

# Особенности технологии DSRC в рамках реализации интеллектуальных транспортных систем

## Features of DSRC technology in the framework of the Intelligent Transport Systems

**Ключевые слова:** Интеллектуальная транспортная система – Intellectual transport system, безопасность дорожного движения – traffic safety, связь на транспорте – communication on transport, инфокоммуникационные технологии – infocommunication technologies.

Проблема обеспечения безопасности дорожного движения и повышения пропускной способности дорог может быть решена посредством разработки и применения Интеллектуальных транспортных систем (ИТС). Перспективным подходом представляется построение ИТС на основе современной технологии DSRC, описание которой приводится в настоящей статье. Применение данной технологии в рамках ИТС позволит снизить уровень аварийности и обеспечить большое количество дополнительных сервисов и приложений.

The problem of traffic safety and capacity growth of roads can be solved by means of development and use of the Intellectual Transport Systems (ITS). Perspective approach creation of ITS on the basis of the modern DSRC technology which description is provided in the present article is represented. Application of this technology within ITS will allow to lower level of accident rate and to provide a large number of additional services and applications.

### ВВЕДЕНИЕ

Проблема аварийности, связанная с транспортными средствами (ТС), в последние годы приобрела особую остроту в связи с несоответствием дорожно-транспортной инфраструктуры потребностям общества и государства в безопасном дорожном движении, недостаточной эффективностью функционирования системы обеспечения безопасности дорожного движения и крайне низкой дисциплиной участ-

**БЛИНОВ / BLINOV M.**

**Максим Андреевич**

(totkapf@gmail.com)

научный сотрудник,  
ООО «КБСТ ИТМО»,  
Санкт-Петербург

**ТАРАКАНОВ / TARAKANOV S.**

**Сергей Александрович**

(k.v.tarakanov@gmail.com)

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник,  
ООО «КБСТ ИТМО»,  
Санкт-Петербург

**ХВОРОВ / KHVOROV I.**

**Игорь Алексеевич**

(khvorov@labics.ru)

кандидат технических наук,  
доцент кафедры Беспроводных телекоммуникаций,  
НИУ ИТМО,  
Санкт-Петербург

**КУЗНЕЦОВ / KUZNETCOV V.**

**Владимир Игоревич**

(mail@kbst-itmo.ru)

директор ООО «КБСТ ИТМО»,  
Санкт-Петербург

ников дорожного движения. Одним из наиболее значимых инструментов решения данной проблемы является создание и внедрение Интеллектуальных транспортных систем (ИТС) [1-3].

Сегодня ИТС – это система, интегрирующая современные информационные, коммуникационные и телематические технологии, технологии управления и предназначенная для автоматизированного поиска и принятия к реализации максимально эффективных сценариев управления транспортной системой региона, конкретным транспортным средством или группой транспортных средств, с целью обеспечения заданной мобильности населения, максимизации показателей использования дорожной сети, повышения

# ИНФОКОММУНИКАЦИИ

безопасности и эффективности транспортного процесса, комфортности для водителей и пользователей транспорта.

Функция интеллектуальности ИТС обеспечивается за счет максимально возможной автоматизации процессов управления транспортно-дорожным комплексом, а также выработки прогнозных управляющих решений на основе современных математических решений и высокоеффективных аппаратно-программных реализаций.

В России постановлением Правительства РФ от 20 февраля 2006 г. № 100 принятая федеральная целевая программа «Повышение безопасности дорожного движения в 2006 – 2012 годах». Основными инструментами реализации ИТС признаны технологии спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS и подвижной связи, а исполнительными элементами являются светофоры, видеокамеры, управляемые дорожные знаки. Решаемые задачи в основном сводятся к контролю перемещения грузов и автотранспортной техники, анализу интенсивности пассажиропотоков, контролю пропускной способности объектов транспортной инфраструктуры и координации взаимодействия оперативных служб. Такие ИТС (Vehicle-to-Infrastructure – V2I, т.е. машина-инфраструктура) основаны на взаимодействии транспортного средства с дорожной инфраструктурой и являются своего рода директивными системами, которые не учитывают ответной реакции транспортного потока на работу подсистем ИТС.

В настоящее время в мире активно ведутся исследования не только систем V2I, но и в направлении, основанном на взаимодействии одного транспортного средства с другим – V2V (Vehicle-to-Vehicle). В качестве базовой модели автомобильной сети рассматриваются сети VANET, основой функционирования которых является технология Беспроводной сети малого радиуса действия – DSRC (Dedicated Short Range Communication).

## СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИИ DSRC

Первоначально 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 входит в состав IEEE 802.11, подобно поправкам IEEE 802.11s, IEEE 802.11v и прочим.

Основной причиной возникновения стандарта DSRC, явилась необходимость создания средства, эффективно предотвращающего столкновения транспортных средств. Суть заключается в постоянном обмене информацией о местоположении, скорости, ускорении и прочими данными между ТС (V2V), а так же между ТС и объектами

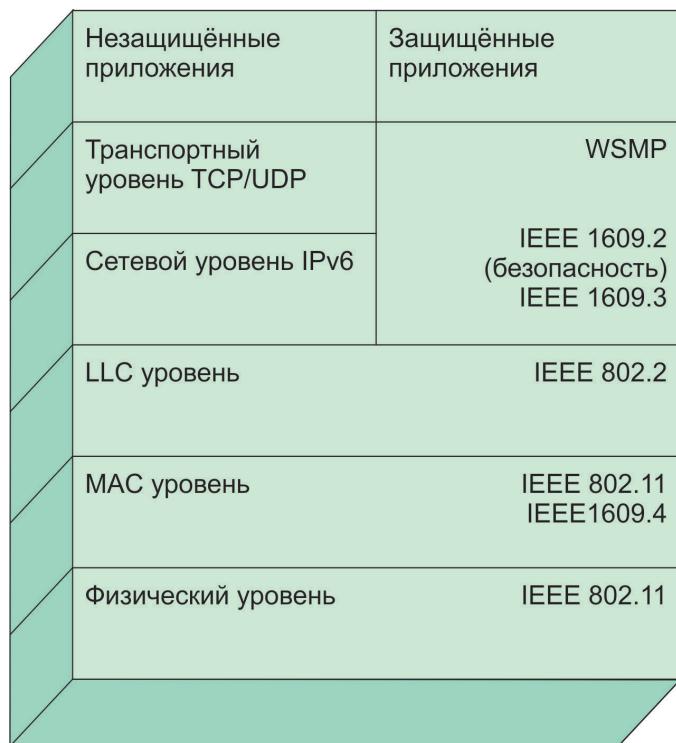
дорожной инфраструктуры – (V2I). На транспортные средства устанавливаются бортовые устройства – OBU (on board unit), а вдоль дорог, на перекрестках и объектах транспортной инфраструктуры устанавливают дорожные устройства – RSU (roadside unit). Устройства, поддерживающие стандарт DSRC, работают в особом режиме – OCB (outside the context to fBSS), что позволяет им мгновенно обмениваться сообщениями, без предварительной организации сети.

OBU постоянно посылает в эфир сообщения содержащие данные его о координатах, скорости и ускорении, в тоже время принимая подобные сообщения от других OBU и RSU. Путем сравнения полученных извне параметров других ТС и собственных скорости и координат, OBU вычисляет траекторию движения ТС и вероятность столкновения с другими участниками дорожного движения, о чем сообщает водителю, а в случае приближения этой вероятности к критическому порогу активирует экстренное торможение. RSU, установленное на перекрестке, может, например, информировать ТС о режиме работы светофора и оптимальной скорости движения для проезда перекрёстка без остановки. RSU, установленное вдоль дороги, способно сообщать OBU рекомендуемую безопасную скорость проезда опасного участка.

Другой важной причиной возникновения системы DSRC, явилась потребность в эффективном средстве бесконтактного автоматического сбора платежей за проезд платных участков дорог, услуг парковки и прочих сервисов. Использование приемников ГЛОНАСС/GPS на RSU, при условии наличия их точной геодезической привязки, позволяет передавать на OBU поправку в определении координат ТС.

В то же время, несмотря на изначальное предназначение DSRC и ввиду большой гибкости, универсальности и адаптивности технологии, круг решаемых на ее базе задач практически не ограничен.

На рисунке 1 представлены сокращенные наименования протоколов, которые используются на различных уровнях сетевой модели OSI. На физическом и MAC-уровне [4] DSRC использует протокол WAVE (Wireless Access for Vehicular Environments) [2, 3], который является заменой традиционного Wi-Fi. В середине стека DSRC применяется набор стандартов IEEE 1609: IEEE 1609.4 для переключения каналов, IEEE 1609.3 для обслуживания сетевого и транспортного уровней, включая WSMP (WAVE Short Message Protocol) и IEEE 1609.2 для обеспечения безопасности передаваемой информации.



**Рис. 1.** Сокращенные наименования протоколов, используемых на различных уровнях сетевой модели OSI

### ОСОБЕННОСТИ ФИЗИЧЕСКОГО УРОВНЯ DSRC

Рассмотрим подробней протокол физического уровня DSRC, который описывается в стандарте IEEE 802.11. Физический уровень делится на две части: подуровень, зависящий от физической среды передачи – PMD (Physical Medium Dependent) и подуровень процедуры определения состояния физического уровня – PLCP (Physical Layer Convergence Procedure). PMD имеет дело непосредственно с техникой мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов – OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). PLCP определяет преобразование между кадрами на MAC-уровне и OFDM-символами.

#### Подуровень физической среды передачи данных (PMD)

Базовый стандарт IEEE 802.11 определяет три различных типа физического уровня с полосой 20 МГц, 10 МГц и 5 МГц. Изменение типа физического уровня задается частотой тактового генератора. Для полосы частот 20 МГц используется полная частота тактового генератора, а для 10 МГц – половинная частота, параметры канала передачи данных представлены в таблице 1.

Для модуляции несущей доступны четыре метода, которые различаются разным количеством бит на символ. Для повышения надежности

используется метод упреждающей коррекции ошибок – FEC (Forward Error Correction). Восемь видов модуляции и FEC, описанные в IEEE 802.11 представлены в таблице 2.

Например, двоичная фазовая модуляция (BPSK) использует один бит на символ поднесущей и 48 бит на один OFDM-символ, со скоростью кодирования 1/2, что значит, что на 24 бита данных приходится 24 проверочных бита. В результате мы получаем, что скорость потока данных составит 3 Мб/с.

На уровне PMD задается скорость и мощность приемо-передатчика, а так же производится OFDM модуляция, включая Обратное быстрое преобразование Фурье, защитный интервал, форма фильтра входного сигнала, модуляция РЧ и усиление мощности. Устройство, использующее OFDM 10 МГц, должно поддерживать скорости передачи данных в 3, 6, 12 Мб/с, прочие скорости являются опциональными. Порядок использования набора битовых скоростей для нужд DSRC V2V определен в документе SAE J2945.1 [5].

Федеральная комиссия по связи США определяет четыре класса устройств, обозначаемых A, B, C, D, каждый из которых определяется максимальной разрешенной мощностью передатчика:

# ИНФОКОММУНИКАЦИИ

Таблица 1

Параметр	Значение
Количество поднесущих	52
Полоса частот на поднесущей	0.15625 МГц
Защитный интервал	1.6 мкс
Длительность символа	8 мкс

Таблица 2

Вид модуляции	Битовая скорость (Мб/с)	Скорость кодирования	Скорость передачи данных (Мб/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

- класс А (максимальная выходная мощность 0 дБм);
- класс В (максимальная выходная мощность 0 дБм);
- класс С (максимальная выходная мощность 20 дБм);
- класс D (максимальная выходная мощность 28,8 дБм).

Устройства V2V обычно относятся к классу С.

На рисунке 2 представлены спектральные маски для значений ширины полосы 10 МГц. Все значения спектральной маски определены относительно пиковой спектральной плотности мощности, измеряемой в dB<sub>g</sub> (относительной единице измерения мощности сигнала, опреде-

ляемой как разность между мощностью в какой-либо точке передающего тракта по отношению к нулевому контрольному уровню).

В стандарте 802.11 для технологии DSRC пропускная способность канала составляет 10 МГц, и спектральная маска смешена на 15 МГц относительно центральной частоты каждого канала при половинной частоте тактового генератора.

Приёмник на уровне PMD включает в себя следующие шаги демодулирования: автоматическая регулировка усиления, синхронизация, РЧ-модуляция, удаление защитных интервалов и быстрое Фурье преобразование. Согласно IEEE 802.11 для приемника определяется минимальная чувствительность и уровень подавления соседних

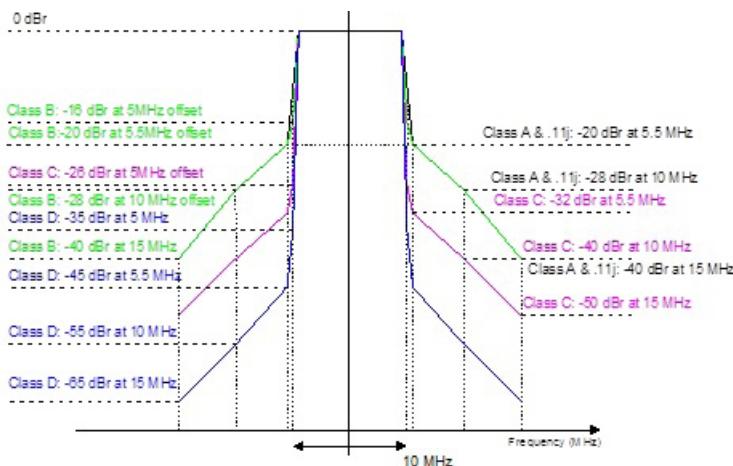


Рис. 2. Спектральные маски для значений ширины полосы 10 МГц

Частота	5850	5855	5865	5875	5885	5895	5905	5915	5925
Номер канала	Защитный интервал	172	174	176	178	180	182	184	
			175			181			
Использование канала		SCH	SCH	SCH	CCH	SCH	SCH	SCH	

Рис. 3. Разграничение спектра частот DSRC на каналы в соответствии с целевым назначением

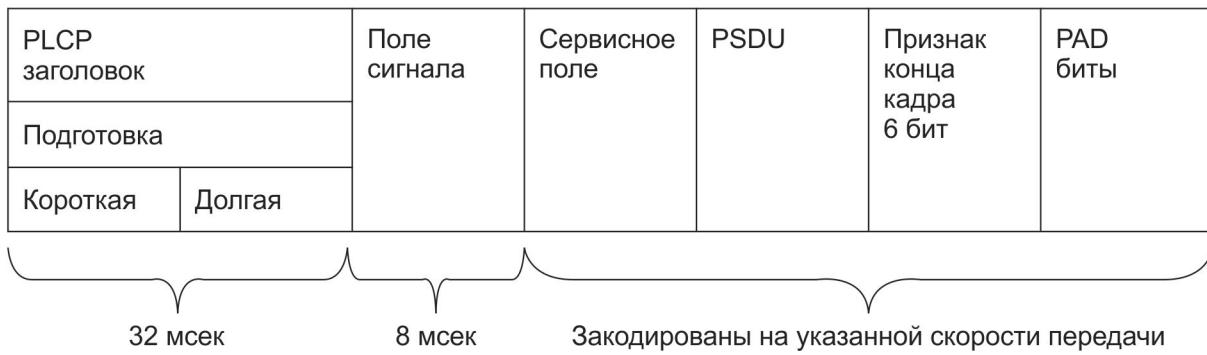
каналов. Минимальная чувствительность определяется как минимальный абсолютный уровень сигнала, при котором пакет в 1000 байт должен приниматься без ошибок на протяжении как минимум 90 % времени, для OFDM 10 МГц находится в диапазоне от -85 дБм на скорости 3Мб/с до -68 дБм на скорости 27 Мб/с. Подавление соседних каналов определяется возможностью фильтра выделить только необходимую полосу частот в 10 МГц, эффективно подавив соседние каналы.

Спектр DSRC лежит в пределах от 5,850 ГГц до 5,925 ГГц, составляет 75 МГц и содержит 7 каналов по 10 МГц и полосу в 5 МГц в начале спектра в качестве защитной зоны (рис. 3). По центральному контролльному каналу в спектре – CCH (Control Channel) – передаются данные с высоким приоритетом и сигналы управления.

Прочая информация передается по сервисному каналу – SCH (Service Channel). Пары SCH с номерами 174, 176 и 180, 182 могут объединяться в один с полосой спектра частот 20 МГц соответственно. Использование каналов CCH и SCH оговаривается в протоколе IEEE 1609.4.

Использование канала 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 нужд транспортных систем. Канал 20 МГц меньше подвержен перегрузкам, потому как для передачи кадра по каналу 20 МГц требуется в два раза меньше времени, чем по каналу в 10 МГц, что уменьшает вероятность столкновения ТС. С другой стороны канал 20 МГц больше подвержен воздействию шумов и межсимвольной интерференции из-за задержки распространения.

# ИНФОКОММУНИКАЦИИ



**Рис. 4.** Обратное преобразование MAC-кадра из PPDU в приемнике PLCP

## Подуровень процедуры определения состояния физического уровня (PLCP)

В передатчике PLCP функция организует байты в MAC-кадр, чтобы они могли быть преобразованы в OFDM символы, для передачи их с помощью PMD. PLCP заголовок физического уровня PHY к MAC-кадру для создания блока протокола физического уровня – PPDU (PHY Protocol Data Unit). Подуровень MAC передает на уровень PLCP вместе с MAC-кадром три параметра: длину MAC-кадра, скорость передачи и мощность передачи. В приемнике PLCP производит функцию обратного преобразования MAC-кадра из PPDU (рис. 4) и в частности выполняет определение уровня мощности приемника – RSSI (Received Signal Strength Indication).

Описание этих полей приведено в стандарте IEEE 802.11 [6]. Заголовок используется для синхронизации и выравнивания уровня сигнала на приёмнике. 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 длину кадра. До тех пор пока не принятые биты Поля сигнала, скорость передачи не известна, потому заголовок и поле сигнала передается на скорости по умолчанию, чаще всего на минимальной. Минимальная скорость передачи выбирается из соображений, что в этом случае, вероятность успешного детектирования сигнала приёмником возрастает. Даже, если оставшаяся часть кадра не была декодирована, принятые заголовок и Поле сигнала позволяют определить время окончания кадра. Сервисное поле и поле признака конца кадра обеспечивают кодирование информации. Поле PAD используется для проверки. Полезной нагрузкой в PPDU является MAC-кадр.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Технология DSRC в диапазоне 5.9 ГГц способна обеспечить большое количество сервисов и приложений, включая систему предотвращения столкновений и тем самым спасти множество жизней и сэкономить миллионы рублей. Эта технология существенно зависит от совместимости внутри стандарта IEEE 802.11. На сегодняшний день физически уровень DSRC полностью описан в стандарте, однако требуется дальнейшая работа по формированию требований в рамках стандарта IEEE 1609.

## **Литература**

1. Intelligent Transport Systems (ITS); Radiocommunications equipment operating in the 5855 MHz to 5925 MHz frequency band; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive: Final draft ETSI EN 302 571 V1.1.1 (2008-09). – European Telecommunications Standards Institute, 2008. – 41 p.;
  2. Li, Yunxin (Jeff). An Overview of the DSRC/WAVE Technology // Quality, Reliability, Security and Robustness in Heterogeneous Networks. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, 2012. – vol. 74. – pp. 544-558;
  3. Draft Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Architecture. The Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) Working Group of the Intelligent Transport Systems (ITS) Committee: IEEE P1609.0 D0.1. – Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010;
  4. 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: ASTM E2213-03. – Committee E17.51 on Vehicle Roadside Communication, 2010;
  5. Dedicated Short Range Communication (DSRC) Minimum Performance Requirements: SAE J2945. – Society of Automotive Engineers, 2010;
  6. IEEE Standard for information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments: IEEE 802.11-2012. – Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2012.