

ях. Методика позволяет дать комплексную оценку работы системы. Также она обладает высокой гибкостью, оставляя выбор значений весовых коэффициентов пользователю. Тем самым, давая возможность проводить оценку системы в зависимости от того, насколько важен каждый из критериев для работы системы в заданных условиях.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Скрипов С.А.* Имитационное моделирование беспроводных сетей со сложной структурой // Молодой учёный. – 2010. – С. 59-66.
2. *Скрипов С.А.* Разработка протоколов маршрутизации для беспроводных сетей со специальной топологией // IV Международная научно-практическая конференция "Современные информационные технологии и ИТ образования". – 2009.
3. *Ogier R.G. et al.* Topology Broadcast based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF) // INTERNET-DRAFT, MANET Working Group. – 2002.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.А. Зори.

**Тужилкин Олег Владимирович** – Научно-исследовательский институт физических измерений; e-mail: [ibx@inbox.ru](mailto:ibx@inbox.ru); 440026, г. Пенза, ул. Володарского, 8/10; тел.: 88412591932; ведущий инженер.

**Ульянин Николай Сергеевич** – e-mail: [kolianul@mail.ru](mailto:kolianul@mail.ru); ведущий инженер.

**Tuzhilkin Oleg Vladimirovich** – Research Institute of Physical Measurements; e-mail: [ibx@inbox.ru](mailto:ibx@inbox.ru); 8/10, Volodarskogo street, Penza, 440026, Russia; phone: +78412591932; senior engineer.

**Ulianin Nikolay Sergeevich** – e-mail: [kolianul@mail.ru](mailto:kolianul@mail.ru); senior engineer.

УДК 621.391

**Ю.М. Туляков**

#### **К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ И ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ ПОДВИЖНОЙ СВЯЗИ**

*Для систем подвижной связи дается оценка принципам повышения скорости передачи данных. Для наиболее популярных систем – систем сотовой связи и радиовызова (пейджинга) – характеризуются прогрессивные форматы и виды модуляции сигналов их радиointерфейсов, позволяющие повысить скорость передачи данных. Предлагается и обосновывается метод повышения скорости передачи данных за счет объединения радиоканалов с долевым распределением передаваемых данных, который применим как к существующим, так и к вновь внедряемым технологиям систем наземной подвижной связи. Показано, что скорость передачи при этом методе может быть увеличена практически пропорционально числу объединяемых каналов. Определяются особые условия практического внедрения этого метода. Приводятся примеры частичного использования принципов предлагаемого метода в отдельных видах современных средств связи и их модернизациях, подтверждающие состоятельность этого метода.*

*Радиointерфейс; скорость передачи данных; формат и модуляция сигналов; полоса частот радиоканала.*

Y.M. Tulyakov

**TO THE QUESTION OF INCREASE OF SPEED OF DATA TRANSMISSION FOR TELECOMMUNICATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES IN MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS**

*For mobile communication systems the estimation is given to principles of increase of speed of data transmission. For the most popular systems – cellular communication and radio call (paging) systems progressive formats and kinds of modulation of signals of their radio interfaces are characterized, allowing to raise speed of data transmission. The method of increase of speed of data transmission at the expense of association of radio channels with share distribution of the transferred data which is applicable both existing, and to again introduced technologies of systems of land mobile communication is offered and is proved. It is shown that speed of transfer at this method can be increased almost proportionally to number of united channels. Special conditions of practical introduction of this method are defined. Examples of partial use of principles of an offered method, in separate kinds modern communication facilities and their modernizations, confirming a solvency of this method are resulted.*

*The radio interface; speed of data transmission; format and modulation of signals; strip of frequencies of a radio channel.*

Эволюция повышения скорости передачи данных для телекоммуникационных и инфокоммуникационных технологий наглядно иллюстрируется развитием систем подвижной связи от 2G- до 4G-поколений [1]. Наряду с общей тенденцией перехода от технологии с коммутацией каналов к технологии коммутации пакетов передачи данных (пакетной передаче) развитие этих систем для повышения скорости передачи данных требует совершенствования наиболее проблематичного участка передачи данных – радиointерфейса. Для этого в радиointерфейсе внедряются усовершенствованные форматы сигналов с применением современных методов их кодирования и обработки, в том числе с прогрессивными способами формирования и многопозиционными видами модуляции радиосигналов.

Так в системах адресного радиовызова – это применение форматов FLEX с 4-уровневой частотной модуляцией, а в системах сотовой связи и высокоскоростного радиодоступа – это использование широкополосных (шумоподобных) радиосигналов с адаптивной многовариантной OFDM-модуляцией [2, 3]. Основная идея повышения скорости передачи данных при этом сводится к повышению информативности (энтропии) этих радиосигналов. При этом должны учитываться особые (повышенные) требования к энергетике таких сигналов при заданной помехоустойчивости их передачи/приема. Этим объясняется необходимость введения адаптивного изменения параметров радиосигналов при изменении отношения сигнал /помеха или изменения размеров зоны действия радиointерфейса.

Все эти методы применения современных радиосигналов достаточно полно изучены и находят соответствующее использование в развитии подвижной наземной связи. Поэтому рассмотрим способы повышения скорости передачи данных, основанные на использовании ресурсов уже реально действующих систем. В системах связи, основанных на TDMA-технологии доступа с множеством частотно разнесённых радиоканалов (например, системы GSM-стандарта), принципиальное повышение скорости передачи данных может быть основано на объединении радиоканалов.

Для повышения скорости передачи данных обоснуем применение предлагаемого метода объединения радиоканалов с долевым распределением передаваемых данных (ОРДРД). Суть метода основана на классическом постулате о взаимосвязи скорости передачи данных –  $B$  с  $\Delta F_K$  – полосой частот пропускания канала (радиоканала) связи

$$\Delta F_K = k \cdot B, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент, величина которого зависит от вида используемых сигналов (в том числе – вида модуляции и энтропии). Например, для простейших двоичных импульсных сигналов  $k \approx 0,7$ .

При заданной величине  $\Delta F_K$  и заданном виде сигналов имеет место естественное ограничение в скорости передачи по каналу  $B_K$ . При заданной потребности более высокой скорости  $B > B_K$ , например в  $n$  раз,  $B = n \cdot B_K$ , необходимо соответствующее увеличение полосы частот  $\Delta F = n \cdot \Delta F_K$ . При фиксированной величине полосы  $\Delta F_K$  в системе связи, но наличии нескольких каналов с такой полосой, возможно их применение для увеличения  $B$ . С учетом того, что для большинства систем ПНС весьма затруднительно простое объединение каналов радиointерфеса, в методе ОРДРД предлагается не простое объединение радиоканалов, а распределение по этим каналам таких долей высокоскоростных данных и в таком виде, чтобы они могли передаваться по каналам с полосой  $\Delta F_K$  теми радиосигналами, на которые они рассчитаны.

Скорость передачи данных определяется по формуле

$$B = l/T_1 = 1/\tau, \quad (2)$$

где  $l$  – количество бит (элементарных сигналов), передаваемых за время  $T_1$ ;  $\tau$  – длительность передачи одного бита.

Величина  $l$  может определяться величиной (длиной) посылки, например, содержащей нескольких тайм-слотов передаваемых сигналов.

Метод ОРДРД основан на разделении посылки  $l$  на доли (например, на равные доли и в частности как варианты – на отдельные тайм-слоты или непосредственно по битам), с числом делений, равным  $n$ , и увеличением длительности бита в этих долевых посылках до величины  $\tau' = n \cdot \tau$  и распределении долевых посылок по  $n$  радиоканалам. При этом время передачи каждой доли будет составлять  $T_1$ , а скорость передачи по каждому из радиоканалов составит  $B/n$ , т.е. соответствует величине  $B_K$ , на которую рассчитаны радиоканалы.

Обобщая вышеизложенное, можно констатировать, что скорость передачи при использовании метода ОРДРД может достигать величины

$$B = n \cdot B_K. \quad (3)$$

Для реализации такой передачи данных необходимо устройство распределения потока данных (РПД), которое осуществляет разделение поступающих от источника высокоскоростных данных (ИВСД) посылок длиной  $l$  на доли длиной  $l/n$ , увеличивает длительность долевых посылок до величины  $T_1$  (их бит – до  $\tau'$ ) и распределяет их по радиоканалам. На приемной стороне решается обратная задача – объединение распределенных долевых потоков с помощью объединителя распределенных потоков данных (ОРПД) и отправление к получателю высокоскоростных данных (ПВСД). Схема такой передачи данных представлена на рис. 1.

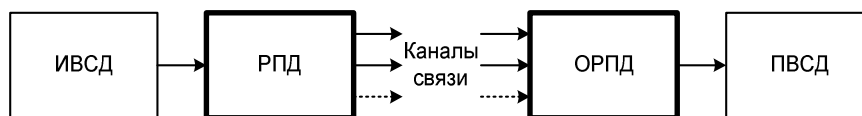


Рис. 1. Обобщенная схема высокоскоростной передачи данных методом ОРДРД

Следует заметить, что в отдельных случаях в долевые посылки может потребоваться добавление признаков очередности их последовательного выбора из высокоскоростной посылки  $l$ . Реализация введения этих признаков не представляется сложной задачей, и она не может существенно повлиять на скорость передачи, но должна учитываться.

Классифицируя метод ОРДРД как один из способов формирования радиосигналов, следует отличать его от класса формирования сигналов по OFDM-технологии, которая основана на параллельной передаче бит или нескольких бит по специально сформированным радиоканалам с ортогональными сигналами. При методе ОРДРД передача бит или долевых частей высокоскоростных посылок не требует специально сформированных радиоканалов, а осуществляется за счет объединения уже используемых в системе каналов без изменения вида сигналов этих каналов. Причем в отличие от OFDM при ОРДРД используемые радиоканалы могут быть не смежными, а значительно разнесены по частоте. При таком подходе OFDM-технология можно рассматривать как частный случай метода ОРДРД.

Автором проведена аналитическая оценка применения метода ОРДРД в системах радиовызова и сотовой связи. Эта оценка показала, что изменения в технологии этих систем для повышенной скорости передачи данных могут решаться вполне доступными программно-техническими средствами комплекса подсистемы сетевой коммутации, подсистемы управления базовыми станциями, формирования потока передачи данных и модернизации абонентских терминалов АС, а эффект от использования метода ОРДРД весьма ощутимый. Так, в системах многоадресного радиовызова при разумном использовании радиочастотного ресурса скорости могут быть увеличены с тысяч бит/с до нескольких десятков кбит/с, а в системах сотовой связи GSM/GPRS/EDGE увеличение скорости может достигать от трехсот до двух тысяч и более кбит/с. При этом необходимо учитывать, что применение метода ОРДРД в сотовой системе связи требует дополнительного расхода радиоканального (частотного) ресурса. В связи с этим требуется особый подход к использованию этого метода. В частности, он может быть рекомендован при специальных коммерческих предложениях и в условиях, когда высокоскоростная передача данных имеет первостепенное значение.

Обобщая оценку метода ОРДРД, необходимо заметить, что он может найти применение не только для рассмотренного примера высокоскоростной передачи данных в системах GSM-стандарта, но также и для других стандартов сотовой связи, в которых совмещаются технологии кодового и временного разделения каналов.

Принципы ОРДРД использованы в технологии MIMO (Multiple Input Multiple Output) [3] с дополнительной ориентацией на повышение помехоустойчивости передачи приема радиосигналов в беспроводных сетях стандарта IEEE 802.11n, а также в сетях мобильной связи WiMAX и LTE.

Другим вариантом применения ОРДРД можно считать предложенный метод увеличения скорости передачи данных за счет использования двоекной несущей частоты по Downlink – каналу передачи [4]. За счет использования второй несущей скорость передачи данных по Downlink-каналу теоретически удваивается. Причем такой теоретический эффект достигается не только для систем с GSM/GPRS/EDGE-структурами сигналов, но и для систем с другими прогрессивными адаптивными многопозиционными форматами сигналов.

Оба рассмотренных выше примера можно рассматривать как частные случаи метода ОРДРД, которые подтверждают состоятельность принципов и эффективность его использования.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Туляков Ю.М., Абдалов В.В., Сорокина Е.В. Обобщенная оценка передачи данных в системах подвижной связи // Электросвязь. – 2009. – № 1. – С. 37-43.
2. Вишневецкий В.М., Портной С.Л., Шахнович И.В. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. – М.: Техносфера, 2009. – 472 с.

3. *Сюваткин В.С., Ковалёв И.П., Сухорёбров В.Г., Есипенко В.И. WiMAX-технология беспроводной связи: Основы теории, стандарты, применение / Под ред. В.В. Крылова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 368 с.*
4. <http://www.huawei.com>.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор А.А. Зори.

**Туляков Юрий Михайлович** – Волго-вятский филиал Московского технического университета связи и информатики (МТУСИ); e-mail: [yu.m.tulyakov@rambler.ru](mailto:yu.m.tulyakov@rambler.ru); 603011, г. Нижний Новгород, ул. Менделеева, 15; тел.: +79107901111; кафедра общепрофессиональных дисциплин; зав. кафедрой; к.т.н.; доцент.

**Tulyakov Yuri Mihaiylovich** – Volgo-vjatskogo of Branch of the Moscow Technical University of Communication and Information Sciens (MTUCI); e-mail: [yu.m.tulyakov@rambler.ru](mailto:yu.m.tulyakov@rambler.ru); 15, Mendeleev street, Nizhny Novgorod, 603011, Russia; phone: +79107901111; the department of general professional disciplines; head the department; cand. of eng. sc.; associate professor.