

ISSN 2500-316X (Online)

<https://doi.org/10.32362/2500-316X-2019-7-6-87-95>



УДК 007.51

Инфраструктурный обзор распределенной телекоммуникационной системы дорожного движения и ее протоколов

Н.Н. Калигин^{1,@},
С.У. Увайсов¹,
А.С. Увайсова¹,
С.С. Увайсова²

¹МИРЭА – Российский технологический университет, Москва 119454, Россия

²Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва 123592, Россия

@Автор для переписки, e-mail: nkaligin@yandex.ru

Для организации эффективной транспортной структуры современные дорожные телекоммуникационные системы обеспечивают сбор информации о транспортном средстве, подключенном к системе, и анализируют ее. Данной информацией являются параметры движения, местоположение, параметры состояния систем автомобиля. После обработки и анализа указанной информации возможно формирование рекомендаций и управляющих воздействий. Эти рекомендации используются водителем или автоматизированной системой управления автомобилем. В данной статье описан общий принцип работы современных транспортных телекоммуникационных систем. Выделены протоколы взаимодействия типа «автомобиль-автомобиль» в данной системе, описаны технологии беспроводной связи, позволяющие реализовать это взаимодействие. Разработан один из принципов, по которому система может определить оптимальность использования ресурса автомобиля и агрессивность стиля вождения грузового транспортного средства на основе алгоритма автоматизированной выдачи рекомендации по действиям водителя. Данный принцип рассмотрен на примере серии нагрузочных характеристик дизельного двигателя. Сформулирован принцип выбора оптимальной серии рекомендаций группе водителей для оптимизации движения транспортного потока через взаимодействие типа «автомобиль-автомобиль».

Ключевые слова: распределенные телекоммуникационные системы, автомобильное оборудование, придорожное оборудование, DSRC 802.11p, LTE V2x, удельный расход топлива.

Для цитирования: Калигин Н.Н., Увайсов С.У., Увайсова А.С., Увайсова С.С. Инфраструктурный обзор распределенной телекоммуникационной системы дорожного движения и ее протоколов. *Российский технологический журнал*. 2019;7(6):87-95. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2019-7-6-87-95>

Infrastructural review of the distributed telecommunication system of road traffic and its protocols

Nikolay N. Kaligin^{1,®},
Saygid U. Uvaysov¹,
Aida S. Uvaysova¹,
Svetlana S. Uvaysova²

¹MIREA – Russian Technological University, Moscow 119454, Russia

²National Research University Higher School of Economics, Moscow 123592, Russia

®Corresponding author, e-mail: nkaligin@yandex.ru

To organize an efficient transport structure, modern road telecommunication systems provide information collection about the vehicle connected to the system and analyze it. The modern car in such a system is considered to be connected. Such information systems can collect information about the vehicle. This information includes its driving parameters, location, and the parameters of the vehicle systems state. After processing and analyzing this information, it is possible to form recommendations and control actions. These recommendations are used by the driver or an automated vehicle control system. This article describes the general principle of the operation of modern transport telecommunication systems. The car-to-car type of interaction protocols are highlighted in this system. Wireless communication technologies that allow this interaction to be implemented are described. One of the principles was developed, according to which the system can determine the optimal use of the vehicle resource and the aggressiveness of the driving style of a freight vehicle on the basis of an automated algorithm for issuing recommendations for driver actions. This principle is considered as exemplified by a series of load characteristics of a diesel engine. The principle of choosing the optimal series of recommendations to a group of drivers to optimize the movement of traffic through the car-to-car interaction has been formulated.

Keywords: distributed telecommunication systems, automotive equipment, roadside equipment, DSRC 802.11p, LTE V2x, specific fuel consumption.

For citation: Kaligin N.N., Uvaysov S.U., Uvaysova A.S., Uvaysova S.S. Infrastructure review of the distributed telecommunication system of road traffic and its protocols. *Rossiiskii tekhnologicheskii zhurnal* = Russian Technological Journal. 2019;7(6):87-95 (in Russ.). <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2019-7-6-87-95>

Введение

За последние несколько десятилетий телекоммуникационные системы прошли довольно внушительный путь и теперь готовы к тому, чтобы решения, построенные на их базе, качественно дополнили практически все аспекты человеческой жизни. Один из главных аспектов жизни человека – это реализация свободы передвижения и улучшение транспортной доступности. Поток автомобилей на дорогах, действия пешеходов, возникающие в ходе движения, типичные и нетипичные ситуации на дороге создают огромный поток информации, которую необходимо анализировать для организации эффективной транспортной структуры. Такого рода анализ обеспечивают дорожные телекоммуника-

ционные системы. Современный автомобиль в этой системе считается подключенным. Такие информационные системы могут обеспечивать сбор информации о транспортном средстве: его параметрах движения, местоположении, параметрах состояния систем автомобиля. После обработки и анализа указанной информации возможно формирование рекомендаций и управляющих воздействий. Эти рекомендации используются водителем или автоматизированной системой управления автомобилем.

Первые телекоммуникационные системы использовали спутниковые или специализированные сети из-за недостаточно развитой структуры мобильных сетей. Позже возможности систем значительно расширились благодаря широкому распространению сотовых вышек и отключению «избирательной доступности» системы Navstar GPS. После этого стало возможно коммерческое использование спутниковой группировки не только для отслеживания транспорта при передвижении на дальних расстояниях, но и использование спутников для навигации в городских условиях, в том числе при плотном потоке транспорта.

В ходе развития транспортные телекоммуникационные системы перешли от пассивного мониторинга к обеспечению безопасности дорожного движения и грузоперевозок. Данные обстоятельства привлекли внимание регуляторов развитых стран, после чего начали формироваться правовые аспекты в данной области. Начали создаваться государственные системы, такие как ЭРА-ГЛОНАСС и eCall. Позже эти системы были расширены для согласованной работы друг с другом и обеспечения сопутствующих сервисов. Это сервисы страховой телематики и сервисы взаимодействия автомобилей между собой и с элементами дорожной инфраструктуры.

В наше время дорожная инфраструктура и сопутствующие ей сервисы представляют собой развитую распределенную телекоммуникационную систему (рис. 1). Основные ее компоненты – подсистема автомобильного оборудования, подсистема ГНСС (глобальная навигационная спутниковая система), подсистема беспроводной связи и подсистема придорожного оборудования [1].

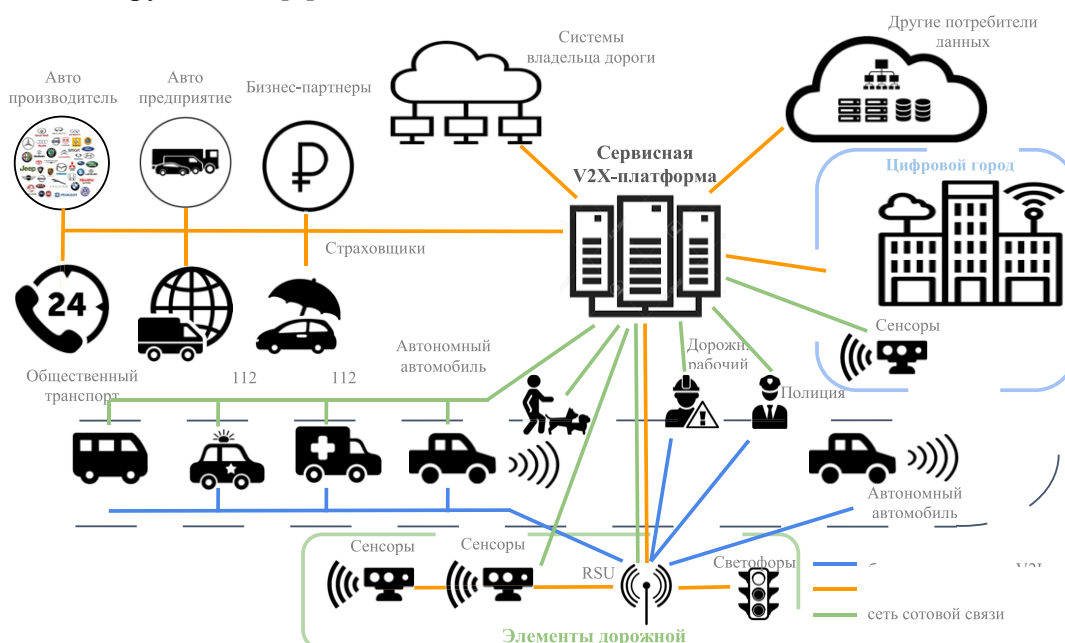


Рис. 1. Архитектура систем, обеспечивающих взаимодействия автомобилей с дорожной инфраструктурой.

Подсистема автомобильного оборудования отвечает за определение автомобилем собственного местоположения. Тут могут использоваться как спутниковые группировки и получение с них сигнала, так и методы инерциальной навигации, какие-то специфические способы определения местоположения, использующие свои способы связи.

Еще одну функцию, которую обеспечивает подсистема автомобильного оборудования – беспроводная передача данных. До недавнего времени в основном использовалась сотовая связь, но в современных решениях уже внедряются другие технологии – ITS-G5 и c-V2x.

Одной из важнейших функций подсистемы автомобильного оборудования является сбор и обработка информации. Это, в том числе, анализ данных с внутренних и внешних датчиков, определение и классификация события по установленной логике с последующим формированием сообщений и передача их в телекоммуникационную систему, в том числе и автомобилям. При невозможности передачи информация сохраняется в бортовой системе. Кроме того, должна быть предусмотрена методика обработки команд, информации и уведомлений к автомобилю от телекоммуникационной системы [2].

Подсистема ГНСС – это одна из самых укоренившихся систем в общей архитектуре. Количество действующих спутниковых группировок увеличивается, хотя в полном масштабе развернуты и работают только две – GPS и ГЛОНАСС. Еще две на подходе, и их использование положительно повлияет на качество услуг.

Для обеспечения качественной передачи данных на всех участках дорожного движения должна быть развернута подсистема беспроводной связи. В России развернуты сети GSM (2G), UMTS (3G) и LTE (4G). Системы связи на основе ITS-G5 и c-V2x в Российской Федерации не представлены. Беспроводная связь должна обеспечивать непрерывное взаимодействие автомобилей с подсистемой придорожного оборудования.

Подсистемы придорожного оборудования принимают такие данные от автомобилей, как местоположение, скорость, направление и характер движения. Автомобилям в свою очередь передаются сигналы о состоянии светофоров, статусе дорожных работ и прочая информация. Перед передачей автомобилям данных и после сбора информации от транспортных средств происходит анализ текущей ситуации и поиск статистических закономерностей.

Технологии беспроводной связи, позволяющие реализовать взаимодействие типа «автомобиль-автомобиль»

Из приведенного выше общего описания архитектуры телекоммуникационной транспортной системы видно, что тонким местом в реализации таких систем является передача данных между автомобилями. Сейчас существуют две технологии, которые позволяют реализовать сценарии взаимодействия между автомобилями – это технологии DSRC 802.11p и LTE V2x.

Технология DSRC 802.11p полностью стандартизирована, в комплексе стандартов ETSI описан полный стек протоколов (рис. 2).

Дорожная карта развития технологий LTE V2x (c-V2x) предполагает появление серийных продуктов на базе данной технологии в течение ближайших 5 лет. Из описания стандартов и представленных дорожных карт можно сделать вывод о том, что две технологии дополняют друг друга [3, 4]. Обе имеют недостатки, которые взаимно компенсируются преимуществами каждой из технологий (таблица).

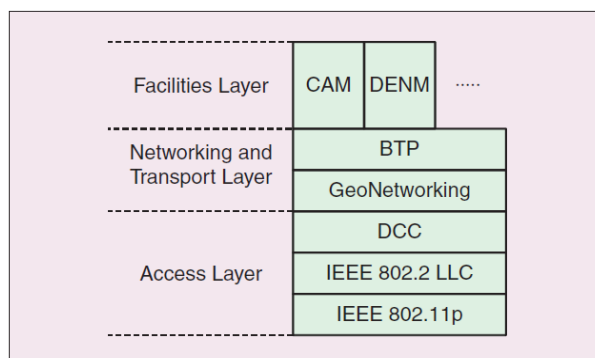


Рис. 2. Стек протоколов C-ITS, стандартизированный ETSI
(Facilities Layer – уровень объектов,
Networking and Transport Layer – сетевой и транспортный уровень,
Access Layer – уровень доступа).

Таблица 1. Взаимодополняемость протоколов LTE V2x и 802.11p

Возможности технологии V2X \ протокол"	802.11p	LTE-V2X	802.11p + LTE-V2X
Работа при отсутствии сети	✓	ограниченно	✓
Поддержка взаимодействия V2V	✓	ограниченно	✓
Поддержка критических сценариев, связанных с безопасностью	✓	×	✓
Поддержка услуг на основе мультимедиа	ограниченно	✓	✓
Поддержка взаимодействия V2I	ограниченно	✓	✓
Покрытие сети	×	✓	✓
Возможность развития протокола физического уровня для поддержки новых сценариев	×	✓	✓

Обе технологии обеспечивают передачу данных в специфических условиях, которыми являются высокие относительные скорости объектов, низкие задержки передачи сообщений, высокая пропускная способность, выделенные каналы для сообщений, связанных с безопасностью, обеспечения аутентификации участников обмена данными и высокая надежность при большой нагрузке.

Использование протоколов высокоскоростного взаимодействия типа «автомобиль-автомобиль» для оптимизации транспортных потоков дорожного движения

Описанные выше технологии позволяют проводить высокоскоростной обмен сообщениями между машинами, находящимися в движении. На основе статистических, эмпирических и оптимизационных методов для каждой из машин можно подобрать методику выдачи рекомендаций водителю для оптимального передвижения.

Параметрами оптимизации могут быть различные параметры движения. Наиболее важны те параметры, оптимизация которых повышает экономическую эффективность поездки либо повышает безопасность передвижения. Одновременно увеличивают безопасность движения и экономическую выгоду поездки такие параметры, как расход топлива и параметр износа ресурса двигателя.

В контексте движения одной единицы рекомендации для реализации оптимального вождения наиболее важны водителям грузового автотранспорта. Расход топлива у грузо-

вого автотранспорта выше, чем у легкового. Количество ступеней коробки передач может достигать 16, и для получения навыка высококвалифицированного вождения у шофера может уйти много времени [5].

В контексте оптимизации движения общего пассажиропотока выдача рекомендаций для реализации оптимального вождения наиболее важны водителям легкового автотранспорта. Маневры легковой автотранспорт совершает быстрее. Общий расход топлива на отдельных участках может значительно превышать общий расход грузового автотранспорта. Однако для выдачи оптимальных рекомендаций недостаточно одних только персональных рекомендаций. Необходимо выдавать рекомендации, исходя из текущей ситуации транспортного потока, а для этого нужна быстрая передача данных между единицами транспорта, анализ этих данных и выдача комплексных рекомендаций. Комплексные рекомендации должны в итоге способствовать не оптимизации расхода топлива и расхода ресурса двигателя конкретного автомобиля, а оптимизации совокупного расхода топлива и совокупного расхода ресурса двигателей автомобилей на анализируемом участке [6, 7].

Рассмотрим в качестве примера работу дизельного двигателя OM457LA. Показатели двигателя внутреннего сгорания в отношении степени совершенства рабочего процесса в каждой точке поля режимов характеризуются удельным расходом топлива и описываются следующей зависимостью:

$$q_g = 1000 \times \frac{G_t}{N_g}, \quad (1)$$

где: q_g – удельный эффективный расход топлива, г/кВт·ч;

G_t – часовой расход топлива, кг/ч;

N_g – эффективная мощность на валу двигателя, кВт.

После анализа серии нагрузочных характеристик (рис. 3) дается заключение, что из-за значительного роста удельного расхода топлива при работе двигателя с высокой частотой вращения коленчатого вала в эксплуатации даже при «динамичном» стиле вождения следует избегать скоростных режимов, превышающих 1800–1900 мин⁻¹, своевременно переходя на более высокие передачи. Понижение среднего скоростного режима работы двигателя с 1600–1800 до 1200–1400 мин⁻¹ при «экономичном» стиле вождения может способствовать снижению эксплуатационного расхода топлива не менее чем на 5–7% [8].

Аналогично можно вычислить эксплуатационные параметры для других транспортных средств. При взаимодействии друг с другом и с телекоммуникационной системой на уровне подсистемы придорожного оборудования эти данные агрегируют и анализируют вычислительные ресурсы, отведенные на участок дорожной инфраструктуры.

Системе необходимо решить задачу оптимального управления, решением которой будет минимум функционала:

$$J = \sum_{i=1}^n c_i Q_i(q_{gi}, v_i, v_i), \quad (2)$$

где: q_{gi} – удельный эффективный расход топлива i -го транспортного средства;

v_i – частота вращения коленчатого вала i -го транспортного средства;

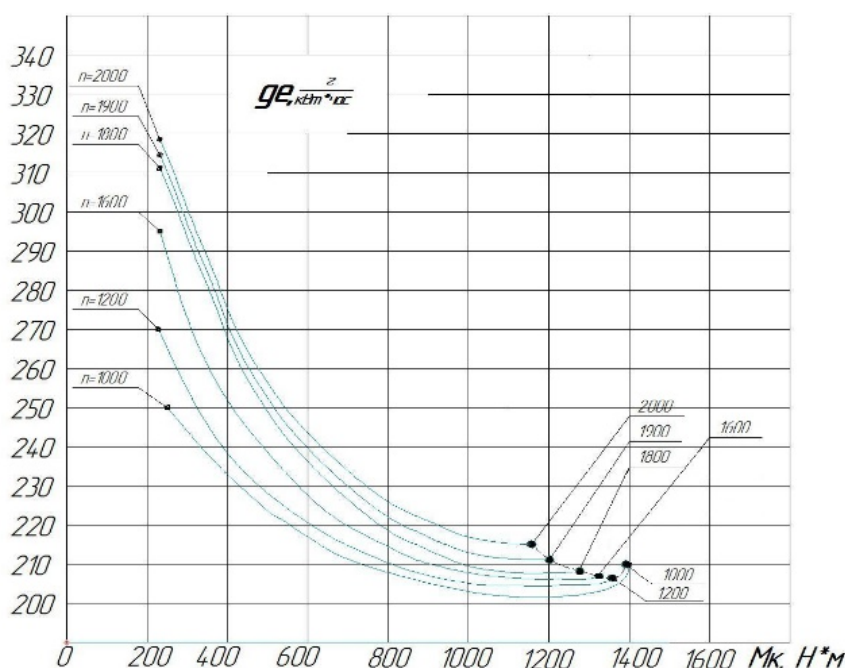


Рис. 3. Серия нагрузочных характеристик на примере дизельного двигателя OM457LA (по данным НАМИ).

v_i – скорость движения i -го транспортного средства;

c_i – коэффициент участия i -го автомобиля в транспортном потоке.

Если данные об оптимальной эксплуатации конкретного транспортного средства не представлены в придорожной подсистеме, то они передаются от транспортного средства. Если придорожная транспортная система не обладает достаточными вычислительными ресурсами, то в вычислении образовавшейся задачи оптимального управления (2) принимают участие вычислительные мощности подсистем автомобильного оборудования [9–11]. При решении задачи оптимального управления участникам дорожного движения выдаются рекомендации касательно передвижения.

Заключение

В данной статье описан общий принцип работы современных транспортных телекоммуникационных систем. Показано, что протоколы взаимодействия типа «автомобиль-автомобиль» DSRC 802.11p и LTE V2x дополняют друг друга и позволяют решать задачи обмена информацией внутри телекоммуникационной системы. Продемонстрирован один из принципов, по которому система может определить оптимальность использования ресурса автомобиля и агрессивность стиля вождения водителя грузового транспортного средства на основе алгоритма автоматизированной выдачи рекомендации по действиям водителя. Данный принцип рассмотрен на примере серии нагрузочных характеристик дизельного двигателя. Сформулирован принцип выбора оптимальной серии рекомендаций группе водителей для оптимизации движения транспортного потока через взаимодействие типа «автомобиль-автомобиль».

Литература:

1. Hartenstein H., Laberteaux K.P. A tutorial survey on vehicular Ad Hoc networks // IEEE Commun. Mag. 2018. V. 46. P. 164–171. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2008.4539481>

2. Muhammada M., Safdar G.A. Survey on existing authentication issues for cellular-assisted V2X communication // *Veh. Commun.* 2018. V. 12. P. 50–65. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2018.01.008>
3. Mateo Sanguino T.J. 50 years of rovers for planetary exploration: A retrospective review for future directions // *Robot. Auton. Syst.* 2017. V. 94. P. 172–185. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2017.04.020>
4. Silva R., Iqbal R. Ethical implications of social Internet of vehicles systems // *IEEE Internet Things J.* 2019. V. 6. P. 517–531. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2841969>
5. Chen S., Hu J., Shi Y., Zhao L. LTE-V: A TD-LTE-Based V2X solution for future vehicular network // *IEEE Internet Things J.* 2016. V. 3. P. 997–1005. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2611605>
6. Sun S.H., Hu J.L., Peng Y., Zhao L., Fang J.Y. Support for vehicle-to-everything services based on LTE // *IEEE Wirel. Commun.* 2018. V. 23. P. 4–8. <https://doi.org/10.1109/MWC.2016.7498068>
7. Воронов А.С., Воронов А.С., Калигин Н.Н. Определение стиля вождения в интеллектуальных системах страховой телематики // *Ползуновский альманах*. 2014. № 1. С. 124–129.
8. Воронов А.С., Тюфяков А.С., Калигин Н.Н. Научные основы алгоритма автоматизированной выдачи рекомендаций водителю // *Ползуновский альманах*. 2016. № 2. С. 34–37.
9. Seo H., Lee K.D., Yasukawa S., Pen, Y., Sartori P. LTE evolution for vehicle-to-everything services // *IEEE Commun. Mag.* 2016. V. 54. P. 22–28. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2016.7497762>
10. Abboud K., Omar H.A., Zhuang W. Interworking of DSRC and cellular network technologies for V2X communications: A survey // *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2016. V. 65. P. 9457–9470. <https://doi.org/10.1109/TVT.2016.2591558>
11. Jing P., Huang W., Chen L. Car-to-pedestrian communication safety system based on the vehicular Ad-Hoc network environment: A systematic review // *Information*. 2017. V. 8(4). P. 127. <https://doi.org/10.3390/info8040127>

References:

1. Hartenstein H., Laberteaux K.P. A tutorial survey on vehicular Ad Hoc networks. *IEEE Commun. Mag.* 2018;46:164–171. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2008.4539481>
2. Muhammada M., Safdar G.A. Survey on existing authentication issues for cellular-assisted V2X communication. *Veh. Commun.* 2018;12:50–65. <https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2018.01.008>
3. Mateo Sanguino T.J. 50 years of rovers for planetary exploration: A retrospective review for future directions. *Robot. Auton. Syst.* 2017;94:172–185. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2017.04.020>
4. Silva R., Iqbal R. Ethical Implications of Social Internet of Vehicles Systems. *IEEE Internet Things J.* 2019;6:517–531. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2841969>
5. Chen S., Hu J., Shi Y., Zhao L. LTE-V: A TD-LTE-Based V2X Solution for future vehicular network. *IEEE Internet Things J.* 2016;3:997–1005. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2611605>
6. Sun S.H., Hu J.L., Peng Y., Zhao L., Fang J.Y. Support for vehicle-to-everything services based on LTE. *IEEE Wirel. Commun.* 2018;23:4–8. <https://doi.org/10.1109/MWC.2016.7498068>
7. Voronov A.S., Voronov A.S., Kaligin N.N. Definition of driving style in intellectual systems of insurance telematics. *Polzunovsky Almanakh*. 2014;1:124–129 (in Russ.).
8. Voronov A.S., Tyufyakov A.S., Kaligin N.N. Scientific basis of the algorithm for automated issuing recommendations to the driver. *Polzunovsky Almanakh*. 2016;2:34–37 (in Russ.).
9. Seo H., Lee K.D., Yasukawa S., Peng Y., Sartori P. LTE evolution for vehicle-to-everything services. *IEEE Commun. Mag.* 2016;54:22–28. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2016.7497762>
10. Abboud K., Omar H.A., Zhuang W. Interworking of DSRC and cellular network technologies for V2X communications: A survey. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2016;65:9457–9470. <https://doi.org/10.1109/TVT.2016.2591558>
11. Jing P., Huang W., Chen L. Car-to-pedestrian communication safety system based on the vehicular Ad-Hoc network environment: A systematic review. *Information*. 2017;8(4):127. <https://doi.org/10.3390/info8040127>

Об авторах:

Калигин Николай Николаевич, аспирант кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Института радиотехнических и телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). ResearcherID H-9961-2016, <https://orcid.org/0000-0001-7666-8339>

Увайсов Сайгид Увайсович, доктор технических наук, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоэлектронных средств Института радиотехнических и телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). Scopus Author ID 55931417100, ResearcherID H-6746-2015, <https://orcid.org/0000-0003-1943-6819>

Увайсова Аида Сайгидовна, аспирант кафедры конструирования и производства радиоэлектронных средств Института радиотехнических и телекоммуникационных систем ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). Scopus Author ID 57209460276, ResearcherID AAB-2095-2019, <https://orcid.org/0000-0002-4665-0741>

Увайсова Светлана Сайгидовна, аспирант Департамента компьютерной инженерии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (123592, Россия, Москва, Таллинская ул., д. 34).

About the authors:

Nikolay N. Kaligin, Postgraduate Student of the Chair of Design and Production of Radio Electronic Equipment, Institute of Radio Engineering and Telecommunications Systems, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow 119454, Russia). ResearcherID H-9961-2016, <https://orcid.org/0000-0001-7666-8339>

Saygid S. Uvaysov, Dr. of Sci. (Engineering) (A post-doctoral degree called Doctor of Sciences is given to reflect second advanced research qualifications or higher doctorates in ISCED 2011), Head of the Chair of Design and Production of Radio Electronic Equipment, Institute of Radio Engineering and Telecommunication Systems, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow 119454, Russia). Scopus Author ID 55931417100, ResearcherID H-6746-2015, <https://orcid.org/0000-0003-1943-6819>

Aida S. Uvaysova, Postgraduate Student of the Chair of Design and Production of Radio Electronic Equipment, Institute of Radio Engineering and Telecommunication Systems, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow 119454, Russia). Scopus Author ID 57209460276, ResearcherID AAB-2095-2019, <https://orcid.org/0000-0002-4665-0741>

Svetlana S. Uvaysova, Postgraduate Student of School of Computer Engineering, National Research University Higher School of Economics (34, Tallinskaya ul., Moscow 123592, Russia).