.), подходящей для небольших устройств (сенсорных узлов).

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазунов В.В., Ченцова П.В., Чернышев А.С., Чуватов М.В. Интеграция микро и макромоделей для моделирования транспортных потоков в интеллектуальных транспортных системах // Мягкие измерения и вычисления. 2020. Т. 35. № 10. С. 5–16.
2. Сухопара Н.С. Анализ различных типов беспроводных сетей, применяемых для создания сети группы автономных транспортных средств // Научно-исследовательский центр «Technical Innovations». 2023. № 17. С. 53–59.
3. Samir A. Elzagheer Mohamed Intelligent Traffic Management System Based on the Internet of Vehicles (IoV) // Journal of Advanced Transportation. 2021. Volume 2021, Issue 1. P. 31–38.
4. Намиот Д.Е., Покусаев О.Н., Чекмарев А.Е. Модели сетевой близости в информационных системах на транспорте // International Journal of Open Information Technologies. 2020. Т. 8. № 9. С. 53–58.
5. Atefeh Hemmati, Mani Zarei A systematic review of congestion control in internet of vehicles and vehicular ad hoc networks: Techniques, challenges, and open issues // International Journal of Communication Systems. 2023. Volume 37, Issue 1. P. 76–82.
6. Ming Mao, Peng Yi Roadside infrastructure deployment scheme based on Internet of Vehicles information service demand // Transactions on Emerging Telecommunications Technologies. 2022. Volume 34, Issue 1. P. 198–204.
7. Дымкова С.С. Облачные IoT платформы и приложения для оптимизационного управления транспортом // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2020. Т. 10. № 4. С. 39–50.
8. Qiang Luo, Meining Ling Modeling Analysis of Improved Minimum Safe Following Distance under Internet of Vehicles // Journal of Advanced Transportation. 2022. Volume 2022, Issue 1. P. 30–39.
9. Yaser Taj, Bahador Bakhshi Reliable and infrastructure-independent routing for the internet of vehicles // International Journal of Communication Systems. 2023. Volume 36, Issue 8. P. 66–73.
10. Азиев Я.Г.О., Алиев Ш.Ю.О., Алиева Л.М.К. Перспективы развития и сдерживающие факторы интернет вещей в транспортной отрасли // Интернаука. 2024. № 7-2 (324). С. 21–23.

© Скориков Иван Олегович (i-skorikov@internet.ru); Хорошко Максим Болеславович (clevermaks@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»