**2.2. Основные характеристики системы сотовой связи CDMA**

**2.2.1. История CDMA**

CDMA (Code Division Multiple Access) — технология многостанционного доступа с кодовым разделением каналов. Компанией Qualcomm разработан проект стандарта IS-95 в 1991 г. Технология сотовой системы подвижной радиосвязи, в которой используется многостанционный доступ с кодовым разделением каналов CDMA была разработана и предложена для коммерческого применения компанией Qualcomm (США). Стандарт CDMA был разработан в 1993 году. Эксплуатация первой коммерческой сети сотовой подвижной связи на базе технологии  CDMA (IS-95) была начата компанией Hutchison Telephone (Гонконг) в сентябре 1995 года.

Стандарт CDMA является цифровым стандартом. Многостанционный доступ с кодовым разделением означает, что несколько абонентов могут пользоваться один пулом радиоканалов, не пересекаясь в разговоре благодаря кодовому разделению каналов. CDMA обеспечивает высокое качество связи, высокую конфиденциальность разговоров, низкий уровень шумов одновременно с низкой мощностью излучения передатчиков. Емкость сети CDMA в десятки раз выше, чем у любых аналоговых или цифровых стандартов благодаря возможности многократного использования полосы пропускания сети. CDMA позволяет одновременно с разговором принимать и отправлять факсимильные сообщения и данные. Диапазон частот, в котором работает стандарт CDMA IS-95 лежит около 800 МГц, CDMA PCS — 1900 МГц. В стандарте IS-95A при трехсекторной конфигурации базовых станций (БС) может быть организовано от 60 до 100 одновременно работающих каналов голосовой связи со скоростью 9,6 кбит/с в полосе частот радиоканала 1,25 МГц. С точки зрения нынешней классификации технологий сотовой подвижной связи, стандарт IS-95B относится к поколению 2,5G, т. е. по скорости передачи данных до 115 кбит/с он стоит выше, чем стандарты 2G, но не обеспечивает скорость передачи данных от 144 кбит/с, которая относится к системам сотовой связи третьего поколения (3G). Первая сеть стандарта IS-95B была запущена в сентябре 1999 года в Южной Корее. Такой вариант построения радиосети с асимметричным трафиком по линии вниз (БС-МС) до 1 Мбит/с и по линии вверх (МС-БС) до 14,4 кбит/с хорошо согласуется с требованиями сети Интернет и других сетей передачи данных. В настоящее время семейство основанных технологий, на стандартах CDMA IS-95 получили название cdmaOne и включают стандарты IS-95A и IS-95B (cdmaOne = IS-95A + IS-95B). В связи с бурным развитием семейства стандартов третьего поколения cdma2000, стратегия перехода действующих сетей cdmaOne к сетям 3G предполагает их прямой переход к системам cdma2000 3G1X с последующим переходом к высокоскоростным стандартам cdma2000 1X EV-DO , cdma2000 1X EV-DV и cdma2000 3X.

**2.2.2. Услуги, обеспечиваемые системой CDMA**

Главным достоинством сетей CDMA является очень высокое качество передачи речи, а это, согласитесь, главная услуга всех телефонных сетей. Речь в системе CDMA преобразуется в цифровой поток посредством специального вокодера с переменной в зависимости от интенсивности речи скоростью. Это позволяет экономно использовать пропускную способность радиотракта. То есть, пока вы молчите, ресурс радиоканала может использовать другой абонент, тоже разговаривающий в настоящий момент. В системах стандарта IS-95 используются вокодеры с максимальными скоростями передачи 8 кбит/с и 13 кбит/с. Соответственно может осуществляться и передача данных со скоростями соответственно 9,6 кбит/с и 14,4 кбит/с.

И, конечно, законный интерес вызывают способы доступа в сеть Internet через сотовые сети IS-95. Разумеется, абонент сети CDMA может одновременно разговаривать по сотовому телефону и работать на подключенном к нему компьютере в Internet. Среди существующих сегодня стандартов для мобильной связи наилучшие позиции здесь именно у IS-95 вследствие обеспечения самой большой скорости доступа (14,4 кбит/с). И компании-производители обещают в скором времени увеличить и эту скорость (благо в «общей трубе» радиоканала CDMA можно перераспределять ресурс, выделенный каждому абоненту). Конечно, абоненты смогут обмениваться факсимильными сообщениями и общаться по электронной почте. А в обозримом будущем ожидается появление скоростей передачи 64 кбит/с и даже 144 кбит/с. Что же касается различных услуг, которые предоставляются абонентам цифровых сотовых сетей, то они, конечно, возможны и в стандарте CDMA.

Стандарт CDMA предусматривает наличие следующих дополнительных услуг:

* Передача коротких сообщений (SMS)
* Цифровая голосовая почта
* Автоматическое определение номера
* Режим ожидания вызова
* Трехсторонняя конференц-связь
* Переадресация вызова в случае его неуспешного завершения
* Сокращенный набор номера
* Блокировка и фильтрация вызовов
* Пакетная передача данных
* Активация радиотелефона через радиоинтерфейс
* Изменение профиля услуг через радиоинтерфейс
* Одновременная передача голосовых сообщений и данных/пакетов данных
* Передача цифровых факсимильных сообщений (цифровой факс)
* Видео-услуги с высоким разрешением в дополнение к передаче речи/факса

Все дополнительные услуги определяются сетевым коммутационным оборудованием (контроллером или центром коммутации) и не зависят от типа используемого радиоинтерфейса.

**2.2.3. Общая характеристика стандарта CDMA**

Сотовая система подвижной радиосвязи общего пользования стандарта IS-95 с кодовым разделением каналов CDMA (Code Division Multiple Access) впервые была разработана фирмой Qualcomm (США). Основная цель разработки состояла в том, чтобы увеличить емкость системы сотовой связи по сравнению с аналоговой не менее, чем на порядок и, соответственно, увеличить эффективность использования выделенного спектра частот. Технические требования к системе CDMA сформированы в ряде стандартов Ассоциации промышленности связи (TIA) Telecommunications Indastry Association :

* IS-95 - CDMA-радиоинтерфейс
* IS-96 - CDMA-речевые службы
* IS-97 - CDMA-подвижная станция
* IS-98 - CDMA-базовая станция
* IS-99 - CDMA-службы передачи данных.

Система CDMA IS-95 фирмы Qualcomm рассчитана на работу в диапазоне частот 800 МГц, выделенном для сотовых систем стандартов AMPS, N-AMPS и D-AMPS. Система CDMA IS-95 даёт возможность каждому пользователю внутри соты использовать тот же самый радиоканал и всю выделенную полосу частот. Пользователь в смежной соте использует эту же полосу частот. Вместо разделения спектра или временных слотов (как в других технологиях ССС), каждому пользователю назначается фрагмент шумоподобной несущей. Поскольку её фрагменты являются квазиортогональными, возникает возможность отвести всю ширину выделенного канала для каждого пользователя. Благодаря решению проблемы *ближней-дальней зоны* и динамическому управлению мощностью вся полоса частот 1,25 МГц используется каждым пользователем и она же вновь используется в смежной соте. Емкость на одну соту определяется балансом между требуемым отношением сигнал/шум для каждого пользователя и фактором сжатия кодовой последовательности. Таким образом, система абсолютно не нуждается в частотном планировании. Для уменьшения затрат операторов подвижной связи и облегчения перехода от AMPS к CDMA в системе CDMA предусмотрена ширина канала (1,25 МГц), такая же, как и у AMPS. В отличие от других сотовых систем, трафик одного канала не является постоянной величиной и зависит от голосовой активности и требований, предъявляемых к сети. Безопасность или конфиденциальность является свойством технологии CDMA, поэтому во многих случаях операторам сотовых сетей не потребуется специального оборудования шифрования сообщений.

Система CDMA Qualcomm построена по методу прямого расширения спектра частот на основе использования последовательностей 64 видов , сформированных по закону функций Уолша. Для передачи речевых сообщений выбрано речепреобразующее устройство с алгоритмом CELP со скоростью преобразования 8000 бит/с (9600 бит/с в канале). Возможны режимы работы на скоростях 4800, 2400 и 1200 бит/с. В каналах системы CDMA применяется сверточное кодирование со скоростью 1/2 (в каналах от базовой станции) и 1/3 (в каналах от подвижной станции), декодер Витерби с мягким решением, перемежение передаваемых сообщений. Общая полоса канала связи составляет 1,25 МГц. Основные характеристики стандарта CDMA Qualcomm и технические параметры оборудования сетей приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Основные характеристики стандарта CDMA

|  |  |
| --- | --- |
| **Технические параметры оборудования сетей CDMA** | **Значение параметров** |
| Диапазон частот передачи MS | 824,040 - 848,860 МГц |
| Диапазон частот передачи BTS | 869,040 - 893,970 МГц |
| Относительная нестабильность несущей частоты BTS | ±5\*10-8 |
| Относительная нестабильность несущей частоты MS | ±2,5\*10-6 |
| Вид модуляции несущей частоты | QPSK (BTS), O-QPSK (MS) |
| Ширина спектра излучаемого сигнала:  по уровню минус 3 дБ по уровню минус 40 дБ | 1,25 МГц 1,50 МГц |
| Метод расширения спектра | DSSS-CDMA |
| Тактовая частота ПСП | 1,2288 МГц |
| Количество элементов в ПСП для: BTSMS | 32768 бит242- 1 бит |
| Количество каналов BTS на одной несущей частоте | 1 пилот-канал, 1 канал сигнализации, 7 каналов персонального вызова,55 каналов связи |
| Количество каналов MS | 1 канал доступа, 1 канал связи |
| Скорость передачи данных: в канале синхронизации, в канале перс. вызова и доступа, в каналах связи. | 1200 бит/с 9600,4800 бит/с 9600, 4800, 2400, 1200 бит/с |
| Кодирование в каналах передачи BTS (канал синх., перс. вызова, связи) | сверточный код г = 1/2, длина кодового ограничителя К=9 |
| Кодирование в каналах передачи MS | сверточный код г = 1/3, К=9 ,64-ичное кодирование ортогональными сигналами на основе ф-ций Уолша |
| Требуемое для приема отношение энергии бита информации к спектральной плотности шума (Eo/No) | 6-7 дБ |
| Максимальная эффективная излучаемая мощность BTS | до 50 Вт |
| Максимальная эффективная излучаемая мощность MS: 1 класс, 2 класс,3 класс | 6,3 Вт,2,5 Вт , 1,0 Вт |
| Точность управления мощностью передатчика MS | ±0,5 дБ |

Алгоритм CELP (Code-Excited Linear Prediction) – линейное предсказание с кодовым возбуждением. Новый тип вокодера, использующий алгебраическое кодирование данных, полученных на основе линейного предсказания.

Ортогональные функции Уолша – набор функций, которые составляют ортонормальный базис для анализа Уолша. В них используются только значения +1 и –1, а определены они на множестве двух точек при некотором числе n. При использовании этих функций при кодировании величина = 1 обычно представляется как «0», а –1 – как «1».

Квазиортогональные ПСП – псевдослучайные последовательности символов, имеющие “хорошие” корреляционные свойства и, прежде всего, малые значения взаимокорреляционной функции. Псевдослучайной последовательностью называют кажущуюся случайной последовательность символов, которая, в принципе, не может быть случайной, но вместе с тем способна демонстрировать ряд проявлений случайности в любой необходимой степени.

**2.2.4. Архитектура сети CDMA**

На рис.2.7. приведена структурная схема сети сотовой подвиж­ной радиосвязи CDMA, как и другие системы 2-го поколения, является структурой с распределенным управлением, состоящей из 4 подсистем.

* **Мобильная станция (MS-Mobile Station)**

Отдельную подсистему образуют мобильная станция (MS) состоит из подвижной аппаратуры (терминал) и SIM карты.

**BTS**

**BTS**

**BTS**

**BSC**

**TRAU**

**MSC**

**GMSC**

**другие PLMN**

**PSTNТфОП**

**ISDN**

**ЦСИУ**

**PSDN**

**NSS**

**OSS**

**BSS**

**MS**

**MS**

**MS**

**OMC**

**NMC**

**ADC**

**Um**

**Abis**

**SS7**

**SDU**

**BTS**

**BTS**

**BTS**

**BSC**

**TRAU**

**MS**

**MS**

**MS**

**Um**

**Abis**

**SDU**

**A2**

**A3/A7**

**A1**

**VLR**

**HLR/AuC**

**DB**

**A5**

MS (Mobile Station- Мобильная станция);BSS(Base Station System - Подсистема базовых станций);

BTS (Base Transceiver Station - Базовая приемопередающая станция);

BSC (Base Station Controller - Контроллер базовых станций);

SDU (Selection/Distribution Unit- устройства выбора/распределения контроллера базовой станции).

TRAU (Transcoder and Rate Adaptation Unit - Транскодер);

PSTN (Public Switched Telephone Network - Телефонная сеть общего пользования);

ISDN (Integrated Services Digital Network - цифровые сети с интегральными услугами);

PSDN (Packet Switched data Networks - сети передачи данных);

PLMN (Public Land Mobile Network - Мобильная сеть связи общего пользования);

NSS (Network Services and Switching Subsystem-Подсистема коммутации);

MSC (Mobile Services Switching Center- центр коммутации подвижной связи); GMSC (Gateway MSC - шлюз);

HLR (Home Location Register - адресный регистр); VLR (Visitor Location Register - визитный регистр);

АuС (Authentication Center - центра аутентификации); DB (Data Base – База данных);

OSS (Operation Susbsystem - Подсистема управления и обслуживания) ;

ADC (Administration Center - Административный центр);

ОМС (Operation *&* Maintenance Center - Центр управления и обслуживания);

NMC(Network Management Center - Центр управления сетью).

**Рис.2.7.** Архитектура сети и интерфейсы CDMA

* **Подсистема базовых станций** BSS (Base Station Subsystem), состоит из контроллера базовых станций BSC (Base Station Controller), приемопередающих базовых станций BTS (Base Transceiver Station), устройства оценки качества и выбора блоков (SDU — Selector Unit). Кроме того, для реализации процедуры мягкого переключения между базовыми станциями, управляемы­ми разными BSC, вводятся линии передачи между SDU и BSC и транскодера TRAU (Transcoder and Rate Adaptation Unit).

**BTS** принимает и передает радиосигналы и устанавливает соединения между сетью мобильной связи и MS.

**BSC** выполняет следующие функции:

* Контролирует BTS и управляет ими;
* Устанавливает и освобождает соединения;
* Обеспечивает управление мощностью;
* Управляет радиоресурсами;
* Выполняет хэндовер для обеспечения установления надежных соединений.

**SDU -** устройство выбора/распределения контроллера базовой станции предназначено для оценки качества и выбора блоков.

**Транскодер** производит кодирование со сжатием речевых сигналов, их декодирование, упорядочение скоростей при передаче данных.

* **Подсистема коммутации** NSS (Network Services and Switching Subsystem) состоит из одного или нескольких центров коммутации подвижной связи MSC (Mobile Services Switching Center) и баз данных:
* адресного регистра HLR (Home Location Register);
* центра аутентификации АuС (Authentication Center);
* визитного регистра VLR (Visitor Location Register);

и шлюзов GMSC (Gateway MSC).

**MSC** представляет собой центр программного коммутатора (softswitch) в сети CDMA, который включает в себя базу данных VLR и выполняет следующие функции:

* Управление вызовами;
* Распределение ресурсов;
* Обработка сигнализации;
* Маршрутизация;
* Авторизация;
* Тарификация.

MSC обеспечивает базовые услуги связи, функции управления мобильностью и предоставляет абонентам мультимедийные услуги.

**VLR** представляет собой динамическую базу абонентских данных, в которой хранится информация об абонентах (вся основная информация, необходимая для установления соединений), находящихся в данное время в зоне обслуживания его MSC.

**HLR** представляет собой базу данных, предназначенную для управления мобильными абонентами, в которой хранится следующая информация:

* Данные об абонентах;
* Информация о состоянии абонентов;
* Информация о местоположении MS;

**AC** предназначен для управления данными, необходимыми для аутентификации абонентов, и физически интегрирован в HLR.

**GMSC** запрашивает маршрутную информацию вызываемого абонента и обеспечивает взаимодействие и взаиморасчеты между сетями.

* **Подсистема управления и обслуживания OSS** (Operation Susbsystem) состоит из трех центров. Центр управления и обслуживания **ОМС** (Operation *&* Maintenance Center) собирает и обрабатывает информацию о работе всех функциональных узлов сети, организует профилактические и ремонтные работы. Центр управления сетью **NMC**(Network Management Center) решает общие задачи развития, планирования и управления сетью. Административный центр **ADC** (Administration Center) по сути дела представляет директорат компании со всеми коммерческими и техническими подразделениями.

**2.2.5. Интерфейсы сети CDMA**

Интерфейсы сети CDMA показаны на рис. 2.7.

* $U\_{m}$**-радиоинтерфейс**. Интерфейс между MS и BTS.
* $A\_{bis}$**-интерфейс.** Интерфейс между BSC и SDU служит для связи BSC с BTS.
* **A1/A2/A5** - Интерфейс между MSC и BSC.

**A1 Интерфейс**. A1 обеспечивает обмен сигнальной информацией между элементами коммутатора, выполняющими функции управления вызовами и управляющими элементами контроллера базовых станций. **A2 Интерфейс.** A2 передаёт информацию с ИКМ (PCM) (64/56 кбит/с) либо с неопределённой цифровой информацией 64 кбит/с (для ISDN) между коммутирующими элементами центра коммутации и устройства выбора/распределения контроллера базовой станции (функция контроллера базовой станции SDU-Selection/Distribution Unit). **A5 Интерфейс.** A5 переносит полнодуплексный поток данных между центром коммутации и функцией SDU контроллера базовых станций.

* **A3/A7** - Интерфейс между двумя BSC.

**A3 Интерфейс**. A3 передаёт закодированную пользовательскую информацию (голос/данные) и сигнальную информацию между контроллером исходной базовой станцией (функция SDU) и контроллером базовой станцией назначения. **A7 Интерфейс.** A7 переносит информацию сигнализации между исходной базовой станцией и базовой станции назначения.

**2.2.6. Каналы трафика и управления в сети CDMA**

В CDMA *каналы для передачи от базовой станции к мобильной станции* на­зываются *прямыми (forward). Каналы* для *приема информации от мобильной станции к базовой станции* называются *обратными (reverse)*. Для обратного канала стандарт IS-95 определяет полосу частот от 824 до 849 МГц. Для прямого канала — 869...894 МГц. Прямой и обратный кана­лы разделены интервалом в 45 МГц. Пользовательские данные упакованы и передаются в канале со скоростью 1,2288 Мчип/с. Пропускная способ­ность прямого канала — 128 телефонных соединений со скоростью трафи­ка 9,6 кбит/с. Состав каналов в системе CDMA стандарта IS-95 показан на рис. 2.8.



**Рис.2.8.** Каналы трафика и управления сети CDMA

Используются различные типы модуляции для прямого и обратного кана­лов. В *прямом канале* базовая станция передает одновременно данные для всех пользователей, находящихся в соте, используя для разделения каналов различные кодовые комбинации для каждого пользователя.

Также передается *пилотный сигнал,* который имеет высокий уровень мощности и обеспечивает пользователей возможностью синхронизировать частоты. *В обратном* на­правлении подвижные станции отвечают асинхронно (без использования пи­лотного сигнала), при этом уровень мощности, приходящий к базовой стан­ции от каждой подвижной станции, одинаков. Такой режим возможен благо­даря контролю мощности и управлению мощностью мобильных станций по специальному служебному каналу.

* **Состав прямых каналов**

Данные в прямом канале трафика группируются в кадр длительностью 20 мс. Пользовательские данные после предварительного кодирования и форматирования перемежаются с целью регулирования текущей скорости передачи данных, которая может изменяться. Затем спектр сигнала расширя­ется путем увеличения скорости исходного сигнала.

Это осуществляется перемножением исходного сигнала на одну из 64 псевдослучайных последова­тельностей (на основе функций Уолша), у которых скорость передачи равна 1,2288 Мбит/с. Каждому мобильному абоненту назначается ПСП, с помощью которой его данные будут отделены от данных других абонентов. Ортого­нальность фрагментов ПСП обеспечивается одновременной синхронной ко­дировкой всех каналов в соте (т.е используемые в каждый момент времени ПСП являются ортогональными).

Как уже упоминалось, в системе передается пилотный сигнал (код) для того, чтобы мобильный терминал мог управлять характеристиками канала, принимать временные метки, обеспечивая фазовую синхронизацию для коге­рентного детектирования. Для глобальной синхронизации сети в системе ис­пользуются также радиометки от спутников системы глобального позицио­нирования GPS.

Рассмотрим типы прямых каналов.

***Пилотный канал (PICH — Pilot Channel)***предназначен для установления начальной синхронизации, контроля уровня сигнала базовой станции по вре­мени, частоте и фазе, идентификации базовой станции.

***Канал синхронизации (SCH* — *Synchronizing Channel)***обеспечивает под­держание уровня излучения пилотного сигнала, а также фазу псевдослучай­ной последовательности базовой станции. Канал синхронизации передает синхросигналы мобильным терминалам со скоростью 1200 бод.

***Широковещательный канал коротких сообщений, канал вызова (PCH — Paging Channel)***используется для вызова мобильной станции. Количество каналов — до 7 на соту. После приема сигнала вызова мобильная станция пе­редает сигнал подтверждения на базовую станцию. После этого по каналу широковещательного вызова на подвижную станцию передается информация об установлении соединения и назначении канала связи. Работает со скоро­стью 9600, 4800, 2400 бод.

***Канал прямого трафика (FTCH — Forward Traffic Channel)***предназначен для передачи речевых сообщений и данных, а также управляющей информа­ции с базовой станции на мобильную станцию, передает любые пользовательские дан­ные. Для предоставления различных услуг связи в CDMAиспользуются два типа каналов. Первый из них называется *основным,* а второй — *дополнитель­ным.* Услуги, предоставляемые через эту пару каналов, зависят от схемы ор­ганизации связи.

Каналы могут быть адаптированы для определенного вида обслуживания и работать с разными размерами кадра, используя любое зна­чение скорости из двух скоростных рядов: RS-1 (1200, 2400, 4800 и 9600 бит/с) или RS-2 (1800, 3600, 7200 и 14400 бит/с). Определение и выбор скоро­сти приема осуществляются автоматически.

Каждому логическому каналу назначается своя последовательность Уолша, как это указано на рис. 2.9.

Всего в одном физическом канале может быть 64 логических канала, т.к. последовательностей Уолша, которым ста­вятся в соответствие логические каналы, всего 64, каждая из которых имеет длину 64 бита. Из всех 64 каналов:

* на 1-й канал назначается первая последовательность Уолша (W0), кото­рой соответствует пилотный канал;
* на следующий канал назначается тридцать вторая последовательность Уолша (W32), следующим семи каналам так же назначаются свои по­следовательности Уолша (W1,W2,W3,W4,W5,W6,W7), которым со­ответствуют каналы вызова;

-55 каналов предназначены для передачи данных по каналу прямого трафика.



**Рис.2.9.** Структура прямых каналов

* **Состав обратных каналов**

как это указано на рис. 2.10. К обратным каналам относятся:

***Канал доступа (ACH* —*Access Channel)***обеспечивает связь подвижной станции с базовой, когда подвижная станция еще не использует канал трафи­ка. Канал доступа используется для установления вызовов и ответов на со­общения, передаваемые по каналу вызова (PCH), команды и запросы на реги­страцию в сети. Каналы доступа совмещаются (объединяются) с каналами вызова.

***Канал обратного трафика (RTCH —Reverse Traffic Channel)***обеспечива­ет передачу речевых сообщений и управляющей информации с мобильной на базовую станцию.



 **Рис.2.10.** Структура обратных каналов