

УДК 629.331+004.6

DOI: 10.46960/1816-210X_2022_2_105

КОНСОЛИДАЦИЯ ДАННЫХ В КОММУНИКАЦИОННОЙ ПЛАТФОРМЕ ДЛЯ ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В.В. Савченко

ORCID: 0000-0002-2645-7645 e-mail: uus@tut.by

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

*Минск, Республика Беларусь***В.В. Литарович**

ORCID: 0000-0002-1732-0778 e-mail: veronika.litarovich@gmail.com

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

Анализируется проблема передачи управления водителю при переходе высокоавтоматизированных транспортных средств к ручному режиму управления, находящаяся сегодня на стадии поисковых исследований. Информационная система C-V2X позволяет ставить и решать задачи по прототипированию и апробации передачи управления водителю на определенном высокоавтоматизированном транспортном средстве с использованием ранее разработанных подходов, концепций и методов. Рассмотрены архитектуры развертывания и общие требования к протоколам обмена информацией C-V2X, позволяющие обосновывать технические требования к коммуникационной платформе в зависимости от ее функционала. C-V2X является основной информационной системой, обеспечивающей передачу разнородных данных как уже консолидированных в бортовых системах высокоавтоматизированных транспортных средств, так и «сырых» данных для их последующей консолидации облачными сервисами, с целью последующей реализации различных функционалов в бортовых системах, например, поддержка движения как в автономном режиме, так и в режиме ручного управления.

Ключевые слова: безопасность, высокоавтоматизированное транспортное средство, C-V2X, домен штатной эксплуатации, информационные потоки, консолидация данных, переход от автоматизированного режима управления транспортным средством к ручному.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Савченко, В.В. Консолидация данных в коммуникационной платформе для высокоавтоматизированных транспортных средств / В.В. Савченко, В.В. Литарович // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. 2022. №2. С. 105-114. DOI: 10.46960/1816-210X_2022_2_105

CONSOLIDATION OF DATA IN COMMUNICATION PLATFORM FOR HIGHLY AUTOMATED VEHICLES

V.V. Savchenko

ORCID: 0000-0002-2645-7645 e-mail: uus@tut.by

The Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus

*Minsk, Republic of Belarus***V.V. Litarovich**

ORCID: 0000-0002-1732-0778 e-mail: veronika.litarovich@gmail.com

The Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus

Minsk, Republic of Belarus

Abstract. Problem of transferring of control to the driver during transition of highly automated vehicles to manual control mode, which is currently at the stage of exploratory research, is analyzed. S-V2X information system allows to set and solve problems of prototyping and testing of transfer of control to the driver on a certain highly automated vehicle using previously developed approaches, concepts and methods. Architectures of deployment and general requirements for C-V2X information exchange protocols are considered, which allow to justify technical requirements

for a communication platform depending on its functionality. C-V2X is the main information system that provides the transfer of heterogeneous data, both already consolidated in on-board systems of highly automated vehicles, and «raw» data for their subsequent consolidation by cloud services, with the aim of subsequent implementation of various functionals in on-board systems, for example, support for movement both in autonomous mode and in manual control mode.

Key words: safety, highly automated vehicle, C-V2X, domain of regular operation, information flows, data consolidation, transition from automated vehicle control mode to manual.

FOR CITATION: V.V. Savchenko, V.V. Litarovich. Consolidation of data in communication platform for highly automated vehicles. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2022. №2. Pp. 105-114.
DOI: 10.46960/1816-210X_2022_2_105

Введение

Реализация междисциплинарной проблемы перехода от автоматизированного режима управления высокоавтоматизированным транспортным средством (ТС) к ручному во время выхода из зоны домена штатной эксплуатации [1-6] предполагает решение ряда взаимосвязанных задач: разработка соответствующих моделей [7], автоматический анализ информационных потоков в интеллектуальных транспортных системах, взаимодействие бортовых информационно-аналитических комплексов с внешними системами [8-10], классификация признаков выполнения водителем алгоритмов деятельности или их фрагментов и классификация релевантной информации для водителей в высокоавтоматизированных транспортных средствах, включая кросс-модальные информационные потоки [11-14], мониторинг профессионально важных качеств и функционального состояния водителей непосредственно во время ручного управления высокоавтоматизированным транспортным средством, выявление их динамики по сравнению с результатами, полученными в лабораторных условиях. Заключительная обработка информации осуществляется облачными сервисами [10, 15].

Коммуникационная платформа *Cellular Vehicle-to-Everything* (C-V2X) позволяет выполнять интеграцию и консолидацию данных из различных источников для использования различными типами бортовых систем высокоавтоматизированных транспортных средств, включая поддержку автономного вождения в домене штатной эксплуатации, информировать водителя при ручном режиме управления, информировать и актуализировать специализированные базы данных для их анализа, в том числе, в реальном масштабе времени, для определения момента времени перехода высокоавтоматизированных транспортных средств от автоматизированного режима управления к ручному.

Архитектуры развертывания C-V2X

Стандартизацией архитектур развертывания и протоколов обмена информацией C-V2X занимаются консорциум 3GPP (3rd Generation Partnership Project) и ассоциация 5GAA (5G Automotive Association). Выделяются следующие архитектуры развертывания C-V2X.

- Гибридная с применением интерфейса PC5 и LTE-Uu. PC5 – интерфейс, определенный в Release 14 of 3GPP, отвечает за подключение V2V, V2P, V2I для предоставления транспортных услуг с низкой задержкой и высокой надежностью. LTE-Uu – отвечает за подключение конечных пользователей и транспортных средств к базовым станциям мобильной сети, а также за поддержку услуг Интернет и V2N.
- Основанная на мобильной связи пятого поколения 5G, включающая в себя два подвида NSA (Non-Stand Alone) и SA (Stand Alone).

Гибридная архитектура

Иерархическая гибридная сетевая архитектура интеллектуальной транспортной системы (ИТС) основана на концепции распределения сетевых устройств по разным уровням. В

сетевой архитектуре C-V2X используется для связи между общественным транспортом и коммунальными службами, а также для доступа в интернет. Сети на основе DSRC используются для связи между транспортными средствами и между личным и общественным транспортом. Такая сетевая архитектура называется статической: каждому устройству назначен определенный неизменный уровень.

В динамической архитектуре уровни, назначенные устройствам, могут быть изменены в соответствии с динамикой сетевых условий. Устройства назначаются группам в зависимости от их положения на дороге, при этом в каждой группе назначается основное устройство – обычно то, которое имеет высокие сетевые и вычислительные ресурсы, или промежуточный узел [16]. Целью основного устройства является управление соединениями и регулирование сетевой нагрузки. Обычные устройства (не являющиеся основными) могут быть подключены к нескольким основным устройствам, что позволяет повторно передавать данные между соседними группами. C-V2X сеть используется для связи между основным устройством и базовой станцией, связи между основными устройствами, связи между основным устройством и обычными устройствами в его группе. Сеть DSRC используется для соединения между обычными устройствами в одной группе. Основное преимущество этой архитектуры заключается в том, что основное устройство может собирать информацию с обычных устройств и периодически передавать ее на базовую станцию или другое устройство обработки данных, что снижает нагрузку на сеть. Главный недостаток заключается в том, что процесс группирования является длительным, что ограничивает возможности развертывания в густонаселенных районах, таких как центры городов.

Плоская сетевая архитектура ИТС не ограничивает тип соединения для взаимосвязи устройств. Тип соединения между устройствами выбирается в зависимости от загруженности сети, качества и расстояния. Если устройство использует C-V2X по умолчанию, предусматривается возможность переключиться на DSRC при изменении сетевых условий. Параметры DSRC и C-V2X постоянно обновляются, и на основе заранее определенного алгоритма выбирается наилучший из возможных методов подключения. В табл. 1 представлено сравнение архитектур [16].

Таблица 1.

Архитектуры C-V2X

Table 1.

C-V2X architectures

Топология	Местность	Связь	Применение
Иерархическая	Пригород	V2X	Видео сообщения
Иерархическая	Город	V2I	Интернет
Иерархическая	Город	V2X	Сообщения о безопасности
Плоская	Город	V2V	Планирование путешествий
Плоская	Пригород	V2I	Интернет

На рис. 1 представлен стек протоколов гибридной C-V2X; операции V2X выполняются на нескольких несущих. В одном сценарии UE (User Equipment – пользовательское оборудование) может использовать V2X на основе LTE-Uu V2X в одной несущей, в то время как в другой несущей работает на основе PC5. В другом сценарии UE может управлять V2X на основе PC5 одновременно на двух несущих. В табл. 2-3 перечислены комбинации операторов связи V2X, поддерживаемых для V2X услуг.

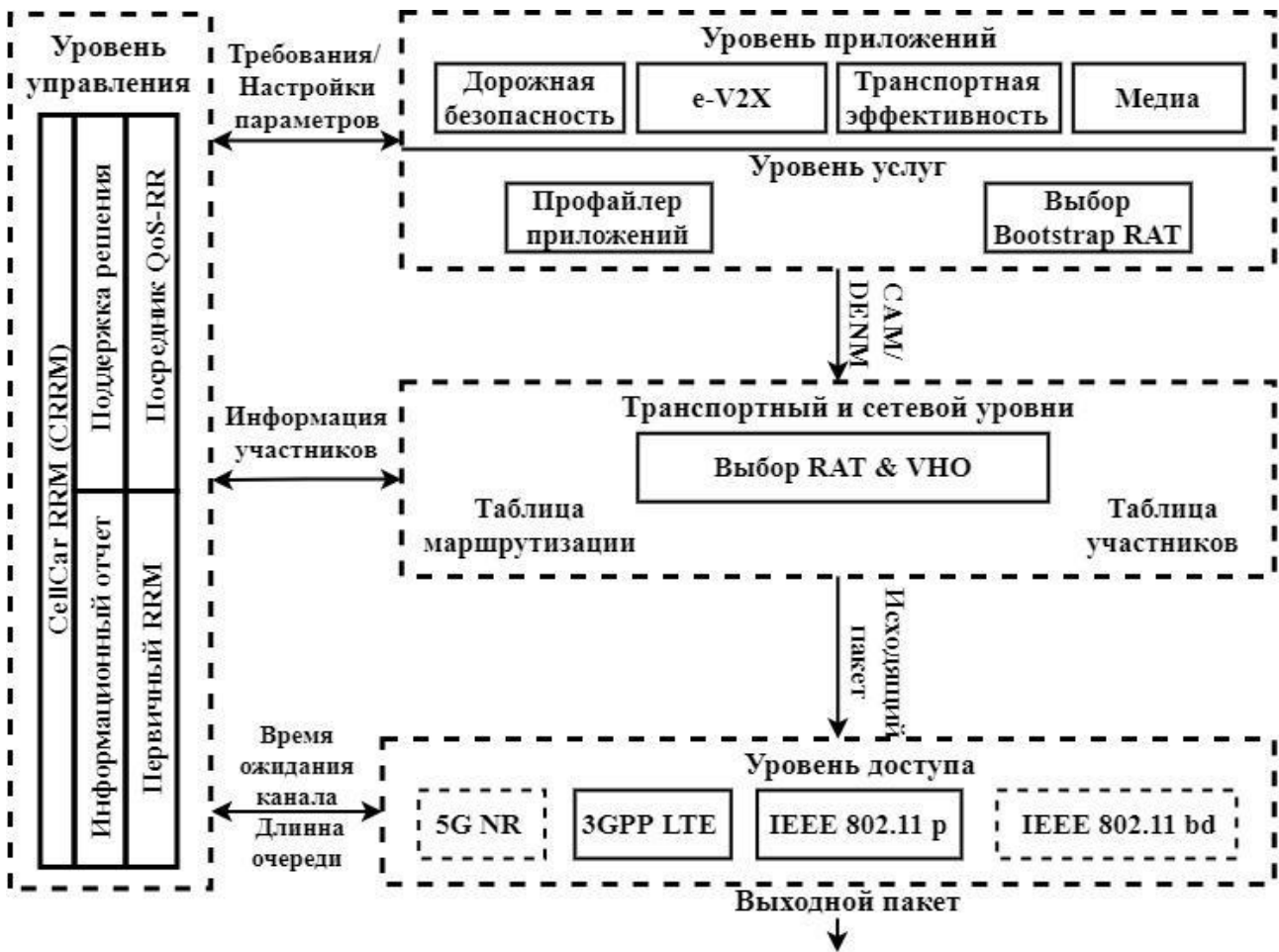


Рис. 1. Стек протоколов гибридной C-V2X [17]

Fig. 1. Hybrid C-V2X protocol stack [17]

Таблица 2.

Межполосные конфигурации V2X [18]

Table 2.

V2X configurations between bands [18]

Конфигурация V2X	Полосы E-UTRA	Интер	1.4	3	5	10	15	20	Мах полоса пропускания МГц
			МГц						
V2X_3A-47A	B3 (1.8 ГГц)	Uu	Да	Да	Да	Да	Да	Да	40
	B47 (5.9 ГГц)	PC5				Да		Да	
V2X_7A-47A	B7 (2.6 ГГц)	Uu			Да	Да	Да	Да	40
	B47 (5.9 ГГц)	PC5				Да		Да	
V2X_8A-47A	B8 (900 МГц)	Uu	Да	Да	Да	Да			30
	B47 (5.9 ГГц)	PC5				Да		Да	
V2X_39A-47A	B39 (1.9 ГГц)	Uu			Да	Да	Да	Да	40
	47 (5.9 ГГц)	PC5				Да		Да	
V2X_41A-47A	B41 (2.5 ГГц)	Uu			Да	Да	Да	Да	40
	47 (5.9 ГГц)	PC5				Да		Да	

Таблица 3.

Межполосные конфигурации V2X [18]

Table 3.

V2X configurations between bands [18]

Конфигурация V2X	Полоса пропускания канала несущей 1	Полоса пропускания канала несущей 1	Макс полоса пропуск МГц
V2X_47A_47A (5.9 ГГц)	10	10	20

Архитектура, основанная на мобильной связи 5G

Полосы частот для C-V2X на основе LTE представлены в табл. 4.

Таблица 4.

Полосы частот [16]

Table 4.

Bands of frequencies [16]

Рабочий диапазон	Восходящая линия связи МГц	Нисходящая линия связи МГц	Интерфейс	Максимальная полоса пропускания МГц
47	5855-5925		PC5	30 (Использование формата агрегирования несущих 10 + 20 МГц или 10 + 10 + 10 МГц)
3	1710-1785	1805-1880	Uu	20
5	824-849	869-894	Uu	20
7	2500-2570	2620-2690	Uu	20
8	880-915	925-960	Uu	10
20	832-862	791-821	Uu	20
28	703-748	758-803	Uu	20
34	2010-2025		Uu	15
39	1880-1920		Uu	20
41	2496-2690		Uu	20
71	663-689	617-652	Uu	20

На рис. 2 представлен стек протоколов C-V2X.

Физический уровень

C-V2X использует множественный доступ с одной несущей и частотным разделением каналов (SC-FDMA) и поддерживает каналы 10 МГц и 20 МГц с максимальной мощностью передачи и чувствительностью приемника 23 дБм и -90,4 дБм соответственно. Каждый канал делится на подкадры длиной 1 мс, так же, как и время интервала передачи (TTI – Transmission Interval Time). eNodeB выделяет блоки ресурсов (RB – Resource Blocks) пользовательскому оборудованию через каждый TTI = 1 мс. RB является наименьшей единицей частотных ресурсов, которая может быть выделена пользователю. 12 поднесущих по 15 кГц (всего 180 кГц) составляют RB. Группа RB в одном и том же подкадре в 1 мс называется подканалом в C-V2X [19]. Транспортные блоки (TB – Transport Blocks) переносят данные по PSSCH (Physical Sidelink Shared Channels), а по PSCCH (Physical Sidelink Control Channels) передают сообщения с управляющей информацией (SCI – Sidelink Control Information). PSSCH и PSCCH передаются в одном подкадре, но для PSCCH применяется повышение

спектральной плотности мощности до 3 dB. Можно выделить две субканализационные схемы:

- смежные PSCCH + PSSCH: SCI и TB передаются в смежных RB;
- несмежные PSCCH + PSSCH: RB разделены на два пула, где один пул несет только SCI, а второй пул передает только RB (TB используют QPSK или 16QAM схемы модуляции, однако SCI всегда посылаются с использованием QPSK).

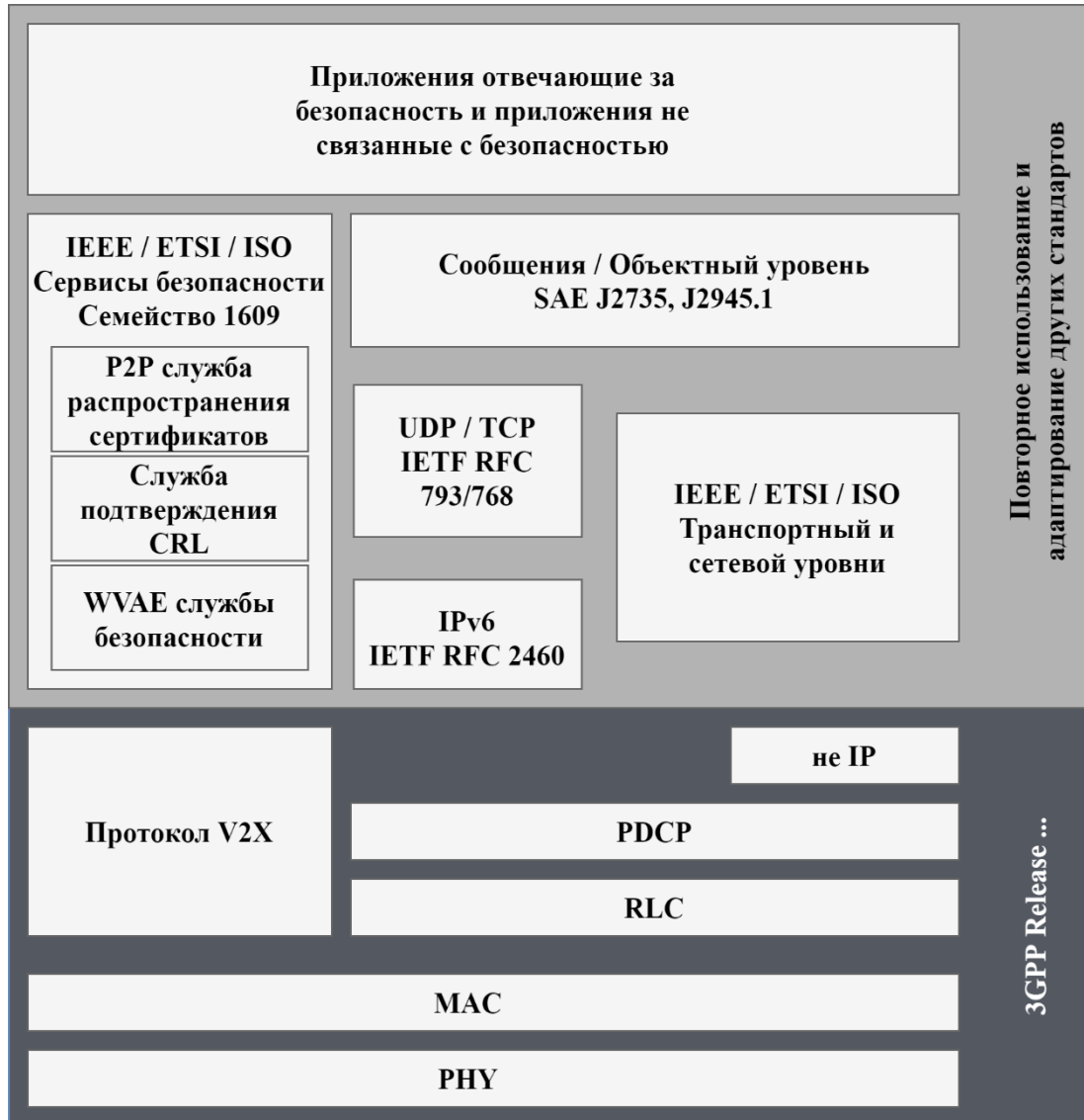


Рис. 2. Стек протоколов C-V2X

Fig. 2. C-V2X protocol stack

MAC уровень

Media Access Control или Medium Access Control (MAC) – управление доступом к среде – отвечает за обеспечение адресации и механизмы управления доступом к каналам. Когда транспортное средство находится в зоне действия сотовой сети, сеть решает, как сконфигурировать V2X канал, и информирует транспортное средство о V2X конфигурируемых параметрах, таких как несущая частота V2X канала, пул ресурсов V2X, ссылки синхронизации, схема подканалов, количество подканалов на подкадр и количество RB на подканал. Транспортные средства, использующие связь в режиме 4, выбирают свои радиоресурсы, используя

зондирование с полупостоянной передачей, что аналогично «прослушиванию в частотной области перед разговором». ТС резервирует подканалы для нескольких последовательных передач на основе схемы SPS. Счетчик пакетов повторного выбора назначается случайным образом от пяти до пятнадцати и уменьшается с каждой передачей. Как только счетчик пакетов повторного выбора достигает нуля, транспортное средство должно запросить дополнительные ресурсы, после чего счетчик повторного выбора назначается случайным образом снова [19].

Пакеты могут передаваться каждые 100 подкадров, т.е. десять пакетов в секунду. Процесс резервирования подканалов может быть разбит на три этапа:

- 1) измерение полученной энергии (RSSI) на ресурсах, удовлетворяющих требованиям к задержке;
- 2) ранжирование ресурсов на основе полученной энергии и составление списка 20 % наименьших относительных энергетических RB;
- 3) выбор одного из самых низких относительных энергетических ресурсов для передачи.

В 3GPP релиз 14 CBR (Channel Busy Rate) и COR (Channel Occupancy Rate) определяются как два важных показателя для уменьшения перегрузки канала и непрерывно вычисляются ТС каждый раз, когда происходит передача или повторная передача пакета. CBR обеспечивает индикацию уровня перегрузки канала и определяется как количество подканалов в предыдущих 100 подкадрах, которые имеют средний RSSI выше предварительно сконфигурированного порога. COR количественно определяет занятость канала, генерируемого передающим транспортным средством, и определяется как количество подканалов, которыми пользуется передающее транспортное средство в течение периода в 1 000 подкадров.

Информационные потоки, циркулирующие в коммуникационной платформе C-V2X

В состав коммуникационной платформы C-V2X входят следующие узконаправленные связи: V2V, V2I, V2N (Vehicle-to-Network), V2P (Vehicle-to-Pedestrian).

V2V связь используется для коммуникации между транспортными средствами. Варианты использования, показывающие основные информационные потоки, передающиеся через V2V, следующие [20].

1. *FCW (Forward Collision Warning)* – предупреждение о прямом столкновении. Уровень услуг V2V транспортного средства периодически передает сообщение с указанием текущего местоположения, скорости, ускорения и предполагаемой траектории движения. ТС определяет полосу движения и время до столкновения и передает это в широковещательном сообщении. Сеть LTE осуществляет трансляцию сообщения по запросу прикладного уровня, после чего ТС получает сообщение и определяет необходимость принятия какого-либо действия.

2. *CLW (Control Loss Warning)* – предупреждение о потере контроля. ТС периодически передает сообщение с указанием текущего местоположения, скорости, ускорения и предполагаемой траектории движения. Когда ТС идентифицирует потерю управления, осуществляется передача информации через широковещательную рассылку с использованием службы V2V. ТС, находящееся в зоне действия рассылки, получает сообщение и определяет необходимость принятия какого-либо действия.

3. *EVW (Emergency Vehicle Warning)* – предупреждение о ТС экстренного назначения. Позволяет каждому транспортному средству получать информацию о местоположении, скорости и направлении движения транспортного средства экстренного назначения (например, машины скорой помощи) для обеспечения безопасности движения. Передающее ТС проверяет информацию, поступающую от впереди идущих ТС, которая включает в себя местоположение, скорость и направление движения, если какой-либо из параметров удовлетворяет критериям проверки начинается передача сообщения CAM. CAM содержит основную информацию о транспортном средстве, включая информацию о динамическом состоянии

транспортного средства (направление и скорость), статические данные транспортного средства (размеры, состояние внешних огней, историю пути). Размер сообщения CAM составляет от 50 до 300 байт. CAM сообщение передаётся с частотой 10 сообщений в секунду в широкополосном режиме, с задержкой менее 100 мс.

4. *Emergency Stop* – аварийная остановка. Сервис безопасности машины получает информацию об аварийной остановке и генерирует DENM сообщение «Предупреждение о стационарном (неподвижном) автомобиле». Размер DENM сообщения не превышает 3000 байт и доступно всем ТС находящимся в диапазоне передачи.

5. *Cooperative Adaptive Cruise Control* – кооперативный круиз контроль. ТС находящиеся в группе периодически передают сообщения, в которых содержится информация о размере группы, скорости, расстоянии разрыва, позиции в группе и т.д. ТС, которое желает присоединиться к группе получает данное сообщение и проводит его анализ на удовлетворение критериям. Если критерии соответствуют, ТС посылает запрос на присоединение к группе и получает разрешение (запрет). После присоединения нового ТС происходит обновление информации о группе, хранящейся локально. Аналогичным образом осуществляется отсоединение транспортного средства от группы.

6. *Передача под управлением MNO (Mobile Network Operator)*. ТС находится в зоне действия E-UTRAN, где UE инициирует широкополосную передачу сообщений. UE запрашивает ресурсы в eNB и получает выделенный ресурс для передачи широкополосных сообщений. Когда другое ТС находится в зоне действия передающего ТС, оно получает сообщение.

V2I связь используется для коммуникации между ТС и инфраструктурой. Варианты использования, показывающие основные информационные потоки, передающиеся через V2I, следующие [20].

1. *Emergency Stop* – аварийная остановка. Сервис безопасности машины получает информацию об аварийной остановке и генерирует DENM сообщение «Предупреждение о стационарном (неподвижном) автомобиле». Служебный RSU (Roadside Unit – придорожный блок), находящийся поблизости, принимает данное сообщение и передает его всем ТС, находящимся в диапазоне передачи RSU.

2. *Queue Warning* – предупреждение о заторе. Данное сообщение относится как к V2V, так и к V2I. ТС периодически передает сообщение, в котором содержится информация о местоположении, размере транспортного средства, направлении и скорости движения, состоянии тормозов, номере передачи и информации об окружающей среде (использование V2V). ТС, которое находится в конце затора, получает широкополосные сообщения, по ним определяет, что оно является замыкающим, и периодически отправляет сообщения в RSU, в которых содержится информация о размере, состоянии затора, положении в заторе и расположение затора по полосам. RSU передает полученные данные всем ТС, находящимся в зоне действия (использование V2I).

3. *Сервисы дорожной безопасности*. UE. ТС определяет eNB и инициирует передачу сообщения периодически или на основе какого-либо события. eNB получает сообщение и начинает его передачу ТС, находящимся в зоне действия.

4. *Система автоматической парковки*. ТС посылает запрос на резервирование парковки серверу, указывая предполагаемое место назначения и получает ответ о резервировании. После этого происходит приближение к месту резервирования и соединение с RSU, осуществляется взаимная аутентификация идентификационных данных, в которой проверяется правильность выбранного RSU и ссылка бронирования.

V2N связь используется для коммуникации между транспортным средством и сетью. Варианты использования, показывающие основные информационные потоки, передающиеся через V2N [20], следующие.

1. *Оптимизация потока трафика при приближении к светофору*. ТС передают информацию о местоположении, скорости и направлении движения по сети определенному серверу.

ру, который отвечает за управление светофорами. В ответ на получение данных отправляется сообщение, в котором содержится информация о рекомендуемой скорости движения.

2. *Служба безопасности дорожного движения.* UE транспортного средства осуществляет регистрацию в MNO для получения доступа к услугам навигации и получения информации о безопасности дорожного движения. Передача сообщений между UE и сервером безопасности осуществляется по запросу прикладного уровня. RSU, которое обнаружило аварию, отправляет сообщение на сервер, в котором содержатся данные о местоположении аварии. После этого сервер безопасности дорожного движения отправляет полученную информацию на близлежащие RSU и в ТС с альтернативным маршрутом следования.

V2P связь используется для коммуникации между транспортным средством и пешеходом. Смартфон пешехода периодически осуществляет мониторинг поступающих V2P сообщений. ТС с определенной периодичностью и задержкой отправляет сообщение, в котором содержится информация о приближении ТС, его скорости и траектории движения [20]. После получения смартфоном сообщения от приближающегося ТС осуществляется отправка ответного сообщения о наличии неподалеку пешехода и выдача предупреждения на смартфоне и ТС.

Заключение

Коммуникационная платформа C-V2X является основной информационной системой, обеспечивающей передачу разнородных данных, как уже консолидированных в бортовых системах высокоавтоматизированных транспортных средств, так и «сырых», для их последующей консолидации облачными сервисами с целью последующей обработки и анализа для реализации различных функционалов. Появляется возможность использовать сложные сценарии в бортовых комплексах высокоавтоматизированных транспортных средств, например, поддержку движения как в автономном режиме в домене штатной эксплуатации, так и в режиме ручного управления. C-V2X позволяет ставить и решать задачи по прототипированию и апробации системы передачи управления водителю на определенном высокоавтоматизированном транспортном средстве с использованием ранее разработанных подходов, концепции, моделей, методов и способов. Рассмотренные архитектуры развертывания C-V2X позволяют обосновывать технические требования к коммуникационной платформе в зависимости от ее функционала для реализации современных автомобильных коммуникационных технологий.

Библиографический список

1. **Savchenko V.V., Poddubko S.N.** Development approach to a method for monitoring of driver's ability of resumption of control over the vehicle by on-board systems in automatic mode // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 386 (2018). 012007. Pp. 1-7.
2. **Савченко, В.В.** Проблема передачи управления водителю в высокоавтоматизированных транспортных средствах: метод мониторинга восприятия семантически бинарной релевантной информации водителем // Механика машин, механизмов и материалов. 2019. №2(47). С. 14-19.
3. **Савченко, В.В.** Концепция передачи управления водителю в высокоавтоматизированных транспортных средствах / В.В. Савченко, С.Н. Поддубко // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. 2020. Т.64, №5. С. 624-631.
4. Евразийский патент № 037164, МПК G05D 1/00 (2006.01), B60W 50/08 (2006.01), B60W 30/00 (2006.01). Способ управления транспортным средством и система для его осуществления: № 201900100 : заявл. 2019.02.04 : опубл. 2021.02.12 / В.А. Дубовский, В.В. Савченко. – 6 с.
5. **Дубовский, В.А.** Метод передачи управления транспортным средством от автоматизированной системы вождения человеку / В.А. Дубовский, В.В. Савченко // Доклады БГУИР. 2020. № 18(7). С. 40-46.
6. **Dubovsky V.A., Savchenko V.V.** A general approach to describing the driver-vehicle interaction // «BIG DATE and Advanced Analytics. BIG DATA и анализ высокого уровня», материалы 7-ой Международной научно-практической конференции 19-20 мая 2021 г. – Минск, 2021. С. 67-73.

7. **Дубовский, В.А.** Концептуальная модель системы «водитель-автомобиль-дорога-среда» / В.А. Дубовский, В.В. Савченко // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2019. Том 63, №1. С. 112-120.
8. **Савченко, В.В.** Информационные потоки в ИТС: определение динамических характеристик системы «человек-машина» для автоматического расчета тяжести последствий ДТП для водителя // Перспективы развития транспортного комплекса, материалы Международной научно-технической конференции 04-06 октября 2016 г. (БелНИИТ «Транстехника»). – Минск, 2016. С. 272–279.
9. **Холод, Е.А.** Взаимодействие бортовых информационно-аналитических комплексов с внешними системами / Е.А. Холод, В.В. Савченко. // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси. – Минск, 2017. Вып. 6. С. 169-172.
10. **Савченко, В.В.** Информационные потоки в высокоавтоматизированных транспортных средствах // «BIG DATE and Advanced Analytics. BIG DATA и анализ высокого уровня», материалы 6-ой Международной научно-практической конференции 20–21 мая 2020 г., Часть 2 // г. Минск, Республика Беларусь. – С. 122–128.
11. **Литарович, В.В.** Анализ информационных потоков в коммуникационной платформе C-V2X / В.В. Литарович, Е.В. Мыльников, В.В. Савченко, М.А. Чернин // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси. – Минск, 2019. Вып. 8. С. 145-147.
12. **Холод, Е.А.** Классификация признаков выполнения водителем транспортного средства алгоритмов деятельности или их фрагментов / Е.А. Холод, В.В. Савченко, В.А. Дубовский, М.А. Чернин // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. 2020. Вып. 9. С. 136-140.
13. **Savchenko V.V., Poddubko S.N.** Cross-modal information flows in highly automated vehicles // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 534 (2019). – 012003.
14. **Savchenko V.V., Litarovich V.V.** Classification of semantically binary relevant information for drivers in highly automated vehicles // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 819 (2020). – 012042.
15. **Дубовский, В.А.** Метод контроля профессионально важных качеств водителей транспортных средств / В.А. Дубовский, В.В. Савченко // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси. – Минск, 2019. Вып. 8. С. 159-161.
16. **Karolis Kiela.** Review of V2X–IoT Standards and Frameworks for ITS Applications // Karolis Kiela 1, Vaidotas Barzdenas, Marijan Jurgo and etc. // MDPI / Switzerland. – 2020. – 23 p.
17. **Zeeshan Hameed Mir, Jamal Toutouh, Fethi Filali, Young-Bae Ko.** Enabling DSRC and C-V2X Integrated Hybrid Vehicular Networks: Architecture and Protocol // IEEE Access. 2020.
18. 3GPP TR 21.914 version 14.0.0 Release 14 [Electronic resource]. – Mode of access: // https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/121900_121999/121914/14.00.00_60/tr_121914v140000p.pdf (Date of accesses: .15.10.2021).
19. **Aman Kumar Gulia.** A Simulation Study on the Performance Comparison of the V2X Communication Systems: ITS-G5 and C-V2X // KTH royal institute of technology school of electrical engineering and computer science // Sweden – 2020. – 69 С.
20. 3GPP TR 22.885 V1.0.0 (2015-09) [Electronic resource]. – Mode of access: // <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2898> (date of access: 25.10.2021).

*Дата поступления
в редакцию: 22.02.2022*