

УДК 621.396.2.018.424

К.А. ЛУКИН<sup>1</sup>, В.Е. ЩЕРБАКОВ<sup>1</sup>, В.М. КОНОВАЛОВ<sup>1</sup>, Д.С. БРИД<sup>2</sup><sup>1</sup> *Институт радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАНУ, Украина*<sup>2</sup> *Intelligent Technologies International Inc., США*

## МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СИСТЕМЫ СВЯЗИ МЕЖДУ ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ НА АВТОБАНЕ

В статье предлагается новый подход к проектированию системы связи между транспортными средствами с использованием стандарта DSRC для передачи и приема данных в реальном масштабе времени между всеми автомобилями, находящимися на автомагистрали в радиусе 1-го километра. Сочетание частотного и кодового разделения каналов, а также хаотического кодирования при реализации стандарта CDMA – характерные особенности предлагаемой системы. Ключевая идея метода состоит в том, чтобы в системе с кодовым разделением каналов уникальный код для каждого автомобиля ассоциировать не с самим автомобилем, а с его текущим положением на автобане. Кроме того, эти кодовые сигналы предоставляют потенциальную возможность построения самоорганизующейся системы подвижной связи для передачи данных без выделения частотного или временного канала для каждого транспортного средства, и приема данных на беспоисковой основе.

**автобан, транспортные средства, частотное и пространственно-кодовое разделение каналов, стандарт DSRC, уникальный хаотический код, самоорганизующаяся система подвижной связи**

### Введение

Аварии и автокатастрофы на высокоскоростных автомагистралях (автобанах) – одна из наиболее серьезных проблем, стоящих перед мировым сообществом сегодня, так как это связано с большим количеством смертей и увечий во время аварий, и финансовых потерь, вызванных ими. По данным министерства транспорта США (DOT) [1], ежегодно около 165 миллиардов долларов теряются в автокатастрофах и авариях на автомагистралях. Еще 50 миллиардов долларов теряются людьми в напрасно потраченном времени на переполненных магистралях.

Новые методы и системы, которые могут помочь решить эту проблему, заслуживают безусловного внимания и приоритета. Было предпринято много попыток, чтобы решить эту проблему [1], однако ни один из подходов или методов, известных на сегодняшний день, пока еще не способен удовлетворительно сделать это. Поэтому многие передовые страны мира вкладывают значительные финансовые

средства, направляемые на исследования по повышению безопасности движения автомобилей на высокоскоростных автобанах. Увеличение населения планеты и сопутствующий этому рост использования во всем мире разнообразных автомобилей, с увеличением их скопления на автобанах, требуют создания автоматизированных систем безопасности движения, и, следовательно, делают разработку средств предупреждения и предотвращения столкновений на основе радарных и связных систем еще более актуальной и неотложной.

Достаточно большое количество научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, ведущихся как в Украине, так и за рубежом (например, европейский проект CarTALK 2000) на протяжении прошедшего десятилетия, направлены на решение проблем безопасности дорожного движения на высокоскоростных автомагистралях. В конце 2004 года немецкое правительство выделило финансирование на проект по внедрению технологии беспроводной передачи данных Wi-Fi для обеспечения связи между автомобилями на дорогах. Новый про-

ект получил название «Сеть на колесах» (Network on Wheels – NOW) [2]. Идея проекта NOW основывается на использовании стандарта IEEE 802.11, известного также как беспроводная локальная сеть. Как только два транспортных средства оказываются в пределах дальности радиосвязи, они автоматически соединяются, и между ними устанавливается специальная локальная сеть. Однако диапазон дальностей такой беспроводной локальной сети ограничен 70 – 100 метрами.

Федеральная администрация автострад США (FHWA) поставила перед собой трудную задачу [1]: за десять лет уменьшить число дорожных аварий со смертельным исходом на 50 %. Один из многообещающих подходов к разрешению этой проблемы был разработан в США и получил название «технология DSRC» (Dedicated Short-Range Communications – специально выделенные коммуникации ближнего действия) [1]. Федеральная комиссия по связи (FCC) США выделила под приложения DSRC технологии достаточно большую часть диапазона микроволновых волн – от 5,850 до 5,925 ГГц (полосу частот в 75 МГц), а весной 2003 года был опубликован стандарт DSRC [3], разрешающий высокоскоростную передачу данных на расстояние до 1-го километра. Потенциальный рынок для DSRC технологии даже превышает компьютерный: для сравнения, в США сейчас насчитывается более 200 миллионов автомобилей и «всего» 150 миллионов компьютеров.

Технология DSRC представляет дальнейшую существенную веху по направлению к пониманию и практической реализации системы «технического видения и безаварийного автомобилеводения» [4]. Согласно исследованиям, проведенным американской администрацией по безопасности движения на автобанах [1, 4], 88 процентов всех аварий и несчастных случаев, когда один автомобиль врезается в другой автомобиль сзади, – результат или невнимания водителя или нахождения одного транспортного

средства слишком близко к другому транспортному средству спереди.

Предполагается, что любая из реализованных на дорогах DSRC систем потребует внедрения соответствующей технологии и в автомобили. Наиболее вероятно, что бортовая аппаратура будет состоять из DSRC-приемопередатчика, связанного с системой аудиовизуального предупреждения водителя о возможных аварийных ситуациях.

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.

### Концепция системы DSRC-VVDT

**Целью данной работы** является *разработка нового метода и аппаратуры мультиплексной широкополосной связи для передачи информации между автомобилями на автобанах в реальном времени.*

Предлагаемый в работе новый подход и метод построения системы мультиплексной широкополосной связи DSRC-VVDT [5] разработан с учетом требований недавно принятого в США стандарта DSRC: *Dedicated Short-Range Communications – специально выделенные коммуникации ближнего действия.*

Предлагаемая система мультиплексной широкополосной связи DSRC-VVDT, устанавливаемая на транспортное средство, потенциально должна предоставить следующие возможности:

- 1) устанавливать разнообразные линии беспроводной радиосвязи между автомобилями с целью обеспечения автоматизированного обмена различной информацией, в том числе и для систем управления движением транспортных средств на автобане;

2) производить измерение своих координат, осуществлять передачу информации о текущем местоположении транспортного средства, параметрах его движения к другим участникам движения, и разработку оптимальных маршрутов движения согласно заданным критериям. В случае необходимости, предлагаемая система связи вырабатывает взаимосогласованную информацию о координатах и скорости транспортного средства и его ближайшего окружения и посылает инструкции для бортовой системы предупреждения и предотвращения аварийных ситуаций и столкновений автомобилей;

3) передавать информацию о нормальном либо аварийном состоянии транспортного средства, водителя, пассажиров, груза, и т.д. в автоматическом режиме, а также идентификационные данные для полиции, как например, номерного знака транспортного средства, место регистрации, номера водительских прав, и т.д., и т.п.

Концепция метода построения системы DSRC-VVDT разработана в рамках действующих стандартов передачи информации с множественным доступом, использующих многочастотную несущую и пространственно-кодированное разделение каналов (MC-S-CDMA), и основана на применении разработанных нами методов генерации *широкополосных хаотических сигналов*, имеющих достаточно низкую спектральную плотность мощности (СПМ) излучения и очень малые боковые лепестки их авто- и взаимно-корреляционных функций.

Авторами предлагается новый подход к разработке системы DSRC-VVDT для передачи данных в масштабе реального времени между всеми автомобилями внутри 1-километровой зоны автомагистрали в случае, когда имеется произвольное число полос движения на автобане. Суть предлагаемого метода состоит в следующем. Каждая конкретная полоса движения автомобилей по автобану ассоциируется с определенным специально выделенным частотным каналом, в то время как транспортные сред-

ства, движущиеся внутри одной и той же полосы автобана разделяются друг от друга с помощью CDMA-кодов, присваиваемых автомобилю согласно занимаемой им позиции на автобане. Таким образом, каждому выделенному интервалу расстояний в направлении движения автомобилей на автобане предписывается *уникальный хаотический код*. Тем самым реализуется передача информации с помощью только этого кода каждым транспортным средством, находящимся в пределах этого интервала.

Один из возможных вариантов взаимного расположения частотных и пространственно-кодированных каналов в аппаратуре мультиплексной широкополосной связи DSRC-VVDT при покрытии пространства внутри любой 1-километровой зоны автобана в случае, когда имеется до 10 полос движения, приведен на рис. 1.

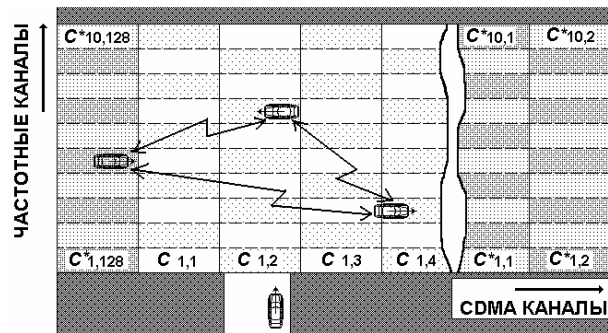


Рис. 1. Взаимное расположение частотных и пространственно-кодированных каналов в аппаратуре DSRC-VVDT при покрытии пространства внутри 1-километровой зоны автобана в случае, когда имеется до 10 полос движения

Имеющаяся в распоряжении полоса частот 75 МГц (согласно стандарту DSRC) должна быть разделена на 10 неперекрывающихся частотных каналов (рис. 2 и рис. 3). Для каждого из 10 частотных каналов применяются принципы CDMA для передачи данных между транспортными средствами. В этом случае, максимальное количество автомобилей (рис. 1, 2), движущихся по одной полосе автобана в одном направлении, при покрытии расстояния до 1 км, будет равно

$$N_{\max} = R_0 / \Delta R = 1000 / 8 = 125. \quad (1)$$

При расчете было принято допущение, что в каждой 8-ми метровой ячейке по дальности может находиться только одно транспортное средство.

Для разделения 125-и каналов CDMA внутри каждого из 10-и частотных каналов предлагается использовать хаотические, случайные кодовые последовательности (ХСП коды).

Таким образом, максимальное количество ХСП кодов (рис. 2), которыми необходимо обеспечить максимально возможное число автомобилей на автобане ( $N_{\max}$ ), должно быть соответственно равно

$$N_{code} = N_{\max} = 125. \quad (2)$$

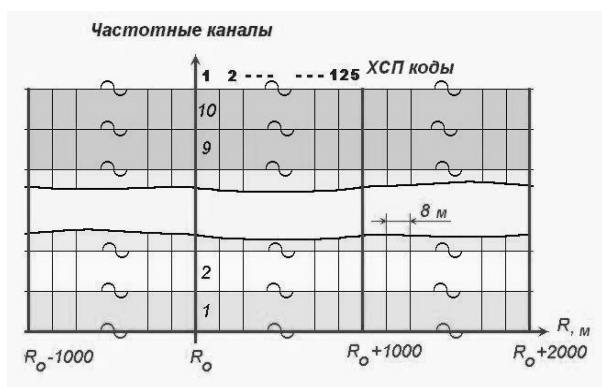


Рис. 2. Фрагмент привязки частотных каналов и ХСП кодов системы DSRC-VVDT к пространственным координатам автобана

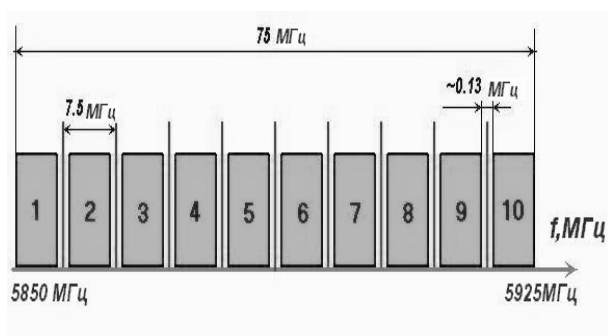


Рис. 3. Расположение частотных каналов в системе DSRC-VVDT

Существуют два основных ограничивающих фактора, которые необходимо учитывать при разработке системы DSRC-VVDT, а именно:

1) имеющаяся в распоряжении ширина полосы  $\Delta F = 75 \text{ МГц}$  и

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

Из первого фактора следует, что самый короткий импульс в системе должен превышать  $t_c = 1/\Delta F = 13,333 \text{ нс}$ . Одновременно, для полной декорреляции сигнала и декодирования информации с необходимой достоверностью потребуются точность взаимной синхронизации кодов  $\chi \leq 10\%$  [5].

Следовательно, в нашем случае, точность взаимной синхронизации ХСП кодов будет равна

$$\chi = \frac{\sigma R}{c \cdot \tau_p} \cdot 100\% = \frac{1}{3 \cdot 10^8 \cdot 135 \cdot 10^{-9}} = 2,47\%, \quad (3)$$

где  $\sigma R = 1 \text{ м}$  – ошибка измерения DGPS координаты;  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$  – скорость света;  $\tau_p \approx 10t_c = 135 \text{ нс}$  – длительность элементарного импульса хаотического кода.

Принятая величина длительности элементарного импульса хаотического кода накладывает ограничение на скорость передачи информации, а именно: ширина полосы частот любого из 125 каналов CDMA не может быть шире 7,5 МГц (рис. 3).

Для быстрой передачи информации необходимо также 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 при этом повторение данных и чередование в кадре [6]. Предполагается применять пакеты (кадры), длительность которых равна 20 мс.

Достижимая скорость передачи информации может быть получена с учетом имеющейся в распоряжении ширины полосы частот одного CDMA канала и длительности используемых кадров. Расчетные оценки показывают, что для надежной передачи ~2 кбит информации в течение 100 мс между CDMA

каналами должна быть обеспечена чиповая скорость равная 7,3728 Мчип/с, что удовлетворяет заданной ширине полосы частот CDMA канала.

Таким образом, внутри каждой заданной зоны автомагистрали может быть достигнута полная идентификация любого находящегося на автобане автомобиля с помощью специально выделенных интервалов по дальности. В то же время, новая процедура предписания CDMA-кода каждому автомобилю внутри повторяющихся 1-километровых зон автомагистрали делает возможным использование унифицированной приемо-передающей аппаратуры на всех транспортных средствах, находящихся на автобане. Это обстоятельство делает простым использование предлагаемой системы связи на практике, так как не потребует решения технических и правовых вопросов, связанных с распределением связанных ресурсов.

По-сути, предлагаемый метод – это метод самоорганизующейся системы подвижной связи, которая может осуществлять передачу нужной информации между транспортными средствами в реальном времени. Этот метод также может служить основой для создания полностью автономной работы транспортного средства, оборудованного такой аппаратурой, при отсутствии наземных базовых станций связи, как правило, управляющих системами подвижной связи.

Предложенный метод предусматривает использование дифференциальной системы GPS (DGPS) с WAAS (система панорамного наблюдения) или системы DGPS с исправлениями, доступными от OmniStar™, который дает возможность каждому транспортному средству на автобане идентифицировать свое местонахождение с точностью от нескольких метров до нескольких дециметров.

Новые принципы передачи информации с использованием сигналов с расширенным спектром (Spread-Spectrum Communication) [5, 6], а также со-

четание частотного и пространственно-кодированного (S-CDMA) разделения абонентских каналов и хаотического сигнального кодирования при реализации CDMA стандарта – вот основные отличительные (инновационные) особенности предлагаемого метода.

Применение в аппаратуре DSRC-VVDT *широкополосных хаотических кодовых сигналов* 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*. Взаимная синхронизация всех хаотических, случайных кодов при осуществлении *синхронного режима передачи информации* обеспечивается с помощью сигналов GPS. Следовательно, стандартный GPS приемник должен быть составной частью предлагаемой аппаратуры.

Основные технические характеристики аппаратуры мультиплексной широкополосной связи DSRC-VVDT, рассчитанные для наиболее часто встречающегося на практике числа (10, 8, 6 и 4) полос движения на автобане, и которые могут быть реализованы при проектировании данной аппаратуры, приведены в табл. 1.

Предложенная система подвижной связи DSRC-VVDT поможет значительно снизить риск возникновения аварийных ситуаций на дорогах и вместе с тем избавить водителя от части рутинных обязанностей, неизбежных при вождении транспортного средства. Она будет не просто поддерживать водителя в критических ситуациях, и заблаговременно предупреждать его о риске возникновения таких ситуаций и помогать ему в принятии правильных решений.

Таблица 1  
Основные технические характеристики аппаратуры мультиплексной широкополосной связи DSRC-VVDT

№ п/п	Параметр	Значение параметра			
1	Число полос движения (по ходу движения + в обратном направлении)	10 (5+5)	8 (4+4)	6 (3+3)	4 (2+2)
2	Диапазон частот, ГГц	5,850 – 5,925			
3	Общая полоса частот, МГц	75			
4	Число частотных каналов	10 по 7,5 МГц каждый	8 по 9,375 МГц каждый	6 по 12,5 МГц каждый	4 по 18,75 МГц каждый
5	Разнос между частотными каналами, МГц	7,5	9,375	12,5	18,75
6	Метод доступа	MC-S-CDMA			
7	Чиповая скорость, Мчип/с	7,3728	7,3728	12,288	17,2032
8	Кодирование	Сверточный код 1/3	Сверточный код 1/2	Сверточный код 1/2	Сверточный код 1/2
9	Первичная скорость информации, бит/с	19200	28800	48000	67200
10	Степень кодирования	3 · 128	2 · 128		
11	Длина кадра (фрейма), мс	20			
12	Количество информации в одном кадре, бит	384	576	960	1344
13	Синхронизация	Синхронизация частотой GPS			
14	Расширяющие спектр последовательности	Хаотические случайные кодовые последовательности (ХСП коды)			
15	Число "ортогональных" кодов (ХСП кодов)	125			
16	Модуляция данных	QPSK; BPSK			
17	Расширяющая модуляция	QPSK			

Система DSRC-VVDT способна оптимизировать транспортные потоки и повысить безопасность каждого участника дорожного движения, передает информацию о нестандартных режимах движения (например, пробках), плохих погодных условиях (например, сильный боковой ветер, гроза) или случившихся авариях. Каждый автомобиль, оснащенный такой аппаратурой, будет работать одновременно как на прием, так и на передачу информации на расстоянии до 1000 м. В такой информационной сети каждое транспортное средство может выполнять функции отправителя, получателя или маршрутизатора. Это позволяет передавать информацию по цепочке, подобно эстафете на значительные расстояния вплоть до нескольких сотен/тысяч километров. Кроме того, автомобили, оборудованные аппаратурой мультиплексной широкополосной связи DSRC-

VVDT, делают возможной передачу сигналов торможения назад нескольким транспортным средствам, заблаговременно предупреждая водителей о том, что они в ближайшее время должны притормозить.

Аппаратура DSRC-VVDT предназначена, прежде всего, для повышения безопасности движения и оптимизации транспортных потоков на дороге, но она также может использоваться и для передачи других данных, как например, обновления карты бортовой системы навигации транспортного средства, что могло бы стать дополнительно еще одним полезным эффектом. Она также может использоваться как для передачи информации между автомобилями на автобане, так и служить основой для разработки системы, обеспечивающей полностью автономную работу транспортных средств.

Внедрение предлагаемого метода построения системы мультиплексной широкополосной связи – важный шаг на пути практической реализации безаварийного движения транспорта на автобанах.

### Выводы

Предложена новая концепция построения системы DSRC-VVDT для передачи данных в масштабе реального времени между всеми автомобилями внутри 1-километровой зоны автомагистрали.

Описанный метод построения самоорганизующейся системы подвижной связи предусматривает полностью автономную работу транспортного средства, оборудованного системой DSRC-VVDT, при полном отсутствии так называемых базовых станций, как правило, управляющих системами подвижной связи. Предоставляется также возможность на практике реализовать множественный доступ с многочастотной несущей и пространственно-кодовым разделением каналов (MC-S-CDMA) и принципы передачи информации с использованием широкополосных хаотических кодов.

Сочетание частотного и кодового разделения каналов и хаотического сигнального кодирования при реализации CDMA стандарта – характерные особенности предложенной идеологии построения системы DSRC-VVDT.

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

Результаты, ожидаемые от практической реализации новой идеологии построения системы DSRC-VVDT, позволят создать компактные приборы для современных систем мультиплексной широкополосной связи, которые найдут применение для эффективного повышения пропускной способности существующих автомагистралей без их реконструкции – модернизировав только автомобили. Такие

приборы могут найти самое широкое применение в ближайшее время.

Кроме того, предложенные методы и принципы передачи информации могут найти применение как при создании новых, так и для модернизации существующих систем связи, что открывает широкие возможности их усовершенствования.

### Литература

1. Патент No.: US 6, 720, 920 B2, Apr. 13, 2004.
2. European Car-2-Car Communication Consortium, C2C CC [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.car-to-car.org>.
3. ASTM International. 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 [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.astm.org>.
4. Intelligent Transportation Society of America. National ITS Program Plan: A Ten Years Vision [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.itsa.org/subject.nsf/vLookupReport/10+Year+Plan!OpenDocument>, July 2004.
5. Konstantin Lukin, Valery Scherbakov, Vladimir Konovalov, Ryan Breed. Dedicated Short-Range Communication System for Vehicle-to-Vehicle Data Transmission on the Basis of Chaotic Waveform codes (DSRC-VVDT) // Proceedings of 16 International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications, MIKON-2006, Krakow, Poland, May 22-24, 2006. – Vol.. – P. 442-445.
6. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е издание. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.

*Поступила в редакцию 31.01.2007*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.Д. Горбенко, ЗАО «Институт информационных технологий», Харьков.