

К. А. Лукин, В. Е. Щербак

Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины

12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина

E-mail: lukin.konstantin@gmail.com, valery.scherbakov@gmail.com

MIMO-СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ МЕЖДУ АВТОМОБИЛЯМИ НА АВТОБАНЕ С ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ, БЛИЗКОЙ К ПРЕДЕЛУ ШЕННОНА

Предложен новый подход к проектированию самоорганизующейся MIMO-системы передачи данных в реальном времени между транспортными средствами (VVDT), находящимися на автомагистрали в радиусе 1 км, с использованием EU DSRC-стандарта. Метод построения самоорганизующейся EU DSRC-VVDT MIMO-системы предусматривает полностью автономную работу транспортного средства, оборудованного данной системой, при полном отсутствии базовых станций, как правило, управляющих системами мобильной связи. Предложенный метод предоставляет возможность на практике реализовать множественный доступ с пространственно-кодовым распределением каналов (S-CDMA) и передачу информации с использованием широкополосных хаотических последовательностей и уникальных бинарных псевдослучайных последовательностей. Кроме того, эти кодовые сигналы предоставляют потенциальную возможность построения самоорганизующейся EU DSRC-VVDT MIMO-системы передачи данных без выделения частотного или временного канала для каждого транспортного средства и приема данных на беспоисковой основе. Сочетание пространственно-кодового разделения каналов (S-CDMA) и хаотического кодирования при реализации CDMA-стандарта – характерные особенности предлагаемой EU DSRC-VVDT MIMO-системы. Ключевая идея метода состоит в том, чтобы в EU DSRC-VVDT MIMO-системе уникальный код для каждого автомобиля ассоциировать не с самим автомобилем, а с его текущим положением на автобанах. Новая процедура предписания S-CDMA-кода каждому автомобилю внутри рабочей дальности действия EU DSRC-VVDT MIMO-системы делает возможным использование стандартной приемно-передающей аппаратуры на всех транспортных средствах. Самоорганизующаяся MIMO-система позволяет на практике реализовать (для максимально возможного количества транспортных средств) пропускную способность канала, близкую к пределу Шеннона. Ил. 3. Библиогр.: 13 назв.

Ключевые слова: автобан, транспортные средства, пространственно-кодовое разделение каналов, EU DSRC-стандарт, хаотическая последовательность, уникальная бинарная псевдослучайная последовательность, самоорганизующаяся EU DSRC-VVDT MIMO-система.

Аварии и автокатастрофы на автобанах – одна из наиболее серьезных социальных проблем, стоящих перед мировым сообществом сегодня, как в терминах количества смертей и увечий, так и в терминах финансовых потерь, вызванных катастрофами [1]. Многие страны не прекращают выделять финансовые средства, направляемые на исследования по повышению безопасности движения на автомагистралях. В наши дни увеличение населения и повышенное использование во всем мире разнообразных автомобилей с сопутствующим этому увеличением их скопления на автомагистралях требуют создания автоматизированных систем безопасности движения и делают разработку средств предупреждения и предотвращения столкновений на основе радарных и связанных систем еще более актуальной и неотложной.

Так, например, крупнейшие автомобильные производители: BMW, DaimlerChrysler, Volkswagen, Renault and Fiat основали европейский консорциум по связи между автомобилями – European Car-2-Car Communication Consortium (C2C CC) [2, 3]. Этот европейский проект получил название «Сеть на колесах» (“Network on Wheels” – NOW) [2, 3]. Его цель – детально разработать европейский промышленный стандарт будущей системы связи между автомобилями для всех их типов. Идея проекта NOW основывается на использовании стандарта IEEE 802.11, также известного как беспроводная локальная сеть, для автоматизированного обмена информацией между участниками дорожного движения. Как только

два или более транспортных средства оказываются в пределах дальности радиосвязи, они автоматически соединяются, и между ними устанавливается специальная локальная сеть. Однако рабочая дальность одного соединения беспроводной локальной сети ограничена 70...100 м.

Федеральная администрация по автомагистралям (FHWA) США поставила задачу [1] на перспективу: снизить число автодорожных несчастных случаев с летальным исходом на 50 % в течение будущих 10 лет. Один из многообещающих подходов к разрешению проблемы был детально разработан в США, а именно «технология DSRC» (Dedicated Short-Range Communications – Специализированные системы ближней связи) [4], которая является специфической модификацией системы RFID (Radio-Frequency Identification – радиочастотной идентификации). Федеральная комиссия по связи (Federal Communication Commission – FCC) США распределила СВЧ-диапазон от 5,850 до 5,925 ГГц (так называемый 5,9 ГГц частотный диапазон) для DSRC применений [4]. Главное преимущество DSRC-системы по сравнению с RFID-системой состоит в намного большей рабочей дальности: до 1 000 м против 10 м. Существуют твердые планы внедрения технологии DSRC.

Одним из серьезных недостатков всех известных методов построения систем передачи данных между автомобилями является необходимость персонификации (присвоение уникального кода) приемопередающей аппаратуры каждого

транспортного средства, что наталкивается как на трудно преодолимую техническую проблему генерации большого числа ортогональных кодов, так и на необходимость решения соответствующих правовых проблем.

Авторами данной статьи была запатентована новая идея [5] и предложена новая концепция и метод построения самоорганизующейся мультиплексной системы связи между транспортными средствами (*CARs-to-CARs*-системы) на автобане [6–9]. *CARs-to-CARs*-система была разработана с учетом требований *USA DSRC*-стандарта [4].

В мае 2009 г. официальный орган Европейского союза – *ETSI (European Telecommunications Standards Institute)* – Европейский институт стандартов по телекоммуникациям) разрешил передачу данных между *DSRC*-системами и обочинной на автобанах в диапазоне радиочастот 5,725...5,875 ГГц (полосу частот в 150 МГц) [10].

Целью работы является разработка новой концепции построения самоорганизующейся *EU DSRC-VVDT MIMO*-системы передачи/приема информации между транспортными средствами (*VVDT*), находящимися внутри автомагистрали в радиусе 1 км, соответствующей требованиям *EU DSRC*-стандарта, и оценка пропускной способности канала, используемого *MIMO*-системой.

Концепция EU DSRC-VVDT MIMO-системы. Предлагаемый метод построения *EU DSRC-VVDT MIMO*-системы дает возможность устанавливать связь между транспортными средствами с целью обеспечения автоматизированного управления движения транспортных средств на автомагистралях и совместного использования затребованной информации. В случае крайней необходимости *EU DSRC-VVDT MIMO*-система тщательно разрабатывает взаимосвязанную информацию и посылает инструкции для бортовой системы предупреждения/предотвращения столкновения, чтобы не допустить катастрофу.

Предложенный метод предусматривает использование дифференциальной системы *GPS (DGPS)* с *WAAS (Wide Area Augmentation System)* – глобальная система распространения дифференциальных поправок) и/или системы *GALILEO (EU Global Navigation Satellite System)* – европейская глобальная спутниковая радионавигационная система) с системой *EGNOS (European Geostationary Overlay System)* – европейская геостационарная радионавигационная система), которая дает возможность каждому транспортному средству на магистрали идентифицировать свое местонахождение с точностью от нескольких метров до нескольких дециметров.

Предложенный метод и *EU DSRC-VVDT MIMO*-система, устанавливаемая на транспортное

средство, делает возможным измерение своих координат в глобальной системе координат, передачу информации о текущем месторасположении транспортного средства, параметрах его движения к другим участникам движения в пределах рабочего диапазона и тщательную разработку наилучших маршрутов согласно заданным критериям.

EU DSRC-VVDT MIMO-система может передавать также информацию о нормальном/аварийном состоянии транспортного средства, водителя, пассажиров, груза в автоматическом режиме, а также идентификационные данные для полиции, как, например числа номерного знака транспортного средства, место регистрации, номера водительских прав и т. д.

Концепция *EU DSRC-VVDT MIMO*-системы основана на применении разработанных авторами [11, 12] новых методов генерации широкополосных хаотических кодов и уникальных бинарных псевдослучайных последовательностей, имеющих очень малые боковые лепестки их авто- и взаимной корреляционных функций. Это позволяет реализовать принципы передачи сигналов с расширенным спектром, в частности, осуществить множественный доступ с пространственно-кодовым разделением каналов (*S-CDMA*).

Применение в *EU DSRC-VVDT MIMO*-системе широкополосных хаотических кодов и уникальных бинарных псевдослучайных последовательностей делает возможным создание необходимого числа независимых каналов связи в пределах выделенного частотного диапазона. Кроме того, эти кодовые сигналы предоставляют потенциальную возможность организации системы для приема/передачи данных без выделения частотного или временного канала для каждого транспортного средства и выполнения приема данных на беспоисковой основе.

Имеющаяся в распоряжении полоса частот 150 МГц (согласно *EU DSRC*-стандарту) должна быть разделена на два не перекрывающихся частотных канала (рис. 1). Для каждого из двух частотных каналов (рис. 2, 3) применяются принципы *S-CDMA* для передачи данных между транспортными средствами. Максимальное количество транспортных средств (рис. 2), движущихся по четырем полосам трафика движения при покрытии 1 000 м области пространства на автомагистрали, равно

$$N_{\max} = 4R_0 / \Delta R = 4000 / 8 = 500 \rightarrow$$

$$\rightarrow N_{S-CDMA} = 500.$$

Допущение: каждая 8-метровая ячейка по направлению движения содержит только одно транспортное средство.

Для *S-CDMA* разделения каналов используются хаотические последовательности различ-

ной длины (CWS-коды) и уникальные бинарные псевдослучайные последовательности (BPRS-коды).

Существуют два основных ограничивающих фактора при проектировании *EU DSRC-VVDT MIMO*-системы:

1. Имеющаяся в распоряжении ширина полосы $\Delta F = 150$ МГц (рис. 1).

2. Необходимость в обеспечении достаточно точной пространственно-временной синхронизации системы для декодирования информации.

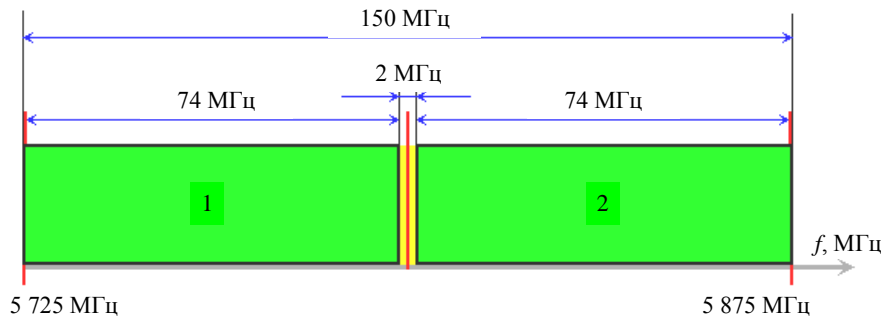


Рис. 1. Расположение частотных каналов в *EU DSRC-VVDT MIMO*-системе

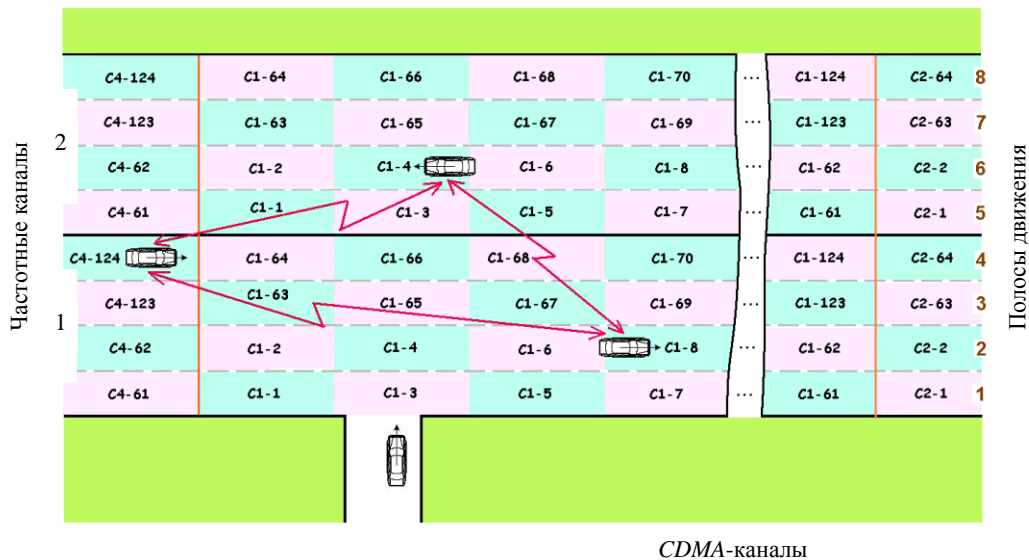


Рис. 2. Взаимное расположение частотных и пространственно-кодовых каналов в *EU DSRC-VVDT MIMO*-системе при покрытии пространства внутри 1-км зоны автомагистрали с восемью полосами движения

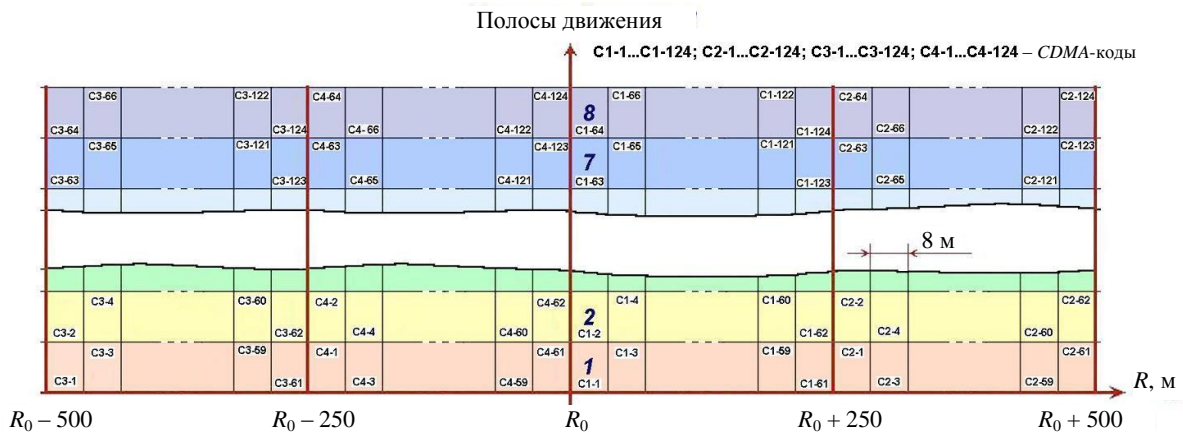


Рис. 3. Фрагмент привязки *S-CDMA*-кодов *EU DSRC-VVDT MIMO*-системы к пространственным координатам автомагистрали с восемью полосами движения

Из первого фактора следует, что самый короткий импульс в системе должен быть равен $t_c = 1/\Delta F = 1/74000000 = 13,45$ нс.

В то же время для декодирования информации с заданной достоверностью требуется точность взаимной синхронизации S-CDMA-кодов не хуже $\chi \leq \pm 20$ % [9].

В нашем случае ошибка по времени синхронизации и относительная точность взаимной синхронизации S-CDMA-кодов будет равна соответственно

$$\sigma t = \frac{\sigma R}{c} = \frac{\pm 0,6}{3 \cdot 10^8} = \pm 2 \text{ нс,}$$

$$\chi = \frac{\sigma t}{\tau_p} 100 \% = \frac{\pm 2 \cdot 10^{-9}}{13,45 \cdot 10^{-9}} 100 \% = \pm 14,87 \%,$$

где $\sigma R = \pm 0,6$ м – ошибка измерения DGPS-координаты (с коррекциями от WAAS может быть достигнута точность измерения, равная $\sigma R = \pm(1 \div 0,1)$ м); $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света; $\tau_p \approx t_c = 13,45$ нс – расчетная длительность элементарного (чипового) импульса S-CDMA-кода. Последнее накладывает основное ограничение на скорость передачи информации.

Взаимная синхронизация всех S-CDMA-кодов обеспечивается с помощью сигналов GPS. Таким образом, стандартный приемник GPS также является частью предлагаемой EU DSRC-VVDT MIMO-системы.

В EU DSRC-VVDT MIMO-системе каждый частотный канал ассоциируется с определенным направлением движения по автомагистрали, в то время как транспортные средства на одном и том же направлении движения должны быть различимы канальными S-CDMA-кодами.

Кроме того, для осуществления синхронного режима передачи информации предлагается предписать уникальный хаотический случайный код каждому 8-метровому селекторному интервалу по дальности и принудить каждое транспортное средство, передвигающееся в пределах этого селекторного интервала по дальности, передавать информацию, используя только этот код.

Таким образом, в пределах 1 км дальности достигается полная идентификация транспортного средства с помощью селекторного интервала по дальности для автомагистрали, имеющей 8 полос линий движения.

Новый способ привязки кода, который предписывается каждому автомобилю внутри рабочей дальности EU DSRC-VVDT MIMO-системы, делает возможным использование стандартной приемо-передающей аппаратуры на всех транспортных средствах.

Основные технические характеристики EU DSRC-VVDT MIMO-системы, рассчитанные для наиболее часто встречающегося на практике числа (8, 6 и 4) полос движения на автобане, приведены в таблице.

Основные технические характеристики EU DSRC-VVDT MIMO-системы

1	Параметр	Значение параметра		
1	Диапазон частот, ГГц	5,725...5,875		
2	Общая полоса частот, МГц	150		
3	Число полос движения (по ходу движения + в обратном направлении)	8 (4+4)	6 (3+3)	4 (2+2)
4	Число частотных каналов (ширина частотного канала, МГц)	2 (74)		
5	Метод доступа	S-CDMA		
6	Чиповая скорость, Мчип/с	73,152	72,576	
7	Длительность чипового импульса, нс	13,45		
8	Степень кодирования	1-127		1-63
9	Скорость информации, Кбит/с	576		1 152
10	Пропускная способность канала (для максимально возможного количества автомобилей, шт.), Кбит/с	71 424 (124)	53 568 (93)	71 424 (62)
11	Длина кадра, мс	10 (20)		
12	Количество информации в кадре, бит	5 760 (11 520)		11 520 (23 040)
13	Синхронизация	Синхронизация частотой GPS		
14	Расширяющие спектр последовательности (коды)	Хаотические последовательности различной длины (CWS-коды) и уникальные бинарные псевдослучайные последовательности (BPRS-коды)		
15	Число кодов	124	93	62
16	Модуляция данных	QPSK; BPSK		
17	Расширяющая модуляция	QPSK		

Для быстрой передачи информации необходимо обеспечить достаточно высокую скорость передачи данных. С этой целью еще один ограничивающий фактор должен быть принят во внимание. Для того чтобы обеспечить приемлемую надежность передачи информации, данные должны передаваться не непрерывно, а пакетами (кадрами) соответствующей длительности, используя повторение данных и чередование в кадре. Предполагается применить 10- и 20-мс кадры.

Достижимая скорость передачи информации может быть оценена начиная с имеющейся в распоряжении ширины полосы частот одного канала *S-CDMA* и длительности используемых кадров. Оценки показали, что для надежной передачи/приема 5 760 бит информации в течение 10 мс (информационная скорость равна 576 Кбит/с) между 124 каналами *S-CDMA* должна быть обеспечена чиповая скорость равная 73,152 Мчип/с, которая удовлетворяет ограничению ширины полосы частот канала *S-CDMA*.

Выводы. Предложен новый подход к построению самоорганизующейся *EU DSRC-VVDT MIMO*-системы передачи данных в реальном времени между всеми транспортными средствами внутри 1-км зоны автомагистрали. Метод построения самоорганизующейся *EU DSRC-VVDT MIMO*-системы предусматривает полностью автономную работу транспортного средства, оборудованного данной системой, при полном отсутствии так называемых базовых станций, как правило, управляющих системами мобильной связи. Предложенный метод предоставляет возможность на практике реализовать множественный доступ с пространственно-кодовым распределением каналов (*S-CDMA*) и принципы передачи информации с использованием широкополосных хаотических последовательностей (*CWS*-кодов) и уникальных бинарных псевдослучайных последовательностей (*БЛСП*-кодов). Кроме того, эти кодовые сигналы предоставляют потенциальную возможность построения самоорганизующейся *EU DSRC-VVDT MIMO*-системы передачи данных без выделения частотного или временного канала для каждого транспортного средства и приема данных на беспойсковой основе. Сочетание пространственно-кодированного (*S-CDMA*) разделения каналов и хаотического кодирования при реализации стандарта *CDMA* – характерные особенности предлагаемой *EU DSRC-VVDT MIMO*-системы. Ключевая идея метода состоит в том, чтобы в *EU DSRC-VVDT MIMO*-системе уникальный код для каждого автомобиля ассоциировать не с самим автомобилем, а с его текущим положением на автобане. Новая процедура предписания *S-CDMA*-кода каждому автомобилю внутри рабочей дальности действия *EU DSRC-VVDT MIMO*-системы делает возможным использование стан-

дартной приемо-передающей аппаратуры на всех транспортных средствах. Самоорганизующаяся *MIMO*-система позволяет на практике реализовать (для максимально возможного количества транспортных средств) пропускную способность канала, близкую к пределу Шеннона.

Библиографический список

1. *Intelligent Transportation Society of America. National ITS Program Plan: A Ten Years Vision* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www/URL: http://www.itsa.org/subject.nsf/vLookupRport/10YearPlan!OpenDocument,July2004](http://www.itsa.org/subject.nsf/vLookupRport/10YearPlan!OpenDocument,July2004). – Загл. с экрана.
2. *European Car-2-Car Communication Consortium, C2C-CC* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www/URL: http://www.car-to-car.org](http://www.car-to-car.org). – Загл. с экрана.
3. *Frequencies for Increased Safety. DaimlerChrysler HighTech Report, February 2003* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www/URL: http://www.daimlerchrysler.com/Projects/c2c/channel/documents/201461_htr2003_2_e.zip](http://www.daimlerchrysler.com/Projects/c2c/channel/documents/201461_htr2003_2_e.zip). – Загл. с экрана.
4. *ASTM Int. ASTM E2213-03 Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems t Range Communications (DSRC) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, 2003* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www/URL: http://www.astm.org](http://www.astm.org). – Загл. с экрана.
5. *Patent No. US 6,720,920 B2, USA, Current U.S. Class: 342/386; 342/357.31. Method and arrangement for communicating between vehicles / D. S. Breed, W. E. DuVall, W. C. Johnson, K. A. Lukin, V. N. Konovalov; Assignee: ITI, Inc.; Filed: 09.04.02, Patented: 13.04.04. Patent No. US 7,110,880, USA, U.S. Class: 701/207340/995.13; 701/117, Filed: 03.01.05, Patented: 19.09.06.*
6. *Dedicated Short-Range Communication System for Vehicle-to-Vehicle Data Transmission on the Basis of Chaotic Waveform codes (DSRC-VVDT) / K. Lukin, V. Scherbakov, V. Konovalov, R. Breed // Proc. of 16 Int. Conf. on Microwaves, Radar and Wireless Communications (MIKON-2006). – Krakow, 2006. – Vol. 1. – P. 442–445.*
7. *Метод построения самоорганизующейся системы связи между транспортными средствами на автобане / К. А. Лукин, В. Е. Щербаков, В. М. Коновалов, Д. С. Брид // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2007. – № 6(25). – С. 238–244.*
8. *New Concept of Multiplex Broadband Wireless Communication for Vehicle-to-Vehicle Data Transmission on Highways / K. A. Lukin, V. Ye. Scherbakov, V. M. Konovalov, D. S. Breed // Proc. of the Sixth Int. Kharkov Symp. on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves (MSMW'07). – Kharkov, 2007. – Vol. 2. – P. 852–854.*
9. *Щербаков В. Е. Моделирование системы передачи/приема данных между транспортными средствами на автобане / В. Е. Щербаков, К. А. Лукин // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – № 7(41). – С. 288–294.*
10. *European Telecommunications Standards Institute (ETSI) – World Class Standards: ETSI Technologies: Intelligent Transport: Dedicated Short-Range Communication (DSRC)* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www/URL: http://www.etsi.eu/WebSite/Technologies/DSRC.aspx](http://www.etsi.eu/WebSite/Technologies/DSRC.aspx). – Загл. с экрана.
11. *Лукин К. А. Метод формирования квазиортогональных хаотических кодовых сигналов для системы передачи/приема данных между транспортными средствами на автобане / К. А. Лукин, В. Е. Щербаков // Прикладная радиоелектрон. – 2012. – 11, № 1. – С. 37–43.*
12. *Lukin K. A. New Method for Generation of Quasi-Orthogonal Chaotic Sequences / K. A. Lukin, V. Ye. Shcherbakov,*

D. V. Shcherbakov // Appl. Radio Electronics. – 2013. – 12, N 1. – P. 17–24.

Рукопись поступила 27.04.2015.

К. А. Lukin, V. Ye. Shcherbakov

MIMO-SYSTEM WITH CARRYING CAPACITY CLOSE TO SHANNON'S LIMIT FOR VEHICLE-TO-VEHICLE DATA TRANSMISSION ON HIGHWAY

A new approach to design of the self-organizing MIMO-system using European Union Dedicated Short-Range Communication (EU DSRC) standard for Vehicle-to-Vehicle Data Transmission (VVDT) within a highway area of 1 km in radius is proposed. The design method of self-organizing EU DSRC-VVDT MIMO-system provides the completely off-line operation of vehicle appointed by this system at the complete absence of base stations as a rule controlling mobile communication systems. The method suggested gives the possibility in practice to realize a Space-Code Division Multiple Access (S-CDMA) and the principles of data transmitting with the usage of broadband chaotic waveform sequences and unique binary pseudorandom sequences. In addition, these code signals give a potential capability for design of a self-organizing EU DSRC-VVDT MIMO-system without allocating a frequency or temporal channel for each vehicle and perform data reception on the searchless basis. Combination of spatially code channels separation (S-CDMA) and chaotic waveform coding for implementing CDMA-standard are distinguishing features of the suggested EU DSRC-VVDT MIMO-system. The key method idea is to associate the unique code for every car in the EU DSRC-VVDT MIMO-system not with a car, but with its current position on highway. A new method for the S-CDMA-code prescribing to each car within the working range of EU DSRC-VVDT MIMO-system enables usage of identical standard Tx/Rx equipment for all vehicles. The self-organizing MIMO-system allows to implement in practice, for the maximally possible amount of transport vehicles, the carrying capacity of channel close to Shannon's limit.

Key words: highway, vehicles, spatially code channels separation, EU DSRC-standard, chaotic waveform sequence, unique binary pseudorandom sequence, self-organizing EU DSRC-VVDT MIMO-system.

К. О. Лукін, В. Є. Щербаков

MIMO-СИСТЕМА ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ МІЖ АВТОМОБІЛЯМИ НА АВТОБАНІ ІЗ ПРОПУСКНОЮ СПРОМОЖНІСТЮ, БЛИЗЬКОЮ ДО МЕЖІ ШЕННОНА

Запропоновано новий підхід до проектування самоорганізованої MIMO-системи передачі даних в реальному часі між транспортними засобами (VVDT), які знаходяться в межах автомагістралі в радіусі 1-го кілометра, з використанням EU DSRC-стандарту. Метод побудови самоорганізованої EU DSRC-VVDT MIMO-системи передбачає автономну роботу транспортного засобу, обладнаного даною системою, за умов повної відсутності базових станцій, як правило, керуючих системами мобільного зв'язку. Запропонований метод надає можливість на практиці реалізувати множинний доступ з просторово-кодним розподілом каналів (S-CDMA) і передачу інформації з використанням широкосмугових хаотичних послідовностей і унікальних бінарних псевдовипадкових послідовностей. Крім того, ці кодові сигнали надають потенційну можливість побудови самоорганізованої EU DSRC-VVDT MIMO-системи для передачі даних без виділення частотного або часового каналу для кожного транспортного засобу і прийому даних на безошукової основі. Поєднання просторово-кодowego розділення каналів (S-CDMA) і хаотичного кодування для реалізації стандарту CDMA – характерні особливості запропонованої EU DSRC-VVDT MIMO-системи. Ключова ідея методу полягає в тому, щоб в EU DSRC-VVDT MIMO-системі унікальний код для кожного автомобіля асоціювати не з самим автомобілем, а з його поточним положенням на автобані. Нова процедура припису S-CDMA-коду кожному автомобілю у межах робочої дальності дії EU DSRC-VVDT MIMO-системи уможливило використання стандартної приймально-передавальної апаратури на всіх транспортних засобах. Самоорганізована MIMO-система дозволяє на практиці реалізувати (для максимально можливої кількості транспортних засобів) пропускну спроможність каналу, близьку до межі Шеннона.

Ключові слова: автобан, транспортні засоби, просторово-кодове розділення каналів, EU DSRC-стандарт, хаотична послідовність, унікальна бінарна псевдовипадкова послідовність, самоорганізована EU DSRC-VVDT MIMO-система.