УДК 621.391

ОБОБЩЕННАЯ ОЦЕНКА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ ПОДВИЖНОЙ НАЗЕМНОЙ СВЯЗИ

Ю.М.Туляков, доцент Волго-Вятского филиала МТУСИ, к.т.н.
В.В. Абдалов, ведущий инженер ОАО «Мобильные ТелеСистемы», макрорегион «Поволжье-СР»
Е.В.Сорокина, начальник отдела управления проектами ООО «Эквант», к.т.н.

Как следует из «историко-энциклопедических» материалов по развитию радио за 110 лет [1], в подвижной наземной связи (ПНС) наметилась значительная перспектива в увеличении дополнительных (кроме речевого обмена) услуг, основанных на передаче данных, с постепенным переходом на высокоскоростные методы передачи.

Поэтому сети ПНС можно рассматривать как системы доступа к широкому кругу информационных сервисов — контенту. Отметим, что, как правило, передача данных осуществляется «адресно» — персонально какому-либо абоненту (пользователю) или группе абонентов, не исключая и общую рассылку сообщений (данных) всем абонентам. В связи с этим детальная оценка основных характеристик организации передачи данных в реально действующих и внедряемых новых системах подвижной связи может послужить вспомогательной основой на пути указанного развития.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СЕТЯХ ПНС

Обобщенная структурная схема организации передачи данных в системах (сетях) ПНС представлена на рис. 1.

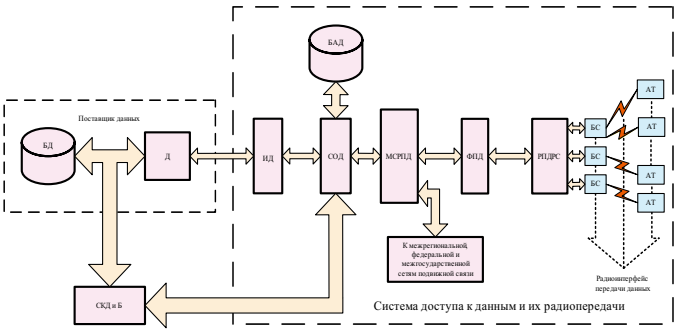

Рис. 1

Информация собирается у «поставщика данных» в базе данных (БД), откуда в соответствии с запросом из сети доступа, в качестве которой выступает система подвижной связи (радиопередачи), требуемые данные (Д) поступают через интерфейс данных (ИД) в систему их обработки (СОД). Там они буферизируются, ставятся в очередь передачи с учетом приоритетности и идентифицируются с параметрами получателя информации (абонента), хранящимися в базе абонентских данных (БАД) [3].

Обработанные данные поступают в межсистемный (сетевой) распределитель (МСРПД), с помощью которого они передаются непосредственно в формирователь передачи данных (ФПД) «местной сети», или в межрегиональную, федеральную или межгосударственную сети передачи данных подвижной связи (например, при роуминге абонента). В ФПД данные преобразуются в сигналы с соответствующими параметрами для дальнейшей передачи (в отдельных системах может осуществляться кодирование сигналов по заданному протоколу). Далее с помощью распределителя передачи данных по радиосети (РПДРС) (например, контроллеров) эти сигналы передаются к базовым станциям (БС). Сформированные БС радиосигналы требуемого формата принимаются абонентскими терминалами (АТ). Радиоканал взаимодействия БС и АТ может рассматриваться как радиоинтерфейс. Так осуществляется передача данных к абоненту («вниз»).

При обратной передаче данных от абонента («вверх»), например при запросах на передачу конкретного вида данных (абонентский радиодоступ), принцип действия сохраняется, только в «обратном» направлении. Запрос конкретного вида данных может осуществляться через специальную систему контроля доступа и биллинга (СКД и Б), с идентификацией абонента, запрашивающего данные.

При передаче данных, поступающих из межрегиональной и других сетей в «местную сеть», сама передача начинается лишь после того, как поступившие данные через МСРПД предварительно идентифицируют получателя этих данных (абонента) в СОД совместно с БАД при участии СКД и Б. Такое построение схемы передачи данных может интерпретироваться простыми практически полезными принципами многовариантного доступа:

- доступ к системе ПНС, включая абонентский радиодоступ;
- доступ системы ПНС к источникам информации («поставщикам данных»);
- межсистемный доступ в сети ПНС;
- внутрисистемный доступ к подсистеме обработки данных, базе абонентских данных и т. д.;
- биллинговый доступ к системе ПНС и «поставщикам данных».

(Следует заметить, что эта схема достаточно полно согласуется с общепринятой семиуровневой моделью передачи данных.)

Основываясь на указанных принципах обобщенной схемы на рис. 1, дадим сравнительную оценку вариантам передачи данных в различных системах и сетях ПНС.

ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ В СПРВ

Одними из первых систем подвижной радиосвязи для передачи данных общего пользования являются системы персонального радиовызова (СПРВ) [4]. Поэтому принципы организации передачи данных в них можно считать базовыми для других типов ПНС.

Первоначально предназначенные только для простейшей адресной передачи абонентам сообщений о «вызове» (например, вызова на связь) СПРВ, часто называемые как «пейджинг», были усовершенствованы до уровня «месседжинга» — систем передачи цифровых, буквенно-цифровых

(текстовых) сообщений, а также статических графических изображений.

Зона обслуживания СПРВ строится по радиальному принципу, а при построении сети СПРВ «территориального» уровня по радиально-зоновому принципу, когда все радиопередатчики обслуживают свою «радиальную» зону, работая на одинаковой радиочастоте в квазисинхронном режиме по модулирующему сигналу. Поставщиками данных (сообщений-вызовов) являются пользователи СПРВ (см. рис.1), имеющие доступ к системе или через ТФОП с использованием диспетчерской службы (CALL-центра), или автоматически — по сети Internet, междугородным и другим каналам связи через соответствующие интерфейсы СПРВ.

Пропускная способность СПРВ определяется главным образом радиоинтерфейсом системы БС — АТ (пейджер), модулирующие адресные сигналы которого реализуются на основе тонального кодирования или цифровых протоколов [4—7]. Наибольшую популярность получили цифровые протоколы следующих стандартов: стартстопного POCSAG (Post Office Code Standardization Advisory Group), синхронных протоколов ERMES (European Radio Message Standard) и FLEX (разработка фирмы «Motorola») и ряда его модификаций. Скорости передачи B для этих протоколов могут составлять от 512 до 6400 бит/с.

Передача данных осуществляется блоками, сформированными последовательно передаваемыми кодовыми словами (КС). В качестве примера на рис. 2 показана структура КС, используемая как в стартстопных, так и в синхронных системах, основанная на циклическом кодировании БЧХ (Бауза—Чоудхури—Хогвингема). Длина КС n =32 с числом информационных бит m = 21 и дополнительной проверкой на четность (32, 21, 1). Адресное КС отличается от КС сообщения первым информационным битом: при 0 — КС адреса, при 1 — КС сообщения. Далее следуют информационные биты сообщения — $(m–1)$ = 21–1 = 20 бит и избыточные (проверочные) биты. Обычно для передачи символа используется 7-битовая комбинация.

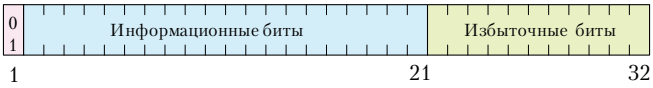

Рис. 2

Для рассматриваемого варианта КС чисто информативная скорость передачи будет определяться с учетом кодовой скорости КС — $r_{кс} = (m–1)/n = 20/32 = 0{,}625$, т.е $B_{инф} = r_{кс}B = 0{,}625B$.

В радиоканале (обычно в диапазонах ОВЧ или УВЧ) с выделенной полосой частот — 25 кГц применяется частотная манипуляция (ЧМн) несущей, которая в зависимости от требований к скорости передачи может быть двух- (обычная ЧМн) или четырехуровневой.

Рассмотренные протоколы передачи данных, кроме адресной (персональной) передачи данных (сообщений), позволяют осуществлять групповую (многоадресную) и «широковещательную» передачу сообщений, что важно для оповещения о каких-либо чрезвычайных ситуациях.

Не останавливаясь на многообразии вариантов реализации СПРВ, можно отметить, что в настоящее время в эксплуатируемых системах используются в основном протоколы POCSAG и FLEX. К протоколу FLEX разработаны «подпротоколы» ReFLEX и InFLEXion для передачи графических статических изображений или команд по перестройке пейджера на заданные радиоканалы, для повышения скорости передачи и двухстороннего обмена данными.

ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ В ТРАНКИНГОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Особенностью транкинговых систем подвижной связи является их ведомственное (профессиональное) назначение, т.е многостанционный доступ к сравнительно небольшому количеству радиоканалов с ограниченным выходом или без выхода в сеть ТФОП [2, 8]. Такие системы могут строиться по радиальному и сотовому принципам. Основным отличительным признаком транкинговых систем разных типов является отсутствие или наличие выделенного канала управления.

В принципе, независимо от типа, передавать данные в транкинговых системах (см. рис. 1) можно по разговорным каналам при использовании специального дополнительного оборудования, например, модемов. Однако наиболее удобным для передачи данных в таких системах является наличие выделенного управляющего канала. Причем эта передача может осуществляться в цифровой форме (например, в системах MPT-1327 и TETRA).

Рассмотрим принципы передачи данных в цифровой системе TETRA. В стандарте TETRA используется временное разделение каналов (TDMA — Time Division Multiple Access). Передача информации осуществляется мультикадрами, состоящими из 18 TDMA кадров, один из которых «контрольный». Для наглядного представления о возможностях передачи данных выбран вариант структуры временного кадра TDMA (рис. 3).

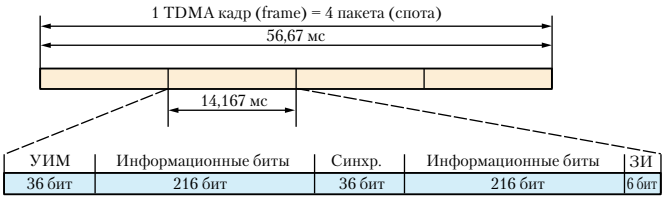

Рис. 3

Каждый TDMA кадр состоит из четырех пакетов (слотов). В пакете, кроме информационных (216 + 216 = 432 бит), содержатся биты синхронизирующих посылок («синхр») и биты для установления уровня излучаемой мощности (УИМ), а также биты защитного интервала (ЗИ) для исключения перекрытия соседних пакетов. Наличие четырех временных слотов в кадре TDMA позволило на одной несущей частоте (при разносе соседних каналов 25 кГц) организовать работу четырех речевых каналов или передачу данных со скоростью 7,2 кбит/с в каждом канале. При использовании всех четырех каналов скорость передачи данных возрастает до 28,8 кбит/с. Отметим, что когда ошибки при передаче данных принимают заданный уровень, используется метод автоматического запроса на повторную передачу пакета ARQ (Automatic Repeat Request).

Системы на базе TETRA позволяют передавать «защищенные» (зашифрованные) данные [8] практически без дополнительного оборудования. Кроме персонального вызова (поиска-пейджинга) абонента, предусматривается групповой вызов. Стандарт TETRA завоевал популярность в нашей стране, и в 2002 г. было принято решение [1] о разработке системного проекта «Федеральная сеть подвижной радиосвязи стандарта TETRA».

Следует отметить и другие транкинговые стандарты. В системе EDACS (Enhanced Digital Access Communikation Sys-

tem) скорость передачи данных по рабочему («оцифрованному речевому») каналу может достигать 9,6 кбит/с. Стандаром цифровой транкинговой связи является APCO 25, разработанный организацией Association of Public Sa-fety Communications Official International [1]. Для передачи речи в цифровой форме используется вокодер — 7,2 кбит/с, а передача данных осуществляется со скоростью 9,6 кбит/с.

Обобщая идеологию построения и развития транкинговых систем как систем профессиональной связи для передачи данных, отметим следующие ее особенности:

- переход на цифровые стандарты и сотовую структуру;
- масштабируемость сети, т. е. возможность использования не всей сети, а отдельных ее частей (например, одной зоны действия базовой станции);
- передача как индивидуального, так и группового вызова с посылкой данных;
- прерывание на срочный вызов внутри групп;
- возможность обмена информацией в режиме прямой связи «абонент — абонент», минуя базовую станцию.

В связи с общими тенденциями развития подвижной связи [1] возникают потребности в наращивании объема и скорости передачи данных. На решение этой задачи направлено развитие транкинговых стандартов. В качестве примера можно отметить версию стандарта TETRA-2 в рамках пакетной передачи данных TAPS (Tetra Advanced Pocket Service), ориентированного на пользователей высокоскоростной передачи данных до 380 кбит/с. Подробно пакетная передача данных рассматривается ниже.

ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ В СОТОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Передача данных в сотовых системах во многом аналогична передаче в транкинговой связи, возможно также использование дополнительной (модемной) техники для обмена данными по речевым каналам или управляющего канала (каналов). Кроме того, интенсивно развивается пакетная передача данных по совместно используемым голосовым (трафиковым) каналам. В связи с общей тенденцией перехода сотовой связи на стандарты третьего поколения, базирующиеся на технологиях TDMA и CDMA, ниже рассматриваются варианты передачи данных в системах, использующих эти технологии. Особое внимание уделяется оценке радиоинтефейса. За основу организации сотовой связи принимается схема, приведенная выше на рис. 1.

Системы сотовой связи GSM (Global System for Mobile Communications) основаны на TDMA технологии доступа с множеством частотно-разнесенных радиоканалов.

Различают следующие виды передачи данных: адресная (для конкретного абонента), многоадресная — для группы (или групп) абонентов и широковещательная, когда прием может осуществляться всеми абонентами.

Адресная передача данных (сообщений). В системах GSM первая передача данных абонентам в виде коротких текстовых сообщений — SMS (Short Message Service) была реализована за счет использования выделенных каналов управления и сигнализации. Длина SMS-сообщения не превышает 160 символов латинского алфавита (около 140 байт при 7 бит, приходящихся на один символ-знак) или 70 символов кириллицы (при 16 бит на один символ). Для расширения возможностей передачи данных была создана служба расширенных сообщений EMS (Extended Message Service). EMS-технология основана на принципах «упаковки» («сшивания») коротких сообщений в одно более объемное, что позволяет передавать не только текст, но и аудио (мелодии), картинки, анимации и т. д. как частичное мультимедийное приложение. Формирование SMS- и EMS-технологий осуществляется на базе SMS-центра.

Как указывалось выше, эти технологии реализуются с использованием каналов управления и сигнализации. Поскольку главное назначение этих каналов — передача служебной информации, возникают ограничения в передаче SMS- и EMS-данных, что проявляется, например, в виде значительной задержки их передачи. SMS-центр, являющийся платформой организации SMS услуги, подключается к центру коммутации подвижной связи (ЦКПС). Радиоинтерфейс организуется на участке БС — АС с помощью дуплексных радиоканалов. В каждом радиоканале создаются логические каналы по TDMA-технологии (см. например [8, 15].

Логические каналы, организуемые во временных окнах, кадрах и мультикадрах TDMA передачи, можно разделить на два класса: «каналы управления и сигнализации» и «трафиковые (голосовые) каналы». Для передачи SMS могут использоваться: канал для обмена сигнализацией управления (КОСУ), совмещенный с трафиковым (голосовым) каналом (ТК), т. е. КОСУ/ТК, и выделенный индивидуальный канал управления (ВИКУ).

КК	Инф.	Ф	ОБП	Ф	Инф.	КК	ЗВИ
3	57	1	26	1	57	3	8,25

T_c = 576,9 мкс; 156,25 бит

Рис. 4

Данные передаются по этим каналам во временных окнах «нормальными пакетами» (НП), структура которых показана на рис. 4, где: КК — концевая комбинация; Инф — информационная часть разнесена на два блока с общим числом бит $2 \cdot 57 = 114$; Ф — флаг занятия, который при значении «0» указывает о передаче речевой информации, «1» — сигнальной информации или данных; ОБП — обучающая последовательность для оценки и улучшения качества связи; ЗВИ — защитный временной интервал для предотвращения наложения пакетов от разных АС.

Оценим скорость передачи данных (сообщений) по радиоинтерфейсу.

С учетом специфики TDMA-технологии авторами получено соотношение для определения скорости передачи данных (чисто информационных бит):

$$B_{\text{инф}} = \frac{M}{T_{\text{пер}}} = \frac{m' n_{\text{п.бл}} n_{\text{бл}}}{n_{\text{пм}} T_{\text{к}}} = \frac{n r_{\text{п}} r_{\text{к.код}} n_{\text{п.бл}} n_{\text{бл}}}{n_{\text{пм}} T_{\text{к}}},$$

где M — информационные биты сообщения, передаваемые за один мультикадр; $T_{\text{пер}}$ — время передачи мультикадра (для GSM возможны следующие случаи: используется 26-кадровый мультикадр при КОСУ/ТК передаче или сдвоенный мультикадр, состоящий из двух 51-кадровых мультикадров при ВИКУ передаче); $T_{\text{к}}$ — время передачи каждого кадра; $n_{\text{пм}}$ — общее число пакетов, используемых в мультикадрах; $n_{\text{п бл}}$ — число пакетов в одном блоке, участвующих в передаче SMS-данных; $n_{\text{бл}}$ — число передаваемых блоков; n — длина кодовой комбинации одного пакета; $r_{\text{п}} = m/n$ — коэффициент избыточности пакета (кодовая скорость), m — число информационных бит в пакете; $r_{\text{к.код}} = m'/m$ — кодовая скорость канального кодирования, m' — число информационных бит в пакете после кодирования.

Посимвольная скорость передачи по радиоинтерфейсу

$$B_с = n_с/T_{пер} = M/k_с/T_{пер} = B_{инф}/k_с,$$

где $n_с$ — число символов, передаваемых в сообщении; $k_с$ — число бит, приходящихся на один символ (зависит от используемого языка в сообщении).

Время передачи сообщения с числом символов L

$$T_{пер.сообщ} = L/B_с = L/B/k_с.$$

С учетом специфики канального кодирования и условий формирования циклов TDMA в GSM, а также кодовой скорости НП и числа бит, приходящихся на один символ, проведены оценки скорости передачи информационных бит и символов, результаты которых представлены в табл.1.

Широковещательная и многоадресная передача данных(сообщений). Кроме адресной передачи данных типа «точка — точка», возможен широковещательный режим передачи (Cell broadcast), режим «точка — много точек» или «точка — зона».

При многоадресной передаче также используется режим «точка — много точек», когда данные поставляются только тем пользователям, которые «подключились» к определенной группе абонентов. Обычно многоадресная группа — это группа абонентов, заинтересованная в получении определенного контента, например информации о спорте, новостей и т. д.

При многоадресной передаче требуемое количество адресов АС объединяется в группу и программными средствами осуществляется передача SMS сообщений по этим адресам.

Широковещательный режим передачи SMS реализуется по схеме, когда сообщения (данные) из центра вещания SMS (ЦВ-SMS) передаются через маршрутизатор непосредственно к контроллерам базовых станций и далее — БС, минуя коммутатор — ЦКПС.

Широковещательные сообщения могут передаваться по логическому каналу передачи широковещательных сообщений, организованному на подканале ВИКУ, как и при адресной передаче SMS. Считая этот канал, специально выделенным для широковещательной передачи, АС всегда могут его «прослушать». Скорость передачи по такому каналу составляет 0,782 кбит/с (см. табл. 1).

Широковещательные сообщения АС может принимать только в режиме ожидания. Поэтому для повышения надежности получения таких сообщений они передаются повторно в течение заданного времени.

В стандарте GSM предусмотрена передача макросообщений [15], содержащих до 1152 символов латиницы или 525 — кириллицы.

Отметим, что широковещательная передача важна для оповещения населения об экстренных чрезвычайных ситуациях. Прием таких сообщений АС должен осуществляться даже в режиме разговора. Предлагается для этого использовать системный канал [16], который применяется БС для извещения абонента о наименовании оператора сотовой связи, в зоне действия которого он находится — технология MassAlert .

GPRS- и EDGE-технологии для передачи данных. Повысить скорость и объем передаваемых данных удалось за счет внедрения GPRS (General Protocol Radio Service) — службы пакетной передачи данных, когда вместо передачи голосового трафика каналы применяются для пакетной передачи данных. Благодаря этому появилась возможность не только передавать информацию из Internet, но и предоставлять мультимедийную услугу — MMS (Multimedia Message Service) в виде значительного объема текстовых сообщений, видео, аудиоклипов и т. д., когда платформой передачи данных становятся MMS-центры.

Особенность GPRS состоит в том, что данные передаются в пакетном режиме протоколами WAP адаптивно (в зависимости от помехоустойчивости этих каналов и незанятости их под голосовой трафик) по трафиковым каналам, объединяющимся в «единый канал», что позволяет значительно увеличить скорость передачи. Скорость передачи информации по $n_{ВОпд}$ — трафиковым таймслотам (ВО), используемым для передачи данных,

$$B_{инф\,п} = n_{ВОпд}\, B_{ВО\ инфТ},$$

где $B_{ВОинфТ}$ = 22,8 кбит/с — скорость передачи данных в одном полноскоростном трафиковом канале нормальными пакетами [3, 8, 10], т. е.

$$B_{инф\,п} = n_{ВОпд}\ 22{,}8,\ кбит/с. \qquad (1)$$

Таблица 1

Канал передачи SMS-данных	КОСУ/ТК *	ВИКУ**	
		комбинированное назначение	выделенное назначение
Скорость передачи информации, кбит/с	0,38	0,391	0,782
Символьная скорость: латиница/ кириллица, символ/с	54,3/23,75	55,9/111,8	24,4/48,8
Время передачи SMS-данных максимальной величины: латиница 160 символов / кириллица 70 символов, с	2,95/2,95	2,86/2,87	1,43/1,43
Суммарная скорость передачи данных на одной радиочастоте (при использовании восьми каналов), кбит/с	3,04	3,128	6,256
Суммарная скорость передачи символов: латиница/ кириллица, символ/с	434,4/190	447,2/195,2	894/390,4

* по КОСУ/ТК SMS-данные передаются во время речевого обмена;
** в отличие от «выделенного назначения», при «комбинированном назначении» ВИКУ частично используется для передачи не только SMS-данных (в отсутствии речевого обмена), но и команд управления.

Отметим, что это скорость передачи информационных бит в НП без учета канального кодирования. Например, при передаче голосового трафика со скоростью 13 кбит/с добавляются «кодовые» биты, создающие избыточность в 1,754 раза, и скорость передачи при этом составит $B = 13 \cdot 1{,}754 = 22{,}8$ кбит/с на один канал (таймслот — ВО).

При передаче пакетов GPRS используются варианты канального кодирования CS1...CS4 (Coding Scheme) [11, 10], скорости передачи для которых показаны на рис. 5. Вариант кодирования адаптивно меняется в зависимости от изменения качества связи (отношения сигнал/помеха), что отражается на скорости передачи.

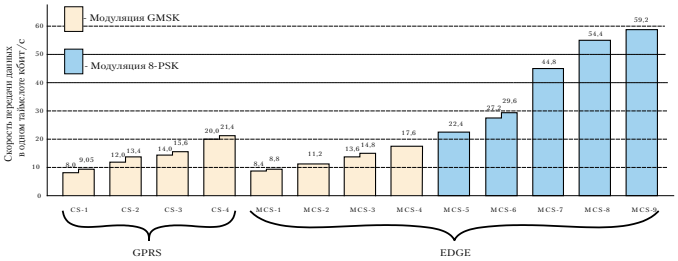

Рис. 5

Для оценки потенциально максимальной скорости передачи в режиме GPRS возьмем за основу код CS4 с максимальной скоростью в одном канале (ВО) — $B_{CS4} = 21{,}4$ кбит/ с. Тогда скорость передачи при объединении $n_{ВО}$ каналов

$$B_{n\,GPRS} = n_{ВО} B_{CS4} = n_{ВО} \cdot 21{,}4, \text{ кбит/с.} \qquad (2)$$

Развитием GPRS стала версия EDGE (Enhance Dote rotes for Global Evolution), рассчитанная на повышение скорости передачи данных. Основное повышение скорости достигается за счет внедрения радиосигналов с повышенной энтропией — переход от частотной манипуляции GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) к фазовой — ФМ-8 (8PSK — Pose Shift Keying) [11], и использования вариантов 9-уровневого канального кодирования MCS1...MCS9 с различными характеристиками помехоустойчивости. Смена кодирования происходит при изменении помехоустойчивости радиосвязи с изменением скорости передачи (см. рис. 5). Отличие вариантов кодирования MCS от кодирования при GPRS (CS1 ... CS4) заключается в повышении их избыточности, когда искаженный блок запоминается и в дальнейшем сравнивается с повторно принятым блоком (в кодах CS искаженный блок удаляется). Переход на модуляцию ФМ-8 осуществляется с уровня кодирования MCS5 и выше, а при кодах MCS1... MCS4 используется частотная манипуляция вида GMSK.

Для оценки максимальной скорости передачи данных в режиме EDGE используем код MCS9 с наивысшей скоростью $B_{MCS9} = 59{,}2$ кбит/с. Тогда скорость передачи

$$B_{n\,EDGE} = n_{ВО} B_{MCS9} = n_{ВО} \cdot 59{,}2, \text{ кбит/с.} \qquad (3)$$

В табл. 2 приводятся результаты расчетов по (1)—(3) максимальных скоростей передачи данных для четырех практически полезных случаев:

- кроме трафиковых каналов, организуются каналы управления; шесть из восьми временных окон (ВО) используются для передачи данных, а два — для каналов управления;
- организуются только трафиковые каналы (8 ВО); предельный случай — все восемь ВО используются для передачи данных;
- для GPRS передачи используются четыре объединенных трафиковых канала, например, специально выделенных для этого;
- использование одного ВО (таймслота) для организации обратного канала — «снизу—вверх».

Полученные данные следует уточнить для условий практического использования GPRS и EDGE — передачи:

- при потенциально максимальном использовании восьми каналов из-за наличия в передаче протокольных блоков данных [10] реальная максимальная скорость передачи данных составляет 115,2 кбит/с (14,4 кбит/с на один канал);
- одним из распространенных в практике GSM/GPRS является случай использования кодирования CS2 и четырех каналов со скоростью $B = 13{,}4 \cdot 4 = 53{,}6$ кбит/с, а также одного обратного канала со скоростью 13,4 кбит/с;
- в соответствии со спецификацией IMT-2000 (International Mobile Telephone) максимальная скорость при использовании восьми таймслотов принимается [11] равной 384 кбит/с, т. е. на один таймслот — 48 кбит/с.

ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ В СИСТЕМАХ CDMA

Принципы организации передачи данных в действующих системах (сетях) CDMA (Code Division Multiple Access) в большей части аналогичны рассмотренным для системы GSM. Отличается в основном радиоинтерфейс из-за использования шумоподобных сигналов. Так, в системе CDMA стандарта IS-95 [8] передача коротких сообщений может осуществляться по каналу Paging, по которому передаются также параметры системы и сигналы вызова АС. Общая скорость передачи в канале 4,8 или 9,6 кбит/с; в обратном канале доступа от АС — 4,8 кбит/с. По каналам трафика может поддерживаться как передача речи, так и передачи данных со скоростями 8,5 и 13,5 кбит/с, при скорости сверточного кодирования $r = 1/2$ или 3/4.

Принципы широковещательной передачи во многом аналогичны принципам, рассмотренным для GSM систем.

Таблица 2

Количество каналов (ВО), n	Скорость передачи данных в различных режимах, кбит/с		
	$B_{инф\,n}$	$B_{n\,GPRS}$	$B_{n\,EDGE}$
1	22,8	21,4	59,2
4	91,2	85,6	236,8
6	136,8	128,4	355,2
8	182,4	171,2	473,6

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПРИ ПЕРЕХОДЕ К СИСТЕМАМ 3G

Международным союзом электросвязи — МСЭ (ITU) при непосредственном участии Европейского института стандартизации в области телекоммуникаций (ETSI) разработана концепция глобальной будущей наземной сети телефонной связи — FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunications System), которая сегодня именуется IMT-2000 (International Mobile Telecommunications — 2000), а в Европе — UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service). В этой концепции показаны возможности развития множества дополнительных услуг, конвергенции услуг подвижной и фиксированной связи для передачи не только речи, данных, но и мультимедийных услуг. Система стандартов IMT-2000 рассматривается как «подвижная составляющая» глобальной информационной сети, основой которой является Internet.

В рекомендациях ITU-R M.1457 представлены основные положения для создания радиоинтерфейсов IMT-2000, принципы которых можно сформулировать следующим образом:

- достижение скорости 144 кбит/с с перспективой увеличения до 384 кбит/с во всей зоне обслуживания при высокой мобильности;
- ограниченное покрытие зоны обслуживания при скорости передачи до 2 Мбит/с;
- повышение спектральной эффективности;
- создание условий для большей гибкости при введении новых услуг.

Указанные скорости передачи данных были выбраны по аналогии с цифровыми сетями с интеграцией услуг ISDN [2]. Скорость 144 кбит/с применяется в 2B-D-канале, 384 кбит/с — в HD-канале и 1920 кбит/с в H12-канале. Было принято также несколько важных рекомендаций, в частности: предоставление услуг, требующих разных скоростей передачи (не только по запросу пользователя, но и в зависимости от условий и качества приема), и применение пакетной передачи данных.

Основой концепции IMT-2000 является семейство радиоинтерфейсов, определяющих главную отличительную особенность систем третьего поколения от ныне действующих систем сотовой связи. В Европе работа по выбору типов радиоинтерфейса была сосредоточена в ETSI в рамках проекта UMTS и получила название UTRA — Umts Terrestrial Radio Access (наземный радиодоступ системы UMTS). Сеть (Network) радиодоступа (с базовыми станциями и контроллером) называют UTRAN [12].

Работа по поиску новых стандартов проводилась партнерскими объединениями: 3GPP и 3GPP2 (3-rd Generation Partnership Project) [11], в которые вошли не только производители, но и операторы, причем эксплуатирующие совершенно разные технологии — от GSM до cdma One, и, естественно, желающие эволюционного развития своих технологий. В результате было принято решение о гармонизированном семействе стандартов для наземной подвижной связи третьего поколения с возможностью их интерфейсного взаимодействия.

В соответствии с этим решением доступ абонентских станций к услугам IMT-2000 может осуществляться с помощью пяти вариантов радиоинтерфейсов. Отметим, что их использование в разных странах планируется по разному. В Европе принят стандарт IMT-2000 (UMTS) с интерфейсами IMT-DC (Direct Speeding) для технологий WCDMA (Wide CDMA) с прямым расширением спектра несущей с помощью псевдослучайных последовательностей при наличии частотного дуплекса — FDD и IMT-TC (Time Code), предусматривающий работу с временным дуплексом в режиме синхронной (synchronizing) CDMA (TD — SCDMA) (доступ может быть комбинированным TDMA/CDMA). Выделены (рекомендованы) полосы радиочастот для FDD 1920...1980 и 2110...2170 МГц (ширина спектра радиосигнала WCDMA может достигать 5 МГц), а для работы с TDD 1900...1920 и 2010...2025 МГц. В России ряд ведущих операторов сотовой связи начали внедрение систем 3G на базе IMT-DC.

Как отмечалось выше, одним из важнейших приложений в сотовых сетях является предоставление MMS-услуги. Рабочей группой 3GPP предложен вариант MMS сети, позволяющей взаимодействовать системам разных типов и поколений.

Из множества параметров качества для различных конкретных услуг отметим лишь требования к двум параметрам для систем IMT-2000 (UMTS) при работе в режиме реального времени [13]: коэффициент ошибочных принятых битов — BER (Bit Error Radio) должен находиться в пределах $1 \cdot 10^{-3}...1 \cdot 10^{-7}$; время задержки передачи данных t_{max} = 20...300 мс.

ПЕРСПЕКТИВЫ МНОГОАДРЕСНОЙ И ШИРОКОВЕЩАТЕЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

С введением пакетной передачи данных появляются новые возможности для их широковещательного распространения. Планируется создание мультимедийной услуги на основе широковещательной и многоадресной передачи данных — MBMS (Multimedia Broadcast and Multicast Service), предложенной 3GPP [11]. (Во многом схожий проект предлагается группой 3GPP2). Широковещательные услуги подразумевают возможность доставки какого-либо контента всем пользователям заданной зоны, например, передача мобильного радио и телевидения или какой-либо другой объемной информации. Многоадресная передача рассчитана на группы пользователей, «подписавшихся» на услугу предоставления определенного контента, например, новостей, спортивных текстовых и видеосообщений и т. д.

Важнейшее звено в MBMS трансляции — создание выделенных качественных однонаправленных радиоканалов по технологиям пакетной передачи. В системах GSM предлагаются методы передачи по EDGE технологии с организацией канала «точка — много точек». Например, при широковещательной передаче видеосигнала со скоростью 40 кбит/с требуется от двух до четырех временных слотов. Число слотов может меняться в зависимости от способа повышения надежности передачи данных.

В сети WCDMA для реализации MBMS требуется три новых логических канала и один физический канал. Радиоканал WCDMA с полосой 5 МГц потенциально позволяет поддерживать 15 каналов многоадресной передачи данных MBMS со скоростью 64 кбит/с на канал [14]. Предлагаемая технология MBMS может поддерживать скорости до 256 кбит/с. Учитывая возможности экранов портативных АС, для передачи малоподвижных изображений можно использовать скорость 64 кбит/с, а для высокоподвижных — 128 кбит/с [14].

ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ БЕСПРОВОДНЫЙ (РАДИО) ДОСТУП

Наиболее трудным звеном в реализации высокоскоростной передачи данных в системах подвижной связи является участок базовая станция (ретранслятор) — мобильный абонент (на «последней миле»). Перспективный вариант построе-

ния этого звена может быть основан на абонентском радио (беспроводном) доступе с использованием Wi-Fi и WiMAX технологий. По степени мобильности (размерам зоны действия) их можно охарактеризовать следующим образом.

Wi-Fi технологии (протоколы IEEE 802.11.a/q и 802.11.b) используются в локальных сетях (Local area networks — LAN) для офиса или близко расположенных помещений и территорий вне здания офиса с радиусом действия не более 100 м, т. е. имеют небольшую мобильность. Скорости передачи мобильному абоненту могут быть от единиц до десятков мегабит в секунду.

В большей степени к категории мобильных подходят городские (Metropolitan area networks — MAN) и глобальные (Wide area networks — WAN) сети, создание которых ориентировано на WiMAX-технологии (протоколы IEEE 802.16.e и 802.20) со скоростями передачи до десятков мегабит в секунду. Однако, несмотря на заманчивую перспективу таких сетей, WiMAX технологии находятся в стадии доработки. В настоящее время они используются в основном для работы в режимах «точка-точка» или «точка — много точек», например, от магистральной точки доступа к ретрансляторам и реже БС —АС.

WiMAX технологии достаточно гибкие: они могут работать в диапазоне от 2 до 66 ГГц, с полосами занимаемых частот от 1,25 до 28 МГц и адаптивными кодированием и модуляцией. Автоматический выбор управления и вида модуляции в радиоканале зависит от его качества (отношения сигнал/помеха), т. е. от стационарности или мобильности пользователя и размеров зоны действия системы. В соответствии с этим меняется полоса частот радиосигналов и скорости передачи — от единиц до десятков мегабит в секунду для мобильных терминалов (стандарта IEEE 802.16.e) и 136 Мбит/с для стационарных пользователей. Для этого предлагается использовать широкий спектр видов модуляции радиосигналов радиоинтерфейса — от квадратурной фазовой манипуляциеи QPSK до многопозиционной квадратурной амплитудной модуляции — QAM (Quadrature Amplitude Modulation) технологии OFDM (Orthogonal Frequency Devising Multiplexing), наиболее адаптивной к среде распространения радиоволн в условиях интерференции [9].

Как отмечалось выше, отдельные детали технологии WiMAX находятся в стадии доработки. Кроме того, экономическая сторона их внедрения с учетом возмещения затрат за счет массового пользователя также требует особой оценки.

Зачастую полагают, что стандарты Wi-Fi и WiMAX станут базовыми для сетей четвертого поколения 4G на основе IP. Это касается разрабатываемого WiMAX стандарта IEEE 802.20, который полностью предназначен для мобильных абонентов, включая и их возможное передвижение на транспорте со скоростями до 155 миль/ч. При этом скорость передачи данных может достигать 2 Мбит/с [9]. Не исключено, что технологии этих стандартов могут стать дополнением к существующим системам подвижной связи, например, к сотовой связи.

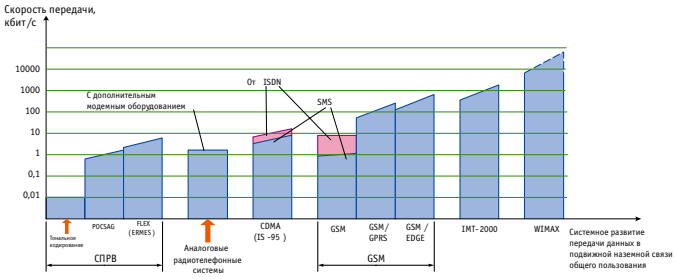

Рис. 6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подытоживая рассмотренные принципы и методы организации передачи данных в ПНС для представления их эволюции и сравнения на рис. 6 показаны значения скоростей передачи данных большинства систем ПНС. Пунктиром показаны характеристики, которые ожидаются в перспективе.

Анализируя сегодняшнее состояние и ближайшие перспективы передачи данных мобильным пользователям, нетрудно проследить общую тенденцию увеличения скорости их передачи, что позволяет внедрять совершенно новые услуги. Реализация этого происходит в условиях повышения требований к мобильности и размерам зоны действия систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. 110 лет радио: Сб. статей / Под ред. **Ю.В. Гуляева, М.А. Быховского.** — М.: Радиотехника, 2005. — 256.
2. **Маковеева М.М., Шинаков Ю.С.** Системы связи с подвижными объектами. Учебное пособие для вузов. — М.: Радио и связь, 2002. — 400 с.
3. **Туляков Ю.М.** Анализ характеристик развития адресной передачи данных в подвижной наземной связи. Материалы сессии РНТОРЭС им. А.С. Попова, посвященной Дню радио. Вып. XL1. — Москва, 2006.
4. **Туляков Ю.М.** Системы персонального радиовызова. — М.: Радио и связь, 1988. — 168 с.
5. The ERMES Advantage, Swissphone Telecommunications, Samstagern, Switzerland, 11—13th Novmber, 1996, 17 p.
6. The FLEXtm Solution: A Detailed Description, Participant Guide, Instructional Design & Multimedia Development Centre, Motorola Inc, 1997, 42 p.
7. **Tulyakov Yu. M.** From Regional to Federal Messaging in Russia // International Paging Convention 1998, 12—14 October 1998, Athers, Greece.
8. **Громаков Ю.А.** Стандарты и системы подвижной радиосвязи. М.: Эко-Трендз, 1997. — 239 с.
9. **Сюваткин В.С. и др.** WiMAX технология беспроводной связи: Основы теории, стандарты, применение / Под ред. **В.В. Крылова.** — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 368 с.
10. **Громаков Ю.А., Северин А.В., Шевцов В.А.** Технологии определения местоположения в GSM и UMTS: Учебное пособие. — М.: Эко-Трендз, 2005. — 144 с .:
11. Материалы партнерских объединений (проектов) 3GPP и 3GPP2.
12. **Величко В.В.** Передача данных в сетях мобильной связи третьего поколения./ Под ред. **Ю.Б. Зубарева.** — М.: Горячая линия — Телеком, 2005. — 332 с.
13. **Бабков В.Ю., Полынцев П.В., Устюжанин В.И.** Качество услуг мобильной связи. Оценка, контроль и управление. — М.: Горячая линия — Телеком, 2005. — 160 с.
14. **Бахуизен М., Хорн У.** Широковещательная и многоадресная передача информации в сетях мобильной связи // Мобильные системы. — 2005. — № 12.
15. Стандарты GSM: 03,40; 03,41; 04,01; 04,03... 04,08; 04,11; 04,12; 05,01; 05,02; 06,02; 09,02.
16. **Камышлин М.** Мобильник как средство спасения // Мобильные системы. — 2008. — №5.

Получено 10.10.08