

Занятие № 28. “Технологии построения сотовых сетей связи с МДКР”

Особым стандартом среди ССПС второго поколения, не имеющим аналогов в первом поколении является стандарт IS-95 или, как его чаще именуют CDMA – по типу используемого метода множественного доступа с кодовым разделением каналов. Основателем и разработчиком данного стандарта является фирма Qualcomm. Данный стандарт является прообразом основных технологий, предполагаемых в качестве базовых для построения СПР третьего поколения, поэтому его иногда считают уже реализованным представителем данного третьего поколения.

В отличие от других цифровых систем, которые делят отведенный диапазон на узкополосные каналы, различаемые по частотному (FDMA) или временному (TDMA) признаку, в стандарте CDMA IS-95 передаваемую информацию кодируют и преобразуют в широкополосный шумоподобный сигнал таким образом, чтобы его можно было выделить, только располагая таким же кодом на приемной стороне. При этом одновременно в широкой полосе частот можно передавать и принимать множество сигналов, которые не мешают друг другу.

Центральными понятиями метода многостанционного доступа с кодовым разделением каналов являются: в расширении спектра сигналов методом прямой последовательности (DSSS); борьбе с многолучевостью; управлении мощностью сигналов; использовании ортогональных кодов Уолша (Walsh Coding); реализации «мягкой» эстафетной передачи.

Широкополосной называется система, которая передает сигнал, занимающий полосу частот, значительно превосходящую ту минимальную ширину полосы частот, которая фактически требуется для передачи информации. В широкополосной системе исходный модулирующий сигнал (например, сигнал телефонного канала) с полосой всего несколько кГц распределяют в полосе частот, ширина которой может быть несколько МГц. Последнее осуществляется путем двойной модуляции несущей передаваемым информационным сигналом и широкополосным кодирующим сигналом.

Основной характеристикой широкополосного сигнала является его база B , определяемая как произведение ширины спектра сигнала F на его период T . В результате перемножения сигнала источника псевдослучайного шума с информационным сигналом энергия последнего распределяется в широкой полосе частот, т. е. его спектр расширяется.

Метод широкополосной передачи основан на работах К.Е. Шеннона, который первым ввел понятие пропускной способности канала и установил связь между возможностью осуществления безошибочной передачи информации по каналу с заданным отношением сигнал/шум и полосой частот, отведенной для передачи информации. Для любого заданного отношения сигнал/шум малая частота ошибок при передаче достигается при увеличении полосы частот, отводимой для передачи информации.

Следует отметить, что сама информация может быть введена в широкополосный сигнал несколькими способами. Наиболее известный способ заключается в наложении информации на широкополосную модулирующую кодовую последовательность перед модуляцией несущей для получения широкополосного шумоподобного сигнала ШПС (рис. 1). Узкополосный сигнал умножается на псевдослучайную последовательность (ПСП) с периодом T , состоящую из B бит длительностью Δt каждый. В этом случае база ШПС численно равна количеству элементов ПСП.

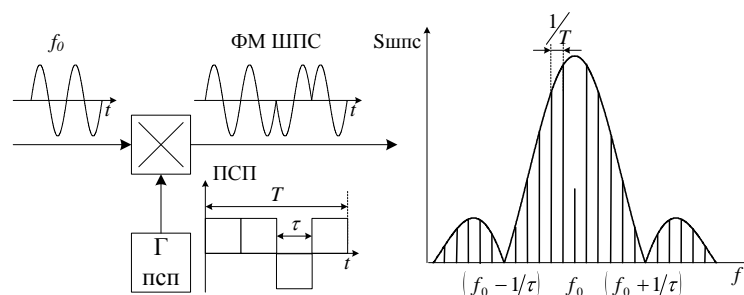


Рис. 1. Пример формирования ФМн ШПС

Этот способ пригоден для любой широкополосной системы, в которой для расширения спектра высокочастотного сигнала применяется цифровая последовательность.

Сущность широкополосной связи состоит в расширении полосы частот сигнала, передаче широкополосного сигнала и выделении из него полезного сигнала путем преобразования спектра принятого широкополосного сигнала в первоначальный спектр информационного сигнала.

Перемножение принятого сигнала и сигнала такого же источника псевдослучайного шума (ПСП), который использовался в передатчике, сжимает спектр полезного сигнала и одновременно расширяет спектр фоновых шумов и других источников интерференционных помех. Результирующий выигрыш в отношении сигнал/шум на выходе приемника есть функция отношения ширины полос широкополосного и базового сигналов: чем больше расширение спектра, тем больше выигрыш. Во временной области — это функция отношения скорости передачи цифрового потока в радиоканале к скорости передачи базового информационного сигнала. Для стандарта IS-95 отношение составляет 128 раз, или 21 дБ. Это позволяет системе работать при уровне интерференционных помех, превышающих уровень полезного сигнала на 18 дБ, так как обработка сигнала на выходе приемника требует превышения уровня сигнала над уровнем помех всего на 3 дБ. В реальных условиях уровень помех значительно меньше. Кроме того, расширение спектра сигнала (до 1,23 МГц) можно рассматривать как применение методов частотного разнесения приема. Сигнал при распространении в радиотракте подвергается замираниям вследствие многолучевого характера распространения. В частотной области это явление можно представить как воздействие режекторного фильтра с изменяющейся шириной полосы режекции (обычно не более чем на 300 кГц). В стандарте AMPS это соответствует подавлению десяти каналов, а в системе CDMA подавляется лишь около 25% спектра сигнала, что не вызывает особых затруднений при восстановлении сигнала в приемнике.

В стандарте CDMA для кодового разделения каналов используются ортогональные коды Уолша. Коды Уолша — одни из немногих ортогональных кодов, которые можно использовать для кодирования и последующего объединения ряда информационных сигналов.

Коды Уолша формируются из строк матрицы Уолша. Особенность этой матрицы состоит в том, что каждая ее строка ортогональна любой другой или строке, полученной с помощью операции логического отрицания. На рис. 2 показаны примеры матриц кодов Уолша 4, 8, 16-го порядка. В стандарте IS-95 используется матрица 64-го порядка. Для выделения сигнала на выходе приемника применяется цифровой фильтр. При ортогональных сигналах фильтр можно настроить таким образом, что на его выходе всегда будет логический «0», за исключением случаев, когда принимается сигнал, на который он настроен. Кодирование по Уолшу применяется в прямом канале

(от базовой станции к абонентскому терминалу) для разделения пользователей.

$$H_4 = \begin{bmatrix} + & + & + & + \\ + & - & - & + \\ + & + & - & - \\ + & - & - & + \end{bmatrix} \quad H_8 = \begin{bmatrix} + & + & + & + & + & + & + & + \\ + & - & - & - & - & - & - & + \\ + & + & - & - & - & + & - & - \\ + & - & - & + & - & - & + & - \\ + & + & + & - & - & - & - & + \\ + & - & - & - & + & - & - & - \\ + & + & - & - & - & + & - & - \\ + & - & - & + & - & - & + & - \end{bmatrix} \quad H_{16} = \begin{bmatrix} + & + & + & + & + & + & + & + & + & + & + & + & + & + & + \\ + & - & - & - & - & - & - & + & - & - & - & - & - & - & + \\ + & + & - & - & - & + & - & - & + & - & - & + & - & - & + \\ + & - & - & + & - & - & + & - & - & + & - & - & + & - & - \\ + & + & + & - & - & - & - & + & - & - & - & - & + & - & - \\ + & - & - & - & + & - & - & - & + & - & - & - & - & + & - \\ + & + & - & - & - & + & - & - & + & - & - & + & - & - & + \\ + & - & - & + & - & - & + & - & - & + & - & - & + & - & - \\ + & + & + & - & - & - & - & + & - & - & - & - & + & - & - \\ + & - & - & - & + & - & - & - & + & - & - & - & - & + & - \\ + & + & - & - & - & + & - & - & + & - & - & + & - & - & + \\ + & - & - & + & - & - & + & - & - & + & - & - & + & - & - \\ + & + & + & - & - & - & - & + & - & - & - & - & + & - & - \\ + & - & - & - & + & - & - & - & + & - & - & - & - & + & - \\ + & + & - & - & - & + & - & - & + & - & - & + & - & - & + \\ + & - & - & + & - & - & + & - & - & + & - & - & + & - & - \end{bmatrix}$$

Рис. 2. Матрицы кодов Уолша 4, 8, 16-го порядка

В системах, использующих стандарт IS-95, все абонентские станции работают одновременно в одной полосе частот. Согласованные фильтры приемников базовой станции квазиоптимальны в условиях взаимной интерференции между абонентами одной соты и весьма чувствительны к эффекту «далеко — близко». Для максимизации абонентской емкости системы необходимо, чтобы терминалы всех абонентов излучали сигнал такой мощности, которая обеспечила бы одинаковый уровень принимаемых базовой станцией сигналов. Чем точнее управление мощностью, тем больше абонентская емкость системы.

На рис. 3 приведена упрощенная структурная схема, поясняющая принцип работы системы стандарта CDMA. Информационный сигнал кодируется по Уолшу, затем смешивается с несущей, спектр которой предварительно расширяется перемножением с сигналом источника псевдослучайного шума (ПСП). Каждому информационному сигналу назначается свой код Уолша, затем они объединяются в передатчике, пропускаются через фильтр, и общий шумоподобный сигнал излучается передающей антенной.

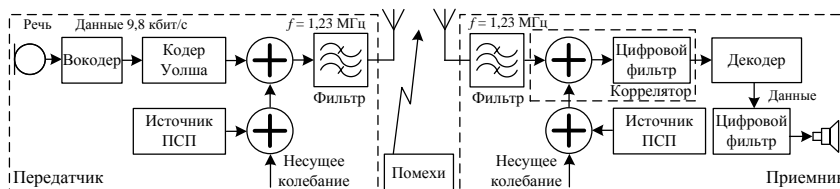
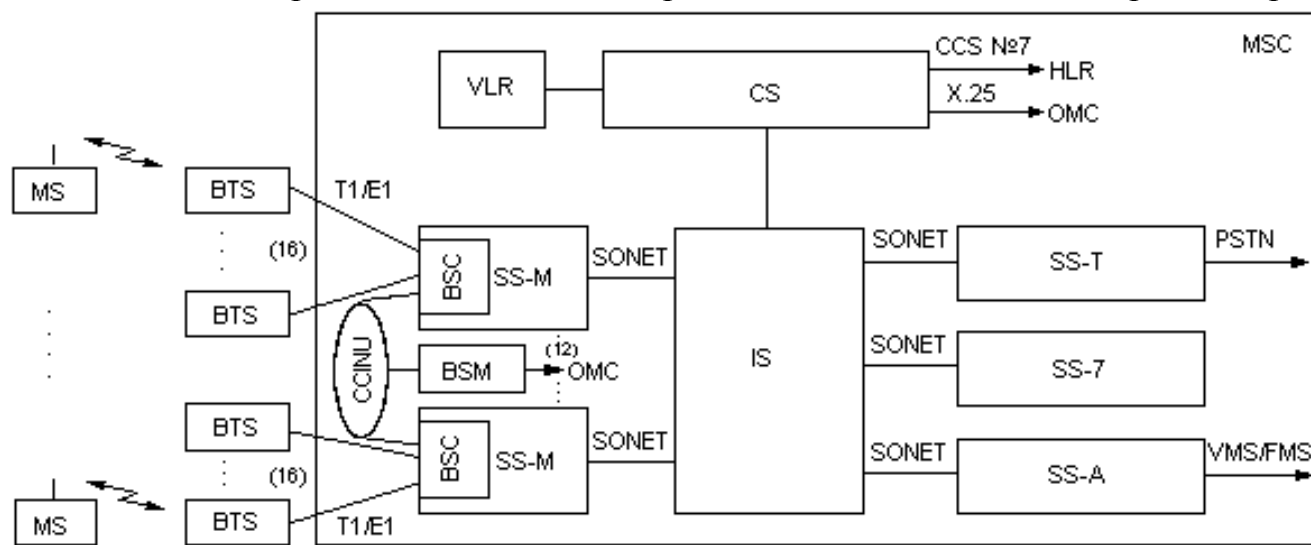


Рис. 3. Упрощенная схема работы радиосвязи в стандарте CDMA

На вход приемника поступают полезный сигнал, фоновый шум, помехи от базовых станций соседних ячеек и от подвижных станций других абонентов. После ВЧ-фильтрации сигнал поступает на коррелятор, где происходит сжатие спектра и выделение полезного сигнала в цифровом фильтре с помощью заданного кода Уолша. Спектр помех расширяется, и они появляются на выходе коррелятора в виде шума. На практике в подвижной станции используется несколько корреляторов для приема сигналов с различным временем распространения в радиотракте или сигналов, передаваемых различными базовыми станциями. В системах, основанных на других методах доступа, необходимо планировать распределение частотного ресурса между соседними ячейками, с тем чтобы предотвратить взаимное влияние сигналов соседних ячеек. В системах, использующих метод CDMA, изменяя синхронизацию источника псевдослучайного шума, можно использовать один и тот же участок полосы частот для работы во всех ячейках сети. Такое 100%-ное использование доступного частотного ресурса — один из основных факторов, определяющих высокую абонентскую емкость сети стандарта CDMA и упрощающих ее организацию. В системах, использующих методы доступа с временным или частотным разделением каналов, абонентская емкость ячейки жестко ограничена и определяется числом

доступных каналов связи или временных интервалов. В противоположность этому системы на базе CDMA имеют динамическую абонентскую емкость. И хотя имеется 64 кода Уолша, этот теоретический предел не достигается в реальных условиях, абонентская емкость системы ограничивается внутрисистемной интерференцией, вызванной одновременной работой подвижных и базовых станций соседних ячеек.

Состав оборудования сетей стандарта CDMA во многом сходен с составом оборудования сетей стандарта GSM и включает в себя подвижные и базовые станции, центральный коммутатор, центр управления и обслуживания, различные дополнительные системы и устройства. Функциональное сопряжение элементов системы осуществляется с помощью ряда интерфейсов. В этом стандарте обеспечивается более высокое качество речи, чем в стандарте GSM, не говоря уже об аналоговых стандартах. Это во многом определяется технологией кодирования речи.



CS - подсистема управления
IS - подсистема внутренней связи
SS-M - подсистема коммутации мобильной связи
SS-T - подсистема коммутации соединительных линий
SS-7 - подсистема коммутации SS №7
SS-A - подсистема коммутации ARS
BSM - управление мобильными станциями
CCINU - центральное внутрисетевое устройство
BSC - контроллер базовой станции

MS - подвижная станция
BTS - базовая станция
MSC - центр коммутации подвижной связи
HLR - регистр положения
VLR - регистр перемещения
OMC - центр управления и обслуживания
PSTN - телефонная сеть общего пользования
VMS - система речевой почты
FMS - система факсимильной связи

В системе CDMA для преобразования аналогового речевого сигнала в цифровой используется вокодер с переменной скоростью кодирования. Важной особенностью вокодера с переменной скоростью кодирования является использование адаптивного порога для определения требуемой скорости кодирования данных. Уровень порога изменяется в соответствии с фоновым шумом. Результатом этого является подавление фона и улучшение качества речи даже в шумной обстановке. Вокодер позволяет подмешивать в речевой канал вторичный трафик, т. е. служебную информацию. При анализе различных решений фиксированного абонентского радиодоступа возникает вопрос о правомерности использования в сети общего пользования технологий, основанных на стандартах подвижной сотовой связи и не использующих точных методов цифрового преобразования речи. Качество речи в системе CDMA, использующей вокодер QCELP, очень близко к качеству речи в проводном канале.

Организация эстафетной передачи

Приемники стандарта CDMA предполагают использование нескольких корреляторов одновременно. Приемник с несколькими каналами приема и обработки сигнала получил название Rake-приемника. Он имеет 4 канала приема. В трех каналах

одновременно обрабатываются три наиболее сильных сигнала (в четвертом канале постоянно осуществляется поиск сигнала с более высоким уровнем). Эти сигналы складываются, и таким образом в системе с кодовым разделением каналов реализуется метод временного разнесения приема. Многолучевое распространение радиосигналов, с которым приходится бороться всем стандартам сотовой связи, в данном случае становится помощником.

При построении фиксированных сетей многолучевые отражения позволяют снизить требования к уровню сигнала, приходящего к абонентской станции. При связи в движении абонентская станция может одновременно принимать и обрабатывать сигналы нескольких базовых станций. Это позволяет осуществлять мягкую эстафетную передачу абонента между базовыми станциями (см. рис. на стр.59 альбома РМ). Преимущество мягкой передачи заключается в том, что исключается возможность потери связи при движении абонента вдоль границы сот. Недостатком такого процесса управления является одновременное использование двух базовых станций. В качестве вывода необходимо отметить, что система CDMA потенциально имеет большую емкость. Кроме того, она позволяет отказаться от частотного планирования сети, хотя при этом предполагает проведение тщательного баланса мощностей излучений станций. Объективное сравнение абонентской емкости систем, использующих различные методы доступа (CDMA, FDMA, TDMA), трудно реализуемо, поскольку для них почти невозможно сделать одинаковые предположения. Большинство сравнений проводятся между системами на разных этапах реализации, но не между системами с различными методами доступа. И несмотря на потенциальные возможности стандарта CDMA, можно ожидать, что при сравнении двух оптимизированных систем, использующих различные методы доступа, их абонентские емкости окажутся приблизительно одинаковыми.

В качестве вывода необходимо отметить, что сети стандарта CDMA потенциально имеют большую абонентскую емкость (пропускную способность). Кроме того, они позволяют отказаться от частотного планирования, хотя при этом предполагается проведение тщательного баланса мощностей излучений станций. Объективное сравнение абонентской емкости систем, использующих различные методы доступа (CDMA, FDMA, TDMA), трудно реализуемо, поскольку для них почти невозможно сделать одинаковые предположения. Большинство сравнений проводится между системами на разных этапах реализации, но не между системами с различными методами доступа. Можно ожидать, что при сравнении двух оптимизированных систем, использующих различные методы доступа, их абонентские емкости окажутся приблизительно одинаковыми. Однако потенциальные возможности стандарта CDMA все же намного превышают возможности других методов доступа и разделения сигналов, поэтому именно подобные стандарты составляют основу технологий построения ССПС следующих поколений 3G–5G.