

# ГРЯДЕТ ТОТАЛЬНАЯ МОБИЛИЗАЦИЯ

Каждому – по мобильнику!

И. Шахнович

**Сотовая связь – одно из чудес, ставшее обыденным за какие-то 10 лет. Даже в России из безумно дорогой игрушки, атрибута “нового русского”, мобильный телефон превратился в привычный предмет обихода, по стоимости приближающийся к обычному телефонному аппарату. Широкие возможности сетей мобильной связи не могут не привлекать внимание разработчиков различного рода систем – мониторинговых, охранных, коммуникационных и т.д. Особенность текущего момента в том, что мобильные телекоммуникации, появившись на свет и быстро возмужав, переживают период глобальной стандартизации – мировое сообщество пытается определить, какой быть сотовой телефонии в ближайшие десятилетия, формируя группу стандартов третьего поколения (3G).**

Очевидно, что в подобной ситуации потребность в едином стандарте или по крайней мере в совместимых стандартах весьма остра. К тому же сотовая связь все активнее вторгается в сферу передачи данных – это и электронная почта, и доступ к ресурсам Интернета, и обмен видеоинформацией, и т.п. Но чтобы подобные услуги оказались востребованными, необходимы иные скорости обмена (сейчас – 9600 или 14400 Кбит/с) и новые принципы организации соединений.

Еще в 1992 году Международный союз электросвязи (ITU) инициировал работы над стандартом “всемирной подвижной радиосвязи” IMT-2000. Предполагалось, что к 2000 году появится спецификация сетей подвижной связи, действующая в диапазоне около 2000 МГц и со скоростью передачи данных порядка 2 Мбит/с. Одним из требований была возможность точного определения местоположения мобильных терминалов. Причем речь шла о единой системе телекоммуникаций, объединяющей спутниковые, мобильные, фиксированные виды связи. Надеждам этим сбыться не было суждено, однако некая определенность со стандартами сетей третьего поколения, или по крайней мере с перспективой развития сотовой связи, наступила. Этой теме посвящено огромное количество публикаций. Голова идет кругом от аббревиатур UMTS, cdma2000, WCDMA, EDGE и т.д. Попробуем в этом изобилии разобраться. Но сначала очень кратко рассмотрим принципы основных действующих стандартов.

## ЭТО НАШЕ ПОКОЛЕНИЕ – РУДИМЕНТЫ В НЫНЕШНИХ МИРАХ...

### Самый массовый.

Безусловный лидер по распространенности на мировом рынке – **стандарт GSM**. Его история началась в 1982 году, когда Европейская конференция администраций почты и телеграфа (CEPT) создала рабочую группу GSM (Group Special Mobile) для разработки общеевропейской системы подвижной сотовой связи. В 1989 году работы по GSM перешли под эгиду Европейского института стандартизации электросвязи (ETSI) и в 1990 году были опубликованы спецификации первой фазы стандарта. В 1993 году в 22 странах мира действовало 36 сетей GSM. К 1995 году насчитывалось около 5 млн. абонентов, стандарт стал общемировым и расшифровывался как Global System for Mobile communications. За последующие шесть лет число абонентов возросло в 84 раза, что составляет порядка 70% пользователей сотовой связи во всем мире. Примечательно, что такая же доля сторонников GSM и в России.

GSM действует в диапазонах 900 и 1800 МГц (в США – 1900 МГц). В Европе и России в 900-МГц диапазоне мобильный телефон передает (восходящий канал) в полосе 890–915 МГц, принимает (нисходящий канал) в интервале 935–960 МГц (для GSM-1800 – 1710–1785 и 1805–1880 МГц, соответственно). Весь диапазон делится на частотные каналы по 200 кГц – в GSM-900 всего 124 ка-

Если на что наша страна и не может пожаловаться, так это – на недостаток технологий сотовой связи. В различных регионах действуют сети стандартов первого поколения NMT-450 и AMPS и второго поколения – GSM (900 и 1800 МГц), DAMPS (IS-136, TDMA/136) и CDMA (IS-95a, cdmaOne). В Москве – так сразу все четыре. По словам гендиректора “Вымпелкома” Д.Б. Зимина, “Россия превращена в “зоопарк”, в полигон для всех существующих в мире стандартов, которые “пропикивают” сюда поставщики оборудования”. Причины этому разные, в первую очередь – проблемы с распределением частот. Впрочем, подобная ситуация сложилась во многих странах.

И все это – на фоне, без преувеличения, “взрывного” роста сотовых сетей. К 2002 году предсказывают появление до 1 млрд. абонентов (прогноз Nokia) – примерно столько, сколько всего абонентов проводной связи. Уже сегодня насчитывается более 430 млн. абонентов сетей GSM (69% всех абонентов мира), 65 млн. приверженцев CDMA, 47,1 млн. пользователей DAMPS, еще около 58 млн. абонентов сетей других стандартов [1]. В то же время в России на 1 января насчитывалось порядка 3,4 млн. абонентов – годовой рост составил 152% [2]!



нала (124 восходящих и 124 нисходящих), разнос между восходящим и нисходящим каналом – 45 МГц. Базовая станция поддерживает от 1 до 16 частотных каналов.

В GSM использован принцип временного разделения канала – TDMA. Частотные каналы разбиты на кадры по 8 временных интервалов (канальные интервалы) длительностью по 577 мкс. Каждому физическому каналу соответствует один определенный временной интервал на определенной частоте. Таким образом, мобильный терминал (МТ) передает базовой станции (БС) информацию в течение 577 мкс каждые 4615 мкс. БС связывается с МТ точно так же, но на три временных интервала раньше МТ (и на частоте на 45 МГц выше), чтобы разнести во времени прием и передачу. Это существенно упрощает аппаратуру МТ.

Временные интервалы в GSM бывают пяти типов – нормальный, подстройки частоты, синхронизации, установочный и доступа. Структура нормального временного интервала показана на рис. 1. Полезная информация передается двумя блоками по 57 бит. Между ними расположена 26-бит тренировочная последовательность, ограниченная одноразрядными указателями PB (Pointer Bit). Интервалы BB (Border Bit) длиной 3 бита ограничивают всю передаваемую последовательность. После трансляции всех 148 бит канального интервала передатчик “молчит” в течение защитного интервала ST (Shield Time) длительностью 30,44 мкс, что по времени эквивалентно передаче 8,25 бит.

Каждые 26 кадров объединены в мультикадр продолжительностью 120 мс. В мультикадре каждый 13-й кадр зарезервирован для канала управления, а в течение каждого 26-го кадра вся система “молчит”.

Отметим, что в GSM использован принцип медленных частотных скачков – прием/передача нового кадра может происходить на новой несущей частоте. При этом сохраняется дуплексный разнос в 45 МГц. Начальное значение несущей и последовательность изменения назначаются мобильному терминалу при установлении связи. Модуляция сигнала – двоичная Гауссова с минимальным сдвигом GMSK (один бит на символ).

Радиус соты в GSM – до 35 км – ограничен возрастающей временной задержкой распространения сигнала, к которой чувствительна технология TDMA. Сетевая инфраструктура – GSM/MAP основана на системе сигнализации OKC7 (SS7) [3]. Для кодирования речи применен кодек VCELP на основе алгоритма RPE-LTP (Regular Pulse Excitation – Long Term Prediction) со скоростью 13 Кбит/с. Скорость передачи данных – до 9,6 Кбит/с (по стандартной схеме).

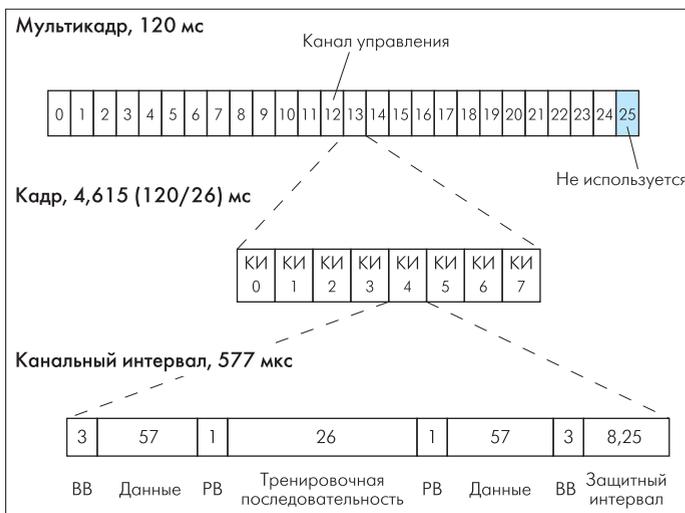


Рис. 1. Временное разделение каналов в GSM

### Самый первый.

13 октября 1983 года в Чикаго заработала первая сеть **стандарта AMPS** (Advanced Mobile Phone System). Родившись на американском континенте, этот стандарт распространился по всему миру, попав и в Россию. AMPS рассчитан на диапазон 824–840 и 869–894 МГц, каналы – дуплексные с разнесом на 45 МГц, ширина канала – 30 кГц. Как стандарт первого поколения, AMPS потребовал модернизации. Так в 1988 возник DAMPS – Digital AMPS, цифровой стандарт второго поколения, действующий в том же диапазоне, что и предшественник. Ширина канала в DAMPS – те же 30 кГц, но применено временное разделение каналов – циклически повторяющиеся кадры с тремя временными интервалами. Речевой кодек – VCELP, 8 Кбит/с. Поскольку стандарт американский, его сетевая инфраструктура – ANSI-41. Размер соты – до 20 км. В отличие от аналогового прародителя, DAMPS особого распространения в мире получить не успел и уже никогда не успеет.

### Самый быстрый.

**CDMA** расшифровывается как множественный доступ с кодовым разделением каналов (Code-Division Multiple Access). Сама по себе технология не нова: первая в СССР работа на эту тему – “Основы теории линейной селекции” Д.В. Агеева – была опубликована в сборнике ЛЭИС в 1935 году. Значительно продвинули технологию работы К. Шеннона. Исторически CDMA находила применение только в военных системах связи – уж очень сложна аппаратура для обработки сигналов. Зато в данной области такие свойства технологии, как высокая стойкость к помехам, прицельным в том числе, и скрытность передачи, оказались незаменимыми.

С развитием микроэлектроники стало возможным создание недорогих портативных станций CDMA. Лидер в этой области – американская компания Qualcomm, разработавшая спецификацию IS-95 (cdmaOne). Что, впрочем, оспаривают представители фирмы Ericsson. Первая коммерческая сеть CDMA заработала в Гонконге в сентябре 1995 года. Не прошло и шести лет, а уже насчитывается 63 млн. абонентов сетей данного стандарта. Отстав в рождении от GSM, IS-95 уверенно нагоняет старшего брата. Сегодня среднегодовой прирост абонентской базы IS-95 превышает 150% (в России – с 1997 по 1999 годы). До 2003 года прирост прогнозируется на уровне 55–60% (против 12–15% у GSM) [4]. Но догнать GSM cdmaOne уже не сможет – срок жизни стандартов 2G истекает.

Упрощенно рассмотрим принцип CDMA. Различают три вида кодового разделения каналов – расширение спектра методом прямой последовательности (DS), частотных скачков (FH) и временных скачков (TH) [5]. Нас интересует метод DS, в отечественной литературе его называют передачей на основе шумоподобных сигналов (ШПС). В CDMA-DS каждый бит информационного сигнала заменяется некоторой фиксированной последовательностью определенной длины – базой сигнала. Ноль и единица могут, например, кодироваться инверсными последовательностями. Для каждого канала задается определенная последовательность (код). Спектр сигнала расширяется пропорционально длине базы. Последовательности обычно подбирают ортогональными (скалярное произведение равно нулю). В приемнике происходит вычисление корреляционных интегралов входного сигнала и кодовой последовательности определенного канала. В результате принимается только тот сигнал, который был расширен посредством заданной кодовой последовательности (корреляционная функция выше порогового значения). Все остальные сигналы воспринимаются как шум. Таким образом, в одной полосе могут работать несколько приемопередатчиков, не мешая друг другу.

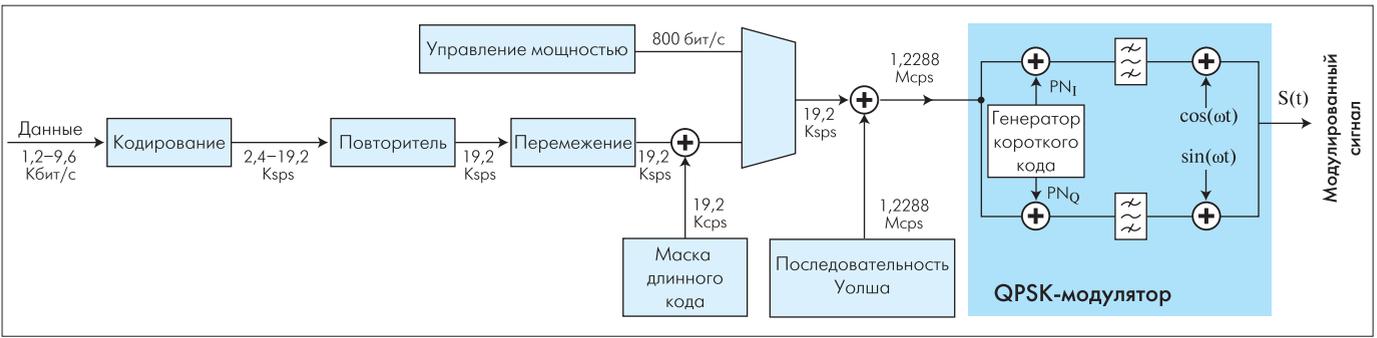


Рис.2. Схема передачи в прямом канале cdmaOne

Благодаря широкополосности сигнала снижается его мощность, причем при очень длинной базе – ниже уровня белого шума. Сильно возрастает помехоустойчивость, а с ней и качество связи – узкополосная помеха не повлияет на широкополосный сигнал. Кодовая последовательность автоматически является и элементом криптозащиты. Что особенно привлекательно для операторов сотовой связи, – отпадает необходимость частотного планирования, поскольку все станции работают в одной полосе. Все эти свойства и предопределили успех CDMA.

Естественно, принцип взаимодействия базовой и мобильной станций в стандарте IS-95 гораздо сложнее. Рассмотрим его немного подробнее, поскольку именно этот стандарт может стать основой ряда сетей третьего поколения.

Сети IS-95 занимают практически тот же частотный диапазон, что и сети AMPS, – 824–840 и 869–894 МГц. Прямой канал (от БС к мобильному терминалу) всегда на 45 МГц выше обратного. Ширина канала – 1,25 МГц. Существует и более высокочастотная версия в диапазоне 1890–1930 и 1950–1990 МГц. Там дуплексный разнос – 80 МГц. Ниже мы рассмотрим работу в диапазоне до 900 МГц – в более высокочастотной версии все аналогично, только скорость передачи данных в 1,5 раза выше – до 14,4 Кбит/с.

**Прямой канал** содержит 64 логических канала. Логические каналы формируются за счет расширения спектра сигнала последовательностями Уолша (Walsh). Каждая из этих последовательностей представляет собой одну из 64 строк матрицы Адамара (Hadamard). Основное их свойство – в том, что все строки матрицы (и их инверсия) взаимно ортогональны.

Способ построения матрицы Адамара прост. Матрица первого порядка  $A_1=[1]$ . Матрица  $A_{2n}$  образуется по схеме

$$A_{2n} = \begin{bmatrix} A_{n/2} & A_{n/2} \\ A_{n/2} & -A_{n/2} \end{bmatrix}$$

Так, матрица 2 порядка имеет вид  $A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$

Матрица  $A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$

Последовательность Уолша отличается от строки матрицы Адамара только тем, что в ней -1 заменен на 0.

Рассмотрим процесс передачи в прямом канале (рис. 2). Входной поток (данные, оцифрованный голос) (1,2–9,6 Кбит/с) подвергается защитному сверточному кодированию с коэффициентом 1/2 и попадают в повторитель, который в зависимости от условий связи может повторять передачу одного блока данных до восьми раз. Затем данные поступают в блок перемежения, защищающий от групповых ошибок. Фактически, это – матрица, которую информационные биты заполняют по строкам, а выводятся по столбцам.

Далее поток перемножается с 42-разрядным числом – так называемой маской длинного кода, фактически – идентификационным номером мобильной станции (речь идет о канале передачи трафика, в каналах другого типа маска может формироваться иначе). Это элемент дополнительной криптозащиты. Наконец, поток расширяется посредством последовательностей Уолша (каждый бит перемножается на 64-разрядную последовательность). Каждому из 64 каналов соответствует определенная последовательность. Первая последовательность Уолша закреплена за пилотным каналом.

После расширения последовательностями Уолша скорость потока становится 1,2288 Мбит/с (если быть точным – не бит, а чипов, поскольку бит – понятие информационное, а элементы модулированных последовательностей называют чипами). В результате каждому информационному биту исходного потока соответствует 128 чипов выходной последовательности. Выигрыш в отношении сигнал/шум для расширенного и исходного сигнала составляет  $10\lg 128=21$  дБ. Если принять, что на входе приемника допустимо соотношение сигнал/шум в 3 дБ, то передачу теоретически можно вести при уровне сигнала на 18 дБ ниже уровня интерференционных помех.

Прежде чем попасть на модулятор, сигнал дополнительно расширяется псевдослучайной последовательностью с так называемым коротким кодом (период –  $2^{15}-1$ ) и раскладывается на квадратурные составляющие. Таким образом, несущая модулируется методом четырехпозиционной фазовой манипуляции – QPSK. Поскольку последовательности Уолша взаимно ортогональны, интерференционные помехи между каналами одной БС практически отсутствуют. Передача ведется пакетами длительностью 20 мс.

**Обратный канал** делится на  $2^{42}-1$  логических каналов. Каждой мобильной станции присвоен свой уникальный логический канал на основе 42-битного идентификационного номера. Спектр сигнала в обратном канале расширяется на основе так называемых m-последовательностей (длинного кода). Их генерация происходит в 42-разрядном сдвиговом регистре с обратными связями (рис. 3). Если начальные значения во всех m узлах регистра не равны 0, ге-

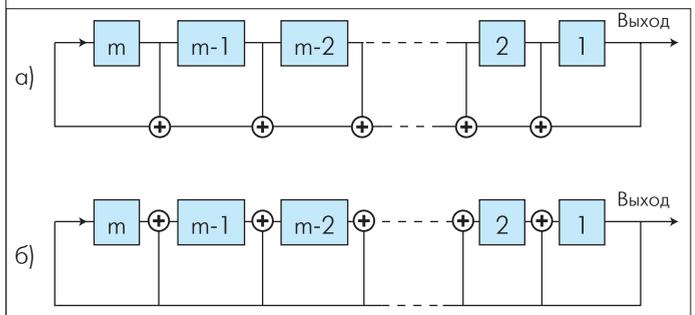
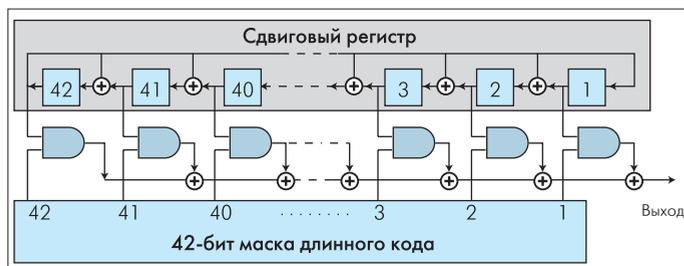


Рис.3. Генерация длинного кода (m-последовательности): а – схема Фибоначчи, б – схема Галоиса



нератор на его основе будет выдавать периодическую псевдослучайную последовательность длиной  $2^m - 1$ . Отличительная особенность  $m$ -последовательностей – сумма по модулю 2 (операция “исключающее ИЛИ”)  $m$ -последовательности с той же последовательностью, смещенной по фазе, дает ту же самую последовательность, но с другим фазовым сдвигом ( $M(t/T) \oplus M(t/T + \varphi_1) = M(t/T + \varphi_2)$ ). Благодаря этому свойству, с помощью идентификационного номера – маски длинного кода – можно задавать начальную фазу последовательности (рис.4). Таким образом, вся система использует один вид псевдослучайной последовательности (ПСП) с очень большим периодом повторения, а селекция логических каналов



**Рис.4. Генератор длинного кода с заданным фазовым сдвигом в cdmaOne**

происходит за счет выбора ее фазы. ПСП обладают всеми свойствами случайных последовательностей, с высокой автокорреляцией при совпадении фаз.

Передача в обратном канале во многом аналогична передаче в прямом канале (рис.5). Входная информация после сверточного кодирования (с коэффициентом  $1/3$ ), повторителя и блока перемежения попадает в блок ортогональной модуляции, где каждая группа из 6 бит заменяется соответствующей 64-разрядной последовательностью Уолша. Далее поток последовательностей Уолша перемножается на ПСП (длинный код). При этом каждый элемент последовательности Уолша преобразуется в четыре элемента ПСП. Затем поток квадратируется посредством так называемого короткого кода, с периодом  $2^{15} - 1$ . Короткий код необходим для первичной синхронизации МТ с БС.

Получающиеся в итоге две последовательности имеют период порядка  $2^{57}$ , что при скорости цифрового потока 1,2288 Мчип/с эквивалентно 3700 годам. Они используются для модуляции несущей. В обратном канале применяется квадратурная фазовая модуляция со сдвигом O-QPSK (см. рис. 5), каждому символу соответствуют два бита. Этот вид модуляции позволяет снизить требования к линейности усилителей передающего тракта МТ. В результате всех преобразований каждый бит исходного сообщения заменяется 256 элементами транслируемой последовательности.

Прием сигналов в прямом и обратном каналах происходит в обратном порядке. Для выделения “своего” сигнала используют циф-

ровые корреляторы, вычисляющие корреляционную функцию с заданной последовательностью Уолша либо с  $m$ -последовательностью в заданной фазе. МТ обычно содержит несколько корреляторов для работы одновременно с несколькими базовыми станциями. Это важно при переходе из соты в соту, когда терминал принимает сигналы от различных БС и, сравнивая их качество, выбирает предпочтительную. Кроме того, несколько корреляторов обеспечивают прием при многлучевом распространении сигнала, что может улучшить качество связи.

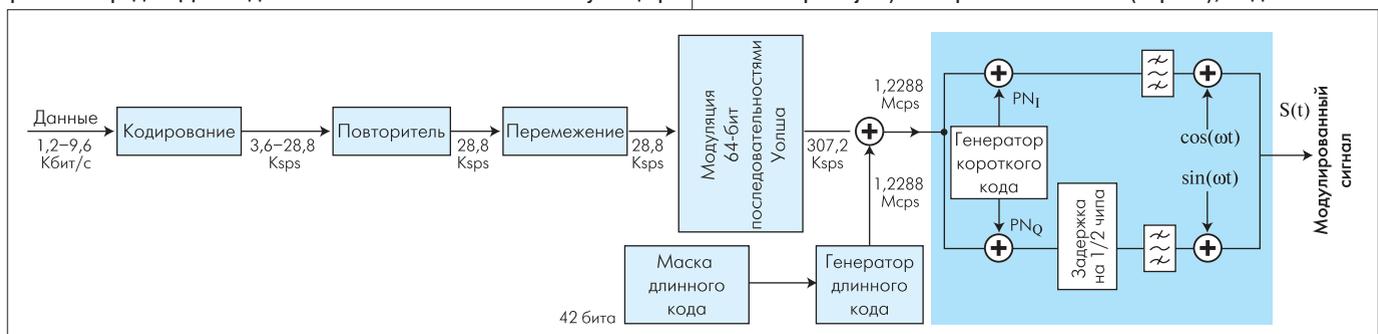
Уникальная особенность стандарта IS-95 – гибкое управление мощностью излучения МТ. В пределах соты уровни принимаемых БС сигналов должны быть одинаковыми независимо от удаления МТ. Для этого мощность МТ регулируется по специальному алгоритму в диапазоне порядка 80 дБ с шагом 1 дБ каждые 1,25 мс. Кроме того, в IS-95 скорость работы голосового кодека не постоянна, как в GSM, а может меняться в зависимости от интенсивности речи от 8 до 1,2 Кбит/с. Эти особенности позволяют очень гибко регулировать нагрузку в сети, не загружая соту избыточной информацией.

Одна БС может поддерживать до 64 каналов. Однако часть из них – служебные: пилотный, синхронизации, вызова. Оказывают влияние и соседние БС. Однако при фиксированной связи БС поддерживает до 40–45, при подвижной – до 25 каналов передачи трафика. И все это на одной частоте! Технология CDMA требует точной, до микросекунд, синхронизации БС. Для этого используют сигналы глобальной системы позиционирования GPS. Радиус соты – до 20 км, сетевая инфраструктура – ANSI-41.

Безусловно лидируя во всем мире по темпам развития, в России технология CDMA столкнулась не с техническими проблемами. Возникли сложности со спектральным диапазоном, а лицензии операторам выдавались только на предоставление услуг фиксированной связи. Но поскольку абонента сети IS-95 зафиксировать принципиально невозможно, технология втихомолку вторглась на рынок мобильной связи. Тут ее ожидало мощнейшее противодействие действующих операторов, оправданно испугавшихся потенциального конкурента. Последовал ряд запретов и встречных исков, в результате сети IS-95 в России перспективы пока не имеют, хотя потихоньку расширяются. Подробно история развития и злключения этого стандарта в нашей стране изложена на сайте [6].

## ОТЦЫ И ДЕТИ

Основной недостаток систем мобильной связи второго поколения – низкая скорость передачи данных, 9,6–14,4 Кбит/с. В рамках же IMT-2000 стояла задача достичь в сетях 3G скорости потока до 2 Мбит/с для малоподвижных абонентов и до 384 Кбит/с – для мобильных. В мире сформировались два глобальных партнерских объединения, формирующих стандарты 3G – 3GPP и 3GPP2 (3G Partnership Project). В первое вошли ETSI (Европа), подкомитет P1



**Рис.5. Схема передачи в обратном канале cdmaOne**

телекоммуникационного комитета ANSI (США), ARIB и TTC (Япония), SWTS (Китай) и ТТА (Южная Корея). Участники 3GPP сумели согласовать особенности своих подходов к технологии широкополосной CDMA (WCDMA) с частотным (FDD) и временным (TDD) дуплексированием, представив ITU проекты IMT-DS и IMT-TC. В основу легло европейское предложение UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access, радиоинтерфейс наземного доступа к системе UMTS) – UTRA FDD и UTRA TDD. Отметим, что в качестве одного из стандартов IMT-2000 предложено дальнейшее развитие технологии микросотовых сетей DECT (проект IMT-FT).

Члены объединения 3GPP2 предлагают фактически эволюционный путь – варианты развития технологий DAMPS (UWC-136) и cdmaOne (cdma2000). Данные предложения представлены ITU как проекты IMT-SC и IMT-MC.

Таким образом, намечилось два пути: революционный – там, где есть деньги и свободный частотный ресурс, и эволюционный – в остальных регионах. Например, в США проблема свободных частот крайне остра – там кто диапазон купил, тот им и распоряжается, и подвинуть его крайне проблематично. Почти наверняка развитие сотовой связи пойдет по двум дорогам, которым надлежит где-нибудь сойтись. Попробуем описать оба пути.

### Мы наш, мы новый мир построим...

В 1996 году в городе Чиста (Швеция) компания Ericsson запустила первую опытную сеть с технологией **WCDMA**. Эта технология легла в основу проекта наземного мобильного сегмента европейской универсальной системы телекоммуникаций UMTS. Было предложено два варианта WCDMA – с частотным и временным разносом прямого и обратного каналов (FDD WCDMA и TDD WCDMA) соответственно для парного (предполагается 2110–2170 и 1920–1980 МГц) и непарного спектра частот.

Технология основывается на расширении спектра методом прямой последовательности в полосе 5 МГц на канал. Изначально определенная скорость потока чипов – 4,096 Mcps (Мчип/с) – для согласования с другими стандартами была снижена до 3,84 Mcps. Таким образом, система может поддерживать требуемые 2 Мбит/с для малоподвижных абонентов и 384 Кбит/с – для мобильных. Предусмотрена возможность применения интеллектуальных антенных систем. Принципы технологии **FDD WCDMA** во многом аналогичны cdmaOne (конечно, WCDMA – гораздо сложнее). Одно из принципиальных отличий – сеть на базе FDD WCDMA может быть асинхронной (возможен и синхронный режим).

Для случаев, когда спектральный диапазон ограничен – нет возможности выделять частоты под парные 5-МГц каналы, – проработана версия **WCDMA TDD** с временным разделением каналов. Принцип прост – весь временной диапазон представляет последовательность равных канальных интервалов. В течение каждого из них в каждом из логических каналов (с кодовым разделением) происходит передача в одном направлении – от БС или от МТ. Таким образом, в определенные промежутки все каналы – либо прямые, либо обратные. Соотношение и последовательность прямых и обратных канальных интервалов может гибко изменяться в зависимости от интенсивности трафика в обе стороны. Это крайне важно для многих приложений с асимметричной передачей данных (например, доступ в Интернет). По сравнению с FDD WCDMA сети с TDD должны быть синхронными, в остальном же их параметры практически совпадают.

WCDMA (UMTS) изначально разрабатывалась как замена сетей GSM с возможностью плавного перехода. Поэтому ее сетевая инфраструктура совместима с MAP/GSM. Кроме того, она ориентиро-

вана на глобальные сети с пакетной коммутацией (IP, X.25). Операторы могут создавать “островки” WCDMA в особо густонаселенных районах, постепенно расширяя их. Поэтому все абонентские терминалы для WCDMA в Европе будут поддерживать GSM. Но первая сеть WCDMA, скорее всего, начнет действовать в Японии (по заявлению оператора – компании NTT DoCoMo – в мае этого года), где телефонов GSM никогда не было. Для японских операторов WCDMA привлекательна из-за ее высокой абонентской емкости.

### И, шествуя важно, в спокойствии чинном...

Уже действующие сети – это построенная инфраструктура, сформированная и развивающаяся абонентская база, раскрученная маркетинговая компания и, что самое главное, – огромные вложенные средства и определенная инвестиционная перспективность (если, конечно, сеть успешна). Не менее важно, что за оператором сети закреплен частотный диапазон, и если его не собираются отбирать... Поиск путей усовершенствования происходит постоянно. В самом деле, чем строить принципиально новую сеть (WCDMA), не лучше ли постепенно развивать существующие? А такие возможности есть.

Огромный потенциал заложен в стандарте IS-95. Прежде всего, он “от рождения” ориентирован на пакетную коммутацию. Прямым развитием cdmaOne стала спецификация **IS-95b**. Она позволяет объединять до восьми логических каналов. Теоретически достижимая скорость при этом –  $14,4 \times 8 = 115,2$  Кбит/с. Реально работающие сети IS-95b обеспечивают передачу до 64 Кбит/с.

Следующий шаг развития IS-95 – проект **cdma2000**, который в итоге должен удовлетворять требованиям IMT-2000. Предусматривалось три стадии развития cdma2000 – 1X, 3X и cdma2000 DS (прямая последовательность). Последний вариант технически аналогичен WCDMA, и потому работы над ним были прекращены.

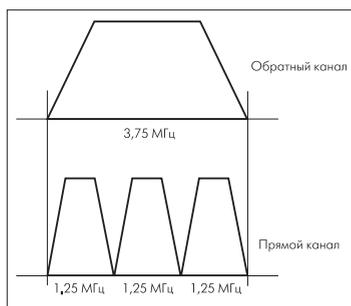
**CDMA 1X** (CDMA 1XRTT) позволяет увеличить число логических каналов до 128 в той же спектральной полосе 1,25 МГц. При этом реальная скорость – до 144 Мбит/с. Такая сеть уже действует в Южной Корее (оператор – SK Telecom).

Компания Qualcomm предложила технологию увеличения скорости **HDR** (High Data Rate). Ее основная идея – гибкое увеличение числа положений вектора сигнала (символов) при фазовой модуляции, следовательно – увеличение числа бит на символ. В стандартной модуляции несущей в CDMA (квадратурная фазовая, QPSK) используются четыре символа, каждый определяет два бита. Если увеличить число возможных символов до восьми (8PSK), каждый отсчет сигнала будет определять три бита и скорость передачи возрастет в полтора раза. Очевидно, что чем хуже условия связи, тем меньше символов может распознать приемник. Поэтому в зависимости от зашумленности эфира вид модуляции в HDR меняется. Технология HDR позволяет достигать пиковых скоростей порядка 2,4 Мбит/с в стандартной полосе 1,25 МГц. О работе над аналогичной технологией – 1Xtreme – заявляла и компания Motorola.

Спецификация **CDMA 3X** – вторая фаза проекта cdma2000. Обозначение 3X указывает на утроение спектральной полосы канала cdmaOne –  $1,25 \times 3 = 3,75$  МГц. При этом в обратном канале происходит передача методом прямой последовательности в полосе 3,75 МГц. В прямом же канале данные передаются параллельно по трем стандартным IS-95 каналам шириной 1,25 МГц (технология с несколькими несущими, MC) (рис.6). В результате скорость может превышать 2 Мбит/с. Поскольку технология базируется на IS-95, БС в сетях cdma2000 требуют синхронизации. Существенно, что вполне возможно дальнейшее масштабирование – 6X, 9X и т.д. с соответствующим ростом производительности или емкости.



Важнейшая особенность cdma2000 – его полная совместимость с предыдущими фазами, вплоть до cdmaOne. Не требуется нового частотного диапазона и существенного изменения аппаратуры. Фактически возможно плавное улучшение параметров существующих сетей IS-95 до требований IMT-2000. Правда, возникает глобальная проблема – совместимость стандартов cdma2000 и WCDMA. Причем как на уровне терминалов, так и сетевой инфраструктуры (MAP/GSM и ANSI-41). Впрочем, обе технологии поддерживают IP, что может стать для них объединяющей платформой. Отметим, что поскольку в России сети CDMA практически незаметны и ситуация вряд ли изменится, вариант cdma2000 с его достоинствами – не для нас.



**Рис. 6. Спектр сигналов в технологии cdma2000 3X**

Главный переход к сетям 3G крайне привлекателен и для операторов сетей с технологией TDMA – GSM и DAMPS. Методов повышения быстродействия сетей GSM несколько. Изначальная скорость передачи данных в них составляла 9,6 Кбит/с. Однако по каждому каналу через 4,615 мс передается эквивалент 156-разрядного пакета – следовательно, максимально возможная теоретическая скорость в GSM-канале – 33,8 Кбит/с. Существенную долю этой полосы съедают служебная информация, а также сигнализация, алгоритмы защиты от ошибок и криптозащиты. Только-только хватает на передачу оцифрованной речи со скоростью 13 Кбит/с. Скорость данных еще ниже, поскольку при стандартной схеме они следуют через речевой кодек. Изменив алгоритм защитного кодирования, удалось увеличить скорость до 14,4 Кбит/с.

Следующим шагом стало введение схемы **HSCSD** (высокоскоростная передача данных по коммутируемым каналам). Она предусматривает объединение нескольких канальных интервалов. Так, при объединении двух интервалов возможна скорость 19,2 (9,6x2) и 28,8 (14,4x2) Кбит/с. Для этого в основном необходимы изменения в программах поддержки протоколов, не затрагивающие аппаратной части и инфраструктуры сети. Более высокие скорости (например, 9,6x4=38,4 Кбит/с) требуют модернизации аппаратуры мобильных телефонов. Дальнейшее увеличение скорости, например до 76,8 Кбит/с (9,6x8), ограничено сетевой инфраструктурой (64 Кбит/с в канале между БС и коммутатором).

Поистине “прорывным” стало появление технологии пакетной передачи **GRPS**. В самом деле, для протоколов радиообмена сотовых систем второго поколения сеть с коммутацией каналов – атавизм. Введение пакетной коммутации делает мобильные сети легко совместимыми с IP- и X.25-сетями, создавая тем самым прекрасную платформу для перехода к WCDMA.

При пакетной коммутации данные передаются через свободные от речевого трафика канальные интервалы. Совершенно реальными становятся скорости свыше 100 Кбит/с (теоретический предел – 33,8x8=270,4 Кбит/с). Мобильный терминал может одновременно поддерживать голосовое соединение и обмен данными без ухудшения качества речи.

Одно из важнейших достоинств пакетной коммутации – очень быстрое установление соединения. Абонент занимает канал только в момент передачи. Поэтому тарификация может происходить на основе реально переданной информации (числа пакетов), а не пропорционально времени нахождения в сети, как при коммутации каналов. Скорости обмена могут гибко меняться.

Чтобы внедрить технологию GRPS на существующие сети GSM, их инфраструктуру достаточно дооснастить оборудованием пакетной передачи (основные устройства – шлюзовые и управляющие узлы, GGSN и SGSN), а каждый GSM-контроллер – блоками управления пакетной связью (PCU). Развивать GRPS-сеть можно постепенно, оснащая ее узлами GGSN и SGSN.

Дальнейшим развитием пакетной передачи стала технология **EDGE** (Enhanced Data for Global Evolution, изначально вместо Global стояло GSM) [7, 8]. В ее основе – изменение метода модуляции несущей и адаптивная схема защитного кодирования. Напомним, в GSM применяется модуляция GMSK с одним битом на символ. В EDGE предусмотрена модуляция 8PSK с тремя битами на символ. Таким образом, скорость передачи утраивается. Предусмотрено два режима EDGE – с коммутацией пакетов (EGRPS, Enhanced GRPS) и с коммутацией каналов (ECSD, Enhanced Circuit Switched Data). Скорости увеличиваются соответственно до 69,2 и 38,4 Кбит/с. В режиме коммутации каналов возможно объединение канальных интервалов, как в технологии HSCSD.

Режим пакетной передачи предусматривает девять скоростей [8], отличающихся схемой защитного кодирования и видом модуляции несущих. Скорость автоматически изменяется от пакета к пакету в зависимости от условий в эфире. На физическом уровне протокол EDGE совпадает с GSM, включая структуру кадров и мультикадра (только разряды PB включены в блоки данных, см. рис. 1). При этом общая скорость на несущую – до 384 Кбит/с, что позволяет рассматривать EDGE как технологию сетей третьего поколения.

EDGE может послужить базой для эволюции не только сетей GSM, но и DAMPS. В январе 1998 года консорциум UWCC (Universal Wireless Communications Consortium) принял EDGE за основу дальнейшего развития сетей DAMPS, создав концепцию UWC-136. Она предусматривает расширение полосы канала DAMPS с 30 до 200 кГц с соответствующим ростом скорости. Данный проект внесен на рассмотрение ИТУ как система 3G (проект IMT-SC). На платформе EDGE возможна и интеграция сетей DAMPS с сетями GSM.

Отметим, что прорабатываются два варианта EDGE-сетей – COMPACT и Classic. Последний ориентирован на стандартные GSM-системы, тогда как COMPACT – это решение в условиях ограниченного частотного ресурса. Сети COMPACT могут занимать диапазон шириной всего в 600 МГц. При этом БС должны быть синхронизированы, например с помощью сигналов системы GPS.

Таким образом, определилась технология эволюции сетей на основе TDMA – GSM и DAMPS. Поскольку эти сети преобладают на территории России, именно EDGE может стать безальтернативной основой дальнейшего развития отечественной сотовой связи.

### ПРИЗРАК БРОДИТ ПО ЕВРОПЕ...

Чтобы товар продать, на него нужен спрос. Если спрос призрачен, в призрак превращается и сам товар. Это – аксиома. В хронике сетей 3G есть один аспект, о котором нельзя умолчать. А нужны ли они вообще, эти сети? Нет, их потенциальные возможности, безусловно, соблазнительны, но во что это выльется для потребителя? Особенно в Европе, где склоняются к революционному пути построения сетей UMTS (WCDMA). Тревогу забили, когда стали известны результаты первых аукционов по продаже лицензий на право предоставлять услуги 3G. В Великобритании общая сумма продаж лицензий составила 34 млрд. долл., в Германии – 46 млрд. долл. Итого восемьдесят МИЛЛИАРДОВ долларов! За лицензии. Возмещать операторам такие затраты, будут, конечно же, пользователи

их услуг. А вот захотят ли они ими пользоваться, если есть более дешевые альтернативные решения? Отметим, что собственно сетей еще нет, как нет и серийной аппаратуры для них.

Кому выгодно поднимать ажиотаж вокруг 3G? В Европе ответ практически однозначен – производителям аппаратуры. То, что хорошо оператору (насыщенная абонентами сеть), для производителя – смерть, поскольку падает потребность в аппаратуре. Возникает опасение, что вся шумиха, в частности вокруг UMTS, – во многом искусственна. Иными словами, готовность рынка принять данную технологию призрачна, и этот призрак активно пытаются материализовать. Этот тезис подтверждают недавние события во Франции, где на *четыре* 3G-лицензии нашлось *два* оператора-претендента, и это при “умеренной” цене лицензии – около 4,5 млрд. долл.

Кроме того, технические возможности и пользовательские приложения – вещи разные. Просмотр видеороликов в мчащемся автомобиле потрясает воображение инженера, но нужен ли такой сервис массовому пользователю? Тем более на маленьком экране портативного устройства.

Но с другой стороны, достижения производителей элементной базы для устройств 3G – поистине выдающиеся, что подтвердил прошедший в конце февраля Всемирный конгресс GSM в Каннах. Но это уже другая история...

#### ЛИТЕРАТУРА

1. [www.sotovik.ru/library/statistika\\_world.htm](http://www.sotovik.ru/library/statistika_world.htm)
2. [www.sotovik.ru/ratings/market20010101.htm](http://www.sotovik.ru/ratings/market20010101.htm)

3. **Гольдштейн Б.С.** Сигнализация в сетях связи. Т. 1. – М.: Радио и связь, 1998.
4. **Гольшко А., Морозюк В., Муратов Е.** Вестница связи. – Вестник связи, 2000, № 6.
5. **Невдяев Л.** CDMA: технологии доступа. – Сети, 2000, №6.
6. [www.sotovik.ru/news\\_CDMA.htm](http://www.sotovik.ru/news_CDMA.htm)
7. **Mats Nilson.** Third-generation radio access standards. – Ericsson Review, 1999, № 3.
8. **Christofer Lindheimer, Sara Mazur, Johan Molno, Magnus Waleij.** Third-generation TDMA. – Ericsson Review, 2000, № 2.

#### В Великобритании скоро не будет таксофонов

Впервые более чем за 100 лет своего существования British Telecom заявила о намерении отказаться от расширения сети таксофонов, поскольку по ним звонят всё реже из-за широкого распространения мобильной связи, сообщила ITN. Доходы от 140 тыс. таксофонов за последние два года упали на 37%. Не помогли увеличение British Telecom минимальной стоимости звонка до 20 пенсов и рекламная кампания с целью привлечь абонентов к использованию таксофонов вместо мобильных. Таксофонам все труднее конкурировать с мобильной связью, поскольку тариф Cellnet в выходные дни, например, составляет всего два пенса в минуту.

CNews.ru

## Безопасен ли ваш телефон?

Споры об опасности мобильных телефонов для здоровья идут давно, результаты исследований оказываются противоречивыми. В июне прошлого года Ассоциация производителей оборудования для мобильной связи (CTIA, Cellular Telecommunications Industry Association's) обязала производителей мобильных телефонов указывать в характеристиках телефона параметр SAR (Specific absorption rates), характеризующий удельную мощность поглощения излучения организмом человека. Согласно CTIA, предельно допустимое значение SAR – 1,6 Вт/кг. Телефоны с показателем выше этого значения априори занесены в категорию опасных для здоровья. Однако до сих пор далеко не все производители следуют указаниям CTIA. В таблице – мобильные телефоны с самым высоким и с самым низким значением SAR.

Самые опасные		Самые безопасные	
Модель	SAR	Модель	SAR
Bosch GSM-908	1,59	Motorola v3688	0,02
Philips Geniue	1,52	Motorola StarTac70	0,02
Ericsson LX-588	1,51	Nokia 8850	0,22
Ericsson T28	1,49	Nokia 8810	0,22
NEC DB4000	1,23	Ericsson GA628	0,26
Nokia 3110	1,24	Sony CMD-X1000	0,41
Siemens C35i	1,19	Sony CMD-C1	0,41
Nokia 6210	1,19	Nokia 8890	0,53
Siemens M35i	1,14	Motorola T2288	0,54
Nokia 3210	1,14	Motorola CD930	0,70

CNews.ru

## Синезуб расширяет свое королевство

Группа производителей средств Bluetooth-связи Bluetooth Special Interest Group (SIG) объявила о том, что сейчас она занята разработкой проекта "высокоскоростных" версий спецификации ближней радиосвязи по технологии Bluetooth (второго поколения). Они предусматривают передачу информации со скоростями 2 и 10 Мбит/с. Данный проект спецификаций будет опубликован к концу года. Одновременно группа SIG опубликовала версию 1.1 спецификации Bluetooth.

Как сообщается, 2-Мбит/с версия Bluetooth предназначена в первую очередь для сотовых сетей третьего поколения и для приложений, требующих передачи видео и звука, – например для трансляции изображений с цифровых камер или для создания Bluetooth-сетей, альтернативных беспроводным ЛС на базе протокола 802.11. Ну а 10-Мбит версия Bluetooth должна стимулировать разработку нового поколения приложений. По оценкам Intel, к 2005 году средствами Bluetooth-

связи будут комплектоваться 80% всех выпускаемых в мире ноутбуков.

В то же время на конференции Wireless Portable Symposium & Exhibition корпорация IBM сообщила о разработке прототипа наручных часов, оснащенных средствами ближней радиосвязи по стандарту Bluetooth. Часы работают под управлением ОС Linux и оснащены светодиодным дисплеем с разрешением VGA.

Этот прототип представляет собой лабораторный образец, и пока не ясно, доведет ли его IBM до промышленного производства. Однако специалисты IBM убеждены, что мир неизбежно будет двигаться в направлении создания новых компьютерно-коммуникационных устройств, объединяющих в себе самые разные функции: видеотелефонов, автомобильных ПК, Web-планшетов и т.д. Но только некоторые из них найдут высокий спрос на рынке.

Россия-Он-Лайн

## Умер Клод Шеннон

24 февраля в доме для престарелых в Медфорде (шт. Массачусетс) от болезни Альцгеймера на 85-м году жизни скончался выдающийся ученый 20 века Клод Элвуд Шеннон. Его называют отцом современной цифровой связи и теории информации. Еще в 1948 году он опубликовал свой фундаментальный труд "Математическая теория связи", годом позже – не менее знаменитую работу "Теория связи в секретных системах" (Communication Theory of Secrecy Systems). Шеннон первым применил аппарат булевой алгебры для описания электрических схем, ввел понятие энтропии как меры количества информации, построил теорию пропускной способности канала связи.

Каждый по крайней мере слышал о знаменитой теореме Шеннона, устанавливающей связь между уровнем шума в канале, шириной полосы пропускания и скоростью передачи данных без ошибок:  $V = F \cdot \log_2(1 + S/N)$ , где  $V$  – скорость передачи, бит/с;  $F$  – ширина полосы, Гц;  $S/N$  – отношение сигнал/шум. Именно работы Шеннона позволяют нам использовать 0 и 1 при анализе схем и сигналов, измерять емкость канала в битах в секунду, оценивать криптоустойчивость кода на основе соотношения длины сообщения и ключа.

Клод Шеннон родился 30 апреля 1916 года в городе Петоски штата Мичиган. Детство его прошло в городе Гейлорд. В 1936 году он получил степени бакалавра математики и электротехники Мичиганского университета, в 1940 – степени доктора электротехники и доктора философии (PhD) по математике в

Массачусетском технологическом институте (МТИ). Именно совокупность математического и электротехнического образования позволили ученому добиться столь выдающихся результатов. Почетным профессором в отставке МТИ Шеннон оставался до конца жизни, будучи профессором этого института с 1958 по 1978 год. С 1941 по 1972 год Клод Шеннон работал в знаменитых Bell Laboratories.

Хотя с 60-х годов Шеннон не сделал практически ничего нового для теории связи, он остался одним из немногих людей, определивших облик современной науки. Когда в 1985 году Клод Шеннон неожиданно посетил международный симпозиум по теории информации, выстроившиеся в длинную очередь за автографом ученые говорили, что их чувства можно сравнить с чувствами физиков, на конференцию которых явился бы Исаак Ньютон.

Будучи необычайно разносторонним человеком, Шеннон занимался массой задач – от конструирования мышки, находящей путь в лабиринте, и машины, складывающей кубик Рубика, до машины для жонглирования. Он построил играющий в шахматы компьютер на год раньше появления знаменитого Deep Blue фирмы IBM. Сотрудникам Bell Laboratories Клод Шеннон запомнился разьежающим по холлу на одноколесном велосипеде и жонглирующим при этом тремя шариками. Клод Шеннон дожил до эпохи, облик которой определили и его работы.

По материалам МТИ ([www.mti.edu](http://www.mti.edu))