УДК 621.396

ПРОТОКОЛЫ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ DSRC ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В. А. Григорьев, заведующий кафедрой беспроводных телекоммуникаций НИУ ИТМО, д.т.н.
Ю. А. Распаев, доцент кафедры беспроводных телекоммуникаций НИУ ИТМО, к.т.н.
И. А. Хворов, доцент кафедры беспроводных телекоммуникаций НИУ ИТМО, к.т.н.; khvorov@labics.ru
С.А. Тараканов, директор ЦМЭП и БТ НИУ ИТМО, к.т.н.

Рассмотрен стек протоколов взаимодействия транспортных средств на базе технологии DSRC. Анализируются основные отличия стандарта 802.11p, применяемого на нижних уровнях, от базового стандарта 802.11 и особенности реализации верхних уровней на базе стандарта 1609.

Ключевые слова: *интеллектуальная транспортная система (ИТС), протоколы сети, Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE), Dedicated Short Range Communications (DSRC), стандарт IEEE 1609.*

Введение. В современном мире интеллектуальные транспортные системы — весьма востребованный продукт, поскольку они интегрируют информационные, коммуникационные, телематические технологии и технологии управления. ИТС, способные вести автоматизированный поиск и реализовывать максимально эффективные сценарии управления транспортной системой региона, конкретным транспортным средством (ТС) или группой ТС, нацелены на обеспечение мобильности населения, максимизацию показателей использования дорожной сети, повышение безопасности и эффективности транспортного процесса, комфортности для водителей и пользователей транспортных услуг.

Основой будущего единого стандарта ИТС являются:

- созданный комитетом ITS ETSI стандарт ETSI EN 302665 V1.1.0 (2010–07) Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Architecture-V1.0.0. Он определяет архитектуру ИТС и содержит минимальный набор стандартов и требований для их развертывания;
- предложенный РГ 16 комитета ISO/TC 204 стандарт, устанавливающий основные элементы архитектуры CALM (Communications Access for Land Mobiles) на базе протокола IPv6. Одной из его составляющих является технология беспроводной широкополосной передачи данных HC-SDMA (High Capacity Spatial Division Multiple Access), разработанная компанией ArrayComm (стандарт IEEE 802.20);
- стандарт на технологию радиосвязи Wireless Access in Vehicular Environment (WAVE), поддерживающую стандартизацию беспроводного доступа для ТС и регламентирующую взаимодействие всех участников процесса, включая производителей транспортных средств и их компонентов, транспортные компании и организации, обеспечивающие общественную безопасность. Технология WAVE, которая базируется на стандарте IEEE 802.11p [1] и семействе стандартов IEEE 1609 [2–4], служит основой для DSRC (Dedicated Short Range Communications) — проекта Департамента транспорта США, реализующего автомобильные сети связи, в том числе такие приложения, как сбор платежей, услуги безопасности и коммерческие транзакции через автомобили.

Особенностью систем DSRC является нацеленность на передачу сообщений безопасности с минимальными задержками, что потребовало внесения изменений в стандартный стек протоколов 802.11. Настоящая статья посвящена рассмотрению стека протоколов технологии DSRC.

Структурная модель технологии DSRC. Технология DSRC была описана в поправке № 6 (IEEE 802.11p) к стандарту IEEE 802.11–2007. Но с выходом IEEE 802.11–2012 [1] стандарт IEEE 802.11p был отменен, и теперь он входит в состав IEEE 802.11, подобно поправкам IEEE 802.11s, IEEE 802.11v и пр.

Технология DSRC предназначена для реализации эффективного взаимодействия между движущимися ТС (Vehicle-to-Vehicle, V2V), а также между ТС и объектами дорожной инфраструктуры (Vehicle-to-Infrastructure, V2I). На ТС устанавливаются бортовые устройства (on board unit, OBU), а вдоль дорог, на перекрестках и объектах транспортной инфраструктуры — дорожные устройства (roadside unit, RSU).

Все устройства DSRC с периодичностью 100 мс посылают в эфир короткие сообщения безопасности и принимают такие же от других OBU и RSU. Сообщения безопасности содержат данные о координатах, скорости и ускорении транспортного средства. Сравнивая полученные извне параметры других ТС с собственными значениями скорости и координат, OBU вычисляет траекторию движения своего ТС и вероятность столкновения с другими участниками дорожного движения, о чем сообщает водителю, а в случае приближения значения вероятности к критическому порогу активирует экстренное торможение. Точка доступа RSU, установленная на перекрестке, может, например, информировать водителя ТС о режиме работы светофора и оптимальной скорости движения для проезда перекрестка без остановки. Устройства RSU, установленные вдоль дороги,

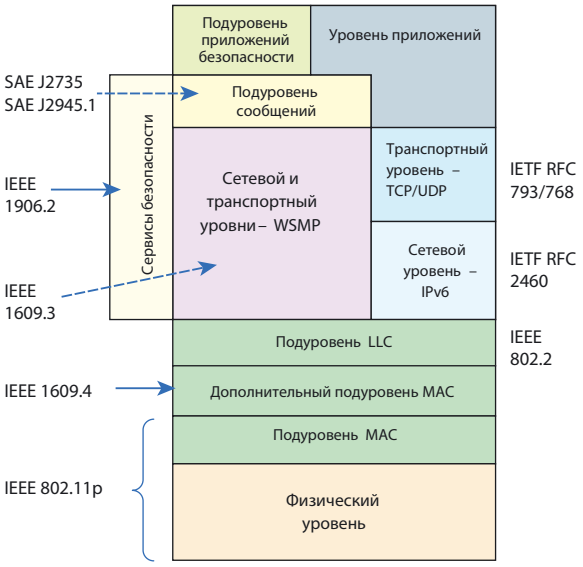

Рис. 1. **Стек протоколов модели OSI**

способны сообщать OBU рекомендуемую безопасную скорость проезда опасного участка.

На рис. 1 представлен стек протоколов, применяемых на различных уровнях модели OSI. На физическом и MAC-уровне DSRC использует протокол, который является измененной версией стандарта IEEE 802.11 — IEEE 802.11p. Верхние уровни стека DSRC включают набор стандартов, предложенный рабочей группой IEEE 1609 (WAVE):

- IEEE 1609.2 обеспечивает безопасность передаваемой информации [2];
- IEEE 1609.3 реализует функции на сетевом и транспортном уровнях, включая протокол коротких сообщений WSMP (WAVE Short Message Protocol) [3];
- IEEE 1609.4 обеспечивает коммутацию каналов [4].

Технология DSRC поддерживает известные протоколы сетевого и транспортного уровней IPv6, пользовательский протокол дейтаграмм (UDP) и протокол управления передачей (TCP). Выбор между WSMP или IPv6+UDP/TCP зависит от требований конкретного приложения.

В технологии DSRC используется полоса частот в пределах от 5,850 до 5,925 ГГц. Она содержит семь каналов по 10 МГц и защитную полосу в 5 МГц в начале диапазона. Из семи каналов один (центральный, номер 178) — это канал управления (control channel, CCH), по которому передаются данные с высоким приоритетом и сигналы управления. Прочая информация направляется по четырем сервисным каналам (service channel, SCH), еще два — в резерве [5]. Порядок использования каналов CCH и SCH определен в протоколе IEEE 1609.4.

Как OBU, так и RSU могут быть реализованы в виде одноканальных или многоканальных устройств. В первом случае устройство способно обмениваться данными и/или прослушивать только один радиочастотный канал, во втором — обмениваться данными в одном канале, при этом прослушивая другой. Но оба типа устройств синхронизированы так, чтобы одномоментно прослушивать или использовать канал управления. Достоинство многоканальных устройств состоит в возможности реализации одновременно двух сервисов, а также в дублировании информации в случае критических ситуаций.

Особенности стека протоколов DSRC. Протокол физического уровня DSRC описан в [6]. Физический уровень содержит две части: подуровень, зависящий от физической среды передачи (Physical Medium Dependent, PMD), и подуровень процедуры определения состояния физического уровня (Physical Layer Convergence Procedure, PLCP).

Стандарт IEEE 802.11 определяет три типа физического уровня: с полосой 20, 10 и 5 МГц; в DSRC базовым является канал шириной 10 МГц [7]. Использование канала шириной 10 МГц основано на его большей устойчивости к задержкам и влиянию доплеровского сдвига, чем у канала 20 МГц, что важно в условиях использования системы для связи ТС.

Система использует OFDM-сигналы с 52 поднесущими. Модуляция осуществляется четырьмя методами (BPSK, QPSK, 16-QAM и 64-QAM) с уровнем кодирования 1/2, 2/3 и 3/4 и с разными значениями бит/символ (таблица). Для повышения надежности используется помехоустойчивое кодирование (forward error correction, FEC).

Например, двоичная фазовая модуляция (BPSK) передает один бит на символ поднесущей и 48 бит на один OFDM-символ. При скорости кодирования 1/2 на 24 бита данных приходится 24 проверочных бита, поэтому для такого сочетания вида модуляции и скорости кодирования скорость передачи данных составит 3 Мбит/с.

Комбинации видов модуляции и помехоустойчивых кодов

Модуляция	Битовая скорость, Мбит/с	Скорость кодирования	Скорость передачи данных, Мбит/с	Количество бит данных на OFDM-символ
BPSK	6	1/2	3	24
BPSK	6	3/4	4,5	36
QPSK	12	1/2	6	48
QPSK	12	3/4	9	72
16-QAM	24	1/2	12	96
16-QAM	24	3/4	18	144
64-QAM	36	2/3	24	192
64-QAM	36	3/4	27	216

В передатчике подуровень PLCP преобразует поток байтов MAC-кадра в OFDM-символы для их передачи с помощью PMD. На подуровне PLCP заголовок физического уровня PHY присоединяется к MAC-кадру для создания блока данных протокола физического уровня (PHY protocol data unit, PPDU). Подуровень MAC передает на подуровень PLCP вместе с MAC-кадром три параметра: длину MAC-кадра, скорость передачи и мощность передачи.

Описание полей PLCP приведено в стандарте IEEE 802.11 [1]. Заголовок используется для синхронизации и выравнивания уровня сигнала на приемнике. Приемник, работающий с каналом 10 МГц, должен классифицировать канал как занятый на протяжении 8 мс после детектирования начала заголовка. В «Поле сигнала» указывается скорость передачи и длина кадра. До тех пор, пока не приняты биты «Поля сигнала», скорость передачи не известна, поэтому заголовок и «Поле сигнала» передаются по умолчанию на минимальной скорости, выбранной для повышения вероятности успешного детектирования сигнала приемником. Даже если оставшаяся часть кадра не была декодирована, принятые заголовок и «Поле сигнала» позволяют определить время окончания кадра. «Сервисное поле» и поле «Признак конца кадра» обеспечивают кодирование информации. Поле PAD используется для проверки. Полезной нагрузкой в PPDU является MAC-кадр.

Приемник на подуровне PMD осуществляет автоматическую регулировку усиления, синхронизацию сигналов, демодуляцию, удаление защитных интервалов и быстрое преобразование Фурье. Согласно IEEE 802.11, для приемника вычисляются минимальная чувствительность и уровень подавления соседних каналов. Минимальная чувствительность определяется как минимальный абсолютный уровень сигнала, при котором пакет в 1000 байт должен приниматься без ошибок на протяжении как минимум 90% времени и для OFDM-сигнала с шириной полосы частот 10 МГц находится в диапазоне от −85 дБм на скорости 3 Мбит/с до −68 дБм на скорости 27 Мбит/с. Подавление соседних каналов определяется возможностью фильтра выделить только необходимую полосу частот.

Подуровень LLC-стека протокола DSRC использует стандартный протокол IEEE 802.2 и протокол доступа к подсети (Subnetwork access protocol, SNAP), который поддерживает инкапсуляцию дейтаграмм IP и запросов ARP в сетях IEEE 802.

Стек протоколов DSRC выше подуровня LLC имеет два варианта реализации (см. рис. 1). Первый использует протокол коротких сообщений (WSMP) в соответствии со специ-

фикацией IEEE 1609.3, оптимизированной для широковещательного обмена данными, например сообщениями безопасности транспортных средств, второй — традиционные интернет-протоколы (IPv6, UDP и TCP). Одна из основных функций, определяемых семейством стандартов IEEE 1609, обеспечивает безопасность связи. Дополнительная аутентификация сообщений и протоколы шифрования стандартизированы в IEEE 1609.2 [2].

Уровни стека протоколов DSRC, определяемые семейством стандартов IEEE 1609.

Механизм реализации обмена данными между устройствами. Стандарт IEEE 802.11 поддерживает три варианта построения сетей с установленными наборами услуг:

- базовая сеть (basic service set, BSS), включает в себя точку доступа, которая управляет сетью;
- независимая базовая сеть (independent basic service set, IBSS), формирует ad-hoc сети;
- расширенная сеть (extended service set, ESS) — сеть из двух и более BSS, соединенных системой распределения трафика (distribution system, DS).

В сетях Wi-Fi BSS периодически посылает широковещательные сообщения, содержащие идентификатор сети (SSID) и другую информацию, необходимую для синхронизации. Остальные устройства принимают эти сообщения и синхронизируют по ним свои частоту и время. Устройства могут обмениваться данными между собой, если они обеспечивают один набор услуг (service set, SS), организация которого требует выполнения продолжительных по длительности шагов, таких как временная и частотная синхронизация, аутентификация и инициализация соединения.

В сетях DSRC, чтобы сообщения доходили до пользователя как можно быстрее, вводится особый режим работы устройств BSS — OCB (outside the context of BSS). В этом режиме устройства могут отправлять и принимать данные и контрольные биты без предварительного включения в состав сети SS. При этом теряется возможность управления трафиком на MAC-уровне, а именно: отключаются сервисы контроля и защиты передаваемой информации. В связи с этим используется протокол более высокого уровня WAVE, который позволяет реализовать все необходимые функции по управлению и защите трафика в сетях DSRC, а также сервисы для ИТС.

Стандарт IEEE 1609.4 определяет функции MAC-подуровня для поддержки многоканальной беспроводной передачи данных между WAVE-устройствами. Он контролирует передачу данных приложений более высоких уровней, не требуя точного определения параметров физического уровня. В этом стандарте описываются принципы многоканальной маршрутизации (рис. 2), т.е. каким образом два устройства могли бы общаться друг с другом по одному каналу в одно и то же время.

Основные принципы обеспечения качества передачи информации заложены в стандарте IEEE 802.11e (определяет параметры QoS для приложений, работающих в WLAN). Концепция Enhanced Distributed Channel Access (EDCA)

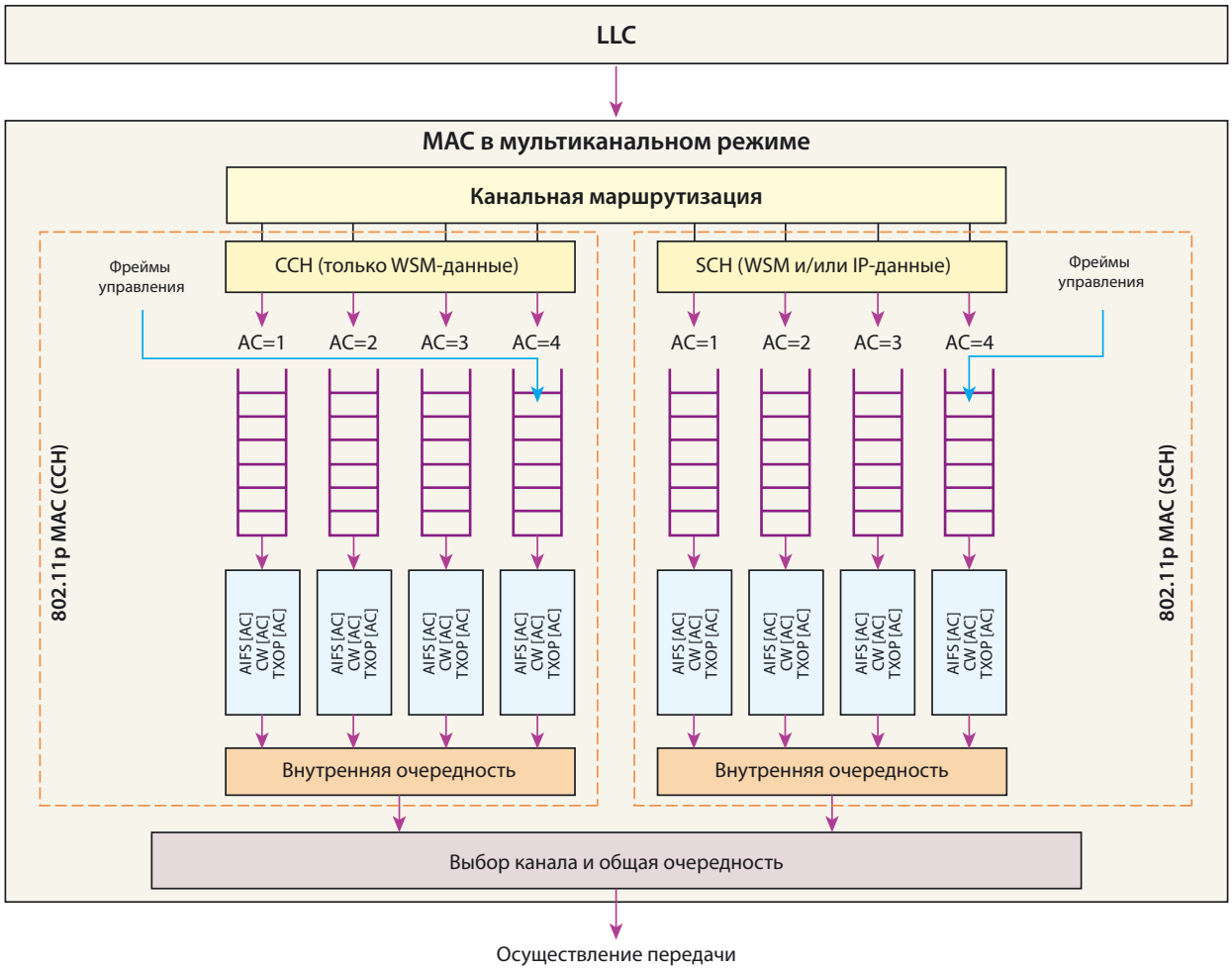

Рис. 2. **Внутренняя архитектура MAC-уровня при мультиканальном режиме**

содержит две составляющие, связанные с передачей данных и управлением. Первая обеспечивает обмен данными с верхними уровнями стека протоколов, а вторая — синхронизацию и доступ к каналу. Управление на физическом уровне поддерживает протокол PLME (Physical Layer Management Entity). Для работы мультиканального режима используется протокол MLME (MAC Sublayer Management Entity), который реализует услуги и передачи данных (координация и маршрутизация канала, определение пользовательских приоритетов), и управления (мультиканальная синхронизация и доступ к каналу, обслуживание и переадресация информационной базы управления (Management Information Base, MIB), кадры, описывающие действия, специфические для конкретного производителя).

В протоколе WAVE возможны три типа кадров:

- кадры управления, которые используются в стандарте IEEE 802.11;
- кадры управления, которые являются или кадрами оповещения о точном времени (Timing Advertisement, TA) фреймов службы времени, через которые распространяется информация о синхронизации по времени, или кадрами, описывающими действия, специфические для конкретного производителя (Vendor Specific Action, VSA). Кадры управления могут быть переданы по каналам CCH или SCH;
- кадры данных, которые могут быть либо данными WSMP, либо дейтаграммой IP. Кадры WSMP, содержащие сообщения WAVE Service Messages (WSM), могут передаваться по каналам CCH или SCH, дейтаграмма IP — только по SCH. На рис. 2 представлена внутренняя архитектура MAC-уровня при мультиканальном режиме. Очереди реализуют приоритетный доступ [8].

Когда данные получены от уровня LLC, маршрутизатор проверяет поле типа данных в заголовке. Если это WSMP, данные направляются в соответствующую очередь – с учетом идентификатора канала и приоритета данных. Передача дейтаграммы IP немного отличается, так как все данные IP должны быть зарегистрированы в профиле отправителя в MIB, который содержит номер SCH, уровень мощности, текущее (адаптируемое) состояние уровня мощности и скорость передачи данных.

Когда LLC передает дейтаграмму IPv6 к маршрутизатору канала, то адресует ее в буфер, соответствующий указанному SCH. Такие действия позволяют более высокому уровню управлять параметрами передачи на физическом уровне. Канальный селектор также может уничтожать данные, если канал прекращает функционировать.

В основе мультиканального принципа лежат два основных понятия: канал управления (CCH) и временное разделение. Принцип временного разделения предполагает, что у всех устройств есть доступ к «универсальному времени координации» (Universal Coordinated Time, UTC), например ГЛОНАСС или GPS. Временное разделение реализуется чередованием интервалов времени CCH и SCH. В интервале канала управления устройства могут считать информационные кадры WSA (WAVE service advertisement), в которых указано, к каким сервисам можно обратиться в конкретных SCH. И далее, во время интервала сервисного канала, устройства могут считывать данные из SCH. Сегментированные «периоды синхронизации» обычно составляют 100 мс: по 50 мс на каждый интервал CCH или SCH с защитным интервалом в 4 мс (рис. 3).

Защитный интервал используется для завершения переключения устройств между каналами и корректировки возможных неточностей в UTC. Устройства, которые не переключаются с канала на канал, могут передавать сообщения и во время защитного интервала; при этом, правда, не гарантируется, что их информация будет получена.

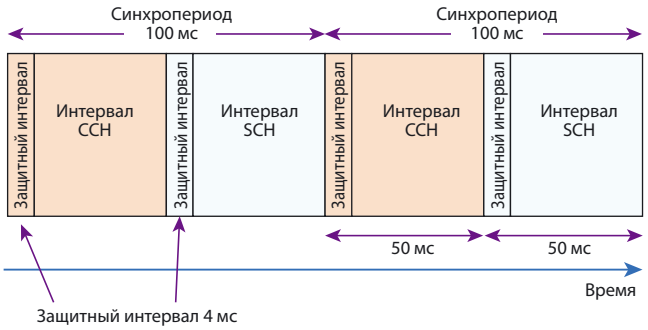

Рис. 3. **Разделение времени между CCH- и SCH-интервалами**

По каналу CCH передаются два типа сообщений:

- короткие сообщения, посылаемые приложениями, отвечающими за безопасность (данные о местоположении объекта, его скорости, ускорении и пр.);
- сообщения о сервисах, доступных на SCH, и их конфигурации.

При использовании WAVE-устройств действует ряд ограничений. В частности, они должны поддерживать хотя бы один из видов кадров, определяемых стандартом IEEE 802.11 [(TA, VSA, WSM, кадр данных IP (только для канала SCH)], и удовлетворять следующим характеристикам:

Рабочий класс 17
Номер канала 178
CCH-интервал, мс 50
SCH-интервал, мс 50
Допустимое время отклонения, мс 2
Максимальное время переключения между каналами, мс . . 2

Сетевой и транспортный уровни в сетях DSRC. Стандарт IEEE 1609.3 регламентирует управление данными на сетевом и транспортном уровне в сетях DSRC, включая многоканальное взаимодействие между устройствами, а также адресацию и доставку данных для сервисов высших уровней (рис. 4).

В системах DSRC управление трафиком на сетевом и транспортном уровнях происходит главным образом с использованием протокола WSMP (WAVE short message protocol), который обеспечивает малое время задержки на передачу сообщения. Он позволяет выбирать номер канала, мощность и скорость передачи для каждого приложения более высокого уровня отдельно, для чего используется идентификатор (provider service identifier, PSID).

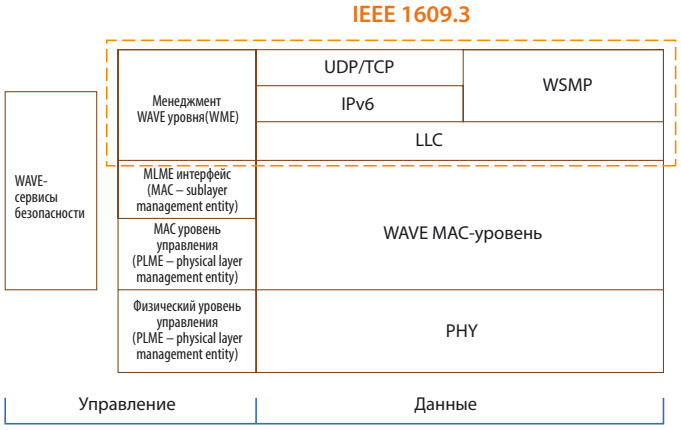

Рис. 4. **Место стандарта IEEE 1609.3 в стеке протоколов DSRC**

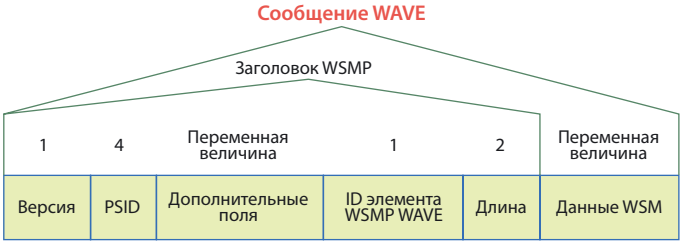

Рис. 5. **Структура кадра сообщения WAVE**

Структура кадра сообщения WAVE представлена на рис. 5. В первом поле указывается версия протокола, в поле «ID элемента WSMP WAVE» задается тип WSM-сообщения, за безопасность отвечает тип WSMP-S (WSMP safety supplement), а за идентификацию — тип WSMP-I (WSMP identity supplement).

В поле «Длина» 12 бит используются для указания длины поля данных в октетах и 4 бита зарезервировано для будущих нужд. Дополнительными могут быть поля с указанием номера канала, скорости передачи данных, мощности передатчика — все эти параметры определяются в спецификации к стандарту IEEE 802.11.

В рамках архитектуры построения сети (стандарт IEEE 1609.0, на данный момент в разработке) типы устройств могут рассматриваться также согласно выполняемым ими функциям: потребитель и поставщик услуг. Поставщик услуг определяет тип сервисных сообщений WSA, используя канал управления, в том числе информацию о сервисах и каналах, конфигурации IP, распределении времени передачи, а также пересылает данные по сервисным каналам для обеспечения работы сервисов. Потребитель услуг отслеживает сообщения WSA (рис. 6), передаваемые по CCH, на предмет интересующих его услуг и сервисов, доступных на SCH, и, находя нужную услугу, переключается на соответствующий SCH.

В заголовке WSA указываются версия WAVE-протокола и значение счетчика, которое увеличивается по модулю 4 всякий раз, когда меняется WSA.

Длина дополнительных полей может меняться, но не превышает 225 октетов. Здесь указывается информация о периоде повторения сообщений, мощности передатчика, идентификаторе поставщика услуг и территориальном положении.

Кадр сообщения WSA состоит из следующих полей (рис. 7):

- *Поле «Сервисная информация»* (рис. 7, *а*). Помимо рассмотренных двух первых полей, в поле «Приоритет сервиса» определяется приоритет пакета (всего доступно 64 вида приоритетов), в поле «Индекс канала» доступно 32 набора параметров канала, а в дополнительных полях может указываться информация о контексте сервисного провайдера (provider service context, PSC), адрес IPv6, номер сервисного порта, MAC-адрес провайдера, порог RCPI (received channel power indicator), порог счетчика WSA и порог интервала счетчика WSA (диапазон от 1 до 255 в единицах 100 мс).
- *Поле информации о канале* (рис. 7, *б*). Поля «Рабочий класс» и «Номер канала» регламентируются в стандарте IEEE 802.11. Здесь указываются скорость и мощность передачи, параметры доступа к каналу и алгоритмы улучшенного распределенного доступа к каналу EDCA (enhanced distributed channel access).
- *Поле WRA* (WAVE routing advertisement) (рис. 7, *в*). В поле «Время работы» указывается время соединения с роутером по умолчанию в секундах; максимальное значение может составлять 18,2 ч.
- В *поле IP-префикса* задается префикс подсети IPv6, в поле WRA — длина префикса, шлюз по умолчанию, основной DNS и дополнительные поля WRA, а в дополнительных полях — дополнительный DNS и MAC-адрес шлюза.

Уровень безопасности в сетях DSRC. Специфика телекоммуникационных транспортных сетей не позволяет использовать средства обеспечения безопасности, регламентированные стандартом IEEE 802.11, что привело к созданию протокола IEEE 1609.2 [2], где главным инструментом защиты данных выступает технология электронных сертификатов.

Широковещательные сообщения не имеют конкретного адресата и обычно используются приложениями, обеспечивающими безопасность дорожного движения. Данный вид сообщений поддерживает WSM, которые, учитывая отсутствие конфиденциальной информации, не шифруются и идентифицируются только подписью сертификата отправителя. Каждое подписанное сообщение содержит метку времени, синхронизированную с временем GPS. Метки времени всех входящих сообщений сверяются получателем в кэше недавних сообщений, чтобы избежать повторения атак.

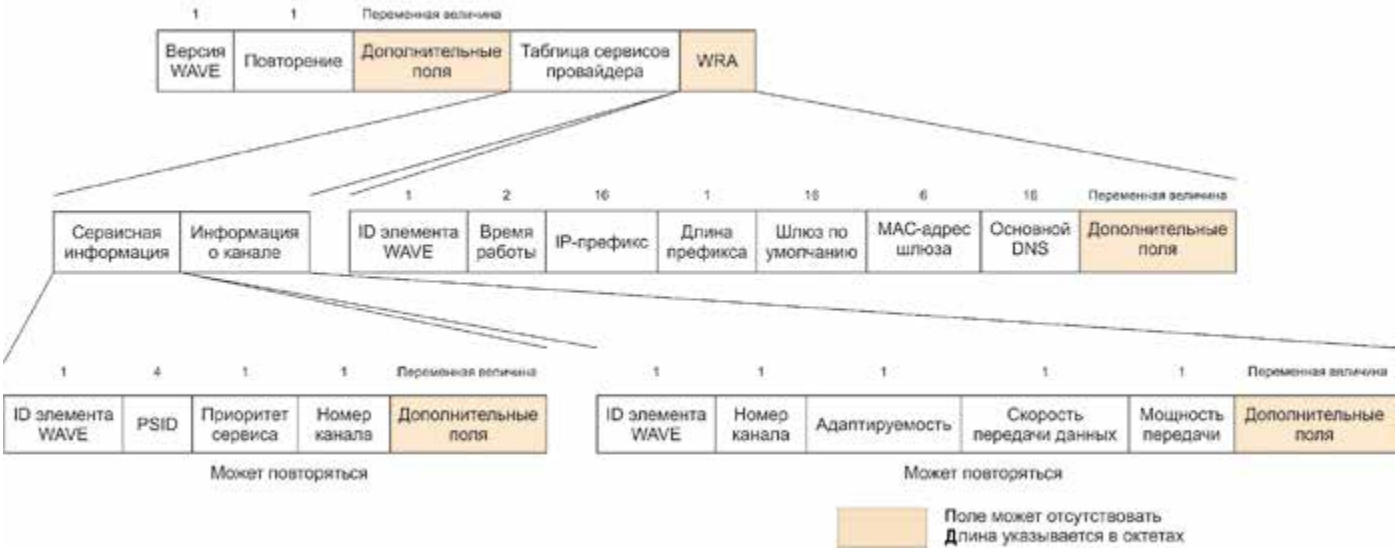

Рис. 6. **Структура сообщения WSA**

Рис. 7. **Кадр сообщения WSA:**

а — поле сервисной информации; *б* — поле информации о канале; *в* — поле WRA

В сетях DSRC применяется алгоритм подписи ECDSA (elliptic curve digital signature algorithm). Примером приложения, поддерживающего широковещательные рассылки, является сервис Platooning («караван»), востребованный при организации автоколонн. В этом случае ведущий OBU передает данные об изменении скорости своего движения прочим ТС в колонне, что позволяет синхронизировать параметр, содействуя тем самым увеличению пропускной способности автомагистралей.

Транзакционные сообщения обычно являются одноадресными, для их передачи применяется стек IP. Поскольку данный вид сообщений используется для доступа к службе, основанной на местоположении пользователя (location-based service, LBS), в них содержатся персональные данные, зашифрованные одним из симметричных алгоритмов шифрования, например AES-CCM или с помощью случайного ключа, защищенного, в свою очередь, асимметричным алгоритмом ECIES.

Для того чтобы отправлять сообщения, каждое устройство в сети должно получить цифровой сертификат. Стандарт IEEE 1609.2 рекомендует включать в сертификаты для OBU общественной безопасности (public safety OBU, PSOBU) и RSU неавтоматизированную (ручную) часть. Подписывая сообщение, транспортное средство может добавить в него цепочку сертификатов, т.е. сертификат, авторизующий сертификат автомобиля, сертификат, авторизующий этот сертификат, и так далее вплоть до корневого сертификата, выдаваемого вышестоящим органом исполнительной власти или аккредитованной организацией. Получив подписанное сообщение, устройство проводит опознание корневого сертификата, использованного для авторизации сертификата отправителя, и проверяет его по списку отозванных сертификатов (Certificate revocation list, CRL). CRL и набор действующих корневых сертификатов хранятся локально на каждом узле и должны периодически обновляться.

Заключение. Особые условия применения систем DSRC и решаемые ими задачи требуют обеспечения ряда услуг, не оговоренных в стандарте IEEE 802.11. С другой стороны, от некоторых сервисов, предлагаемых этим стандартом, таких, например, как функции обеспечения безопасности передаваемой информации, пришлось отказаться в целях максимального сокращения времени передачи сообщения. Эти вопросы призван решить рассмотренный выше стандарт IEEE 1609.

В настоящее время опубликована вторая версия стандартов IEEE 1609.3 и IEEE 1609.4. В процессе доработки — вторая версия стандартов, описывающих функции безопасности (IEEE 1609.2), архитектуру сети (IEEE 1609.0) и протокол взимания платы за использование ИТС (IEEE 1609.11). Разработка остальных стандартов семейства (IEEE 1609.1 — менеджер удаленного управления и IEEE 1609.5 — менеджер связи) пока приостановлена на неопределенный срок.

ЛИТЕРАТУРА

1. IEEE 802.11: Standard for Information Technology — Telecommunications and Information Exchange Between Systems — Local and Metropolitan Area networks — Specific requirements — Part II: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications — Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments.
2. IEEE 1609.2–2006 — Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) — Security Services for Applications and Management Messages.
3. IEEE 1609.3–2010 — Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) — Networking Services.
4. IEEE 1609.4–2010 — Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) — Multi-channel Operation.
5. **Григорьев В. А., Хворов И. А., Кузнецов И. А., Аксенов В. О**. Применение беспроводных технологий при реализации ИТС // Электросвязь.— 2013.— № 10.
6. ASTM E2213–03 (2010). Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems — 5 GHz Band Dedicated Short Range Communications (DSRC) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.
7. **Григорьев В. А., Хворов И. А., Кузнецов И. А., Аксенов В. О**. Особенности частотного обеспечения ИТС // Электросвязь.— 2013.— № 10.
8. **Yunxin (Jeff) Li**. An Overview of the DSRC/WAVE Technology, QSHINE, v. 74 of Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, p. 544–558 //Springer.— 2010.

Получено 12.12.13