

Лекция 9. Обработка сигналов в GSM

Цель лекции – изучение процессов обработки речевых сигналов в системе GSM, начиная с преобразования аналогового сигнала в цифровой, и заканчивая шифрованием и передачей данных.

Введение

Ключевым аспектом работы GSM является обработка речевых сигналов, которая включает несколько этапов – от аналого-цифрового преобразования до шифрования и передачи информации.

Эти процессы позволяют оптимизировать качество связи, минимизировать искажения и обеспечивать защиту передаваемой информации. В ходе лекции мы изучим основные этапы обработки речевых сигналов, включая кодирование и канальное кодирование, а также рассмотрим механизмы, которые обеспечивают надежность и безопасность связи в GSM. Понимание этих процессов является важным для разработки и улучшения современных систем связи, а также для повышения их эффективности и надежности.

Виды обработки речевых сигналов

На рис. 9.1 показаны виды обработки речевых сигналов при передаче между МС и БС, с указанием характерных скоростей в точках обработки.

На рисунке присутствуют следующие блоки (этапы) обработки речевого сигнала в тракте передачи МС:

- аналого-цифровое преобразование сигнала от микрофона;
- сегментация, т. е. разделение цифрового потока на сегменты по 20 мс;
- речевое кодирование, предназначенное для сжатия цифровых данных;
- канальное помехоустойчивое кодирование;
- шифрование, т. е. криптозащита цифровых потоков;
- перемежение битов для борьбы с замираниями в радиоканале;
- форматирование пакетов, т. е. сопровождение информационных битов служебными, разделительными, защитными, тренировочными и другими битами.

В тракте приема МС все процедуры взаимнообратны процедурам на передаче, кроме одной: адаптивного выравнивания, понимаемого как квазиоптимальный прием битов в условиях взаимных наложений из-за многолучевости. В трактах приемопередачи БС процедуры обработки аналогичны МС и начинаются с этапа канального кодирования. Специфичен лишь блок транскодер, предназначенный для преобразования информационного потока 64 кб/с во внутренний формат GSM 13 кб/с. При передаче неречевой информации (факсограммы, SMS, иные цифровые данные) цифровые сигналы вводятся в тракт либо перед канальным кодером, либо после него, если помехоустойчивое канальное кодирование выполняется самим источником данных.

Рассмотрим подробнее АЦП, сегментацию и речевое кодирование. Сигнал в полосе передачи преобразуется в дискретный с частотой 8 кГц и затем квантуется с разрядностью 13 бит на отсчет. Таким образом, имеем цифровой поток со скоростью $8 \text{ кГц} \cdot 13 \text{ бит} = 104 \text{ Кбит/с}$. Для сжатия потока с 104 Кбит/с до 13 Кбит/с используется метод линейного предиктивного кодирования с регулярным импульсным возбуждением. В его основе лежит представление, что голосовой тракт человека – фильтр с переменными параметрами, на который воздействует сигнал основного тона для формирования гласных звуков, или шум для формирования

«согласных», шипящих звуков. Для кодирования речи необходимо сохранить информацию об основном тоне и меняющихся во времени параметрах фильтра (коэффициентах). Звуки речи имеют длительность от 5 мс до 300 мс (т. е. коэффициенты фильтра не меняются в эти интервалы, они стационарны).

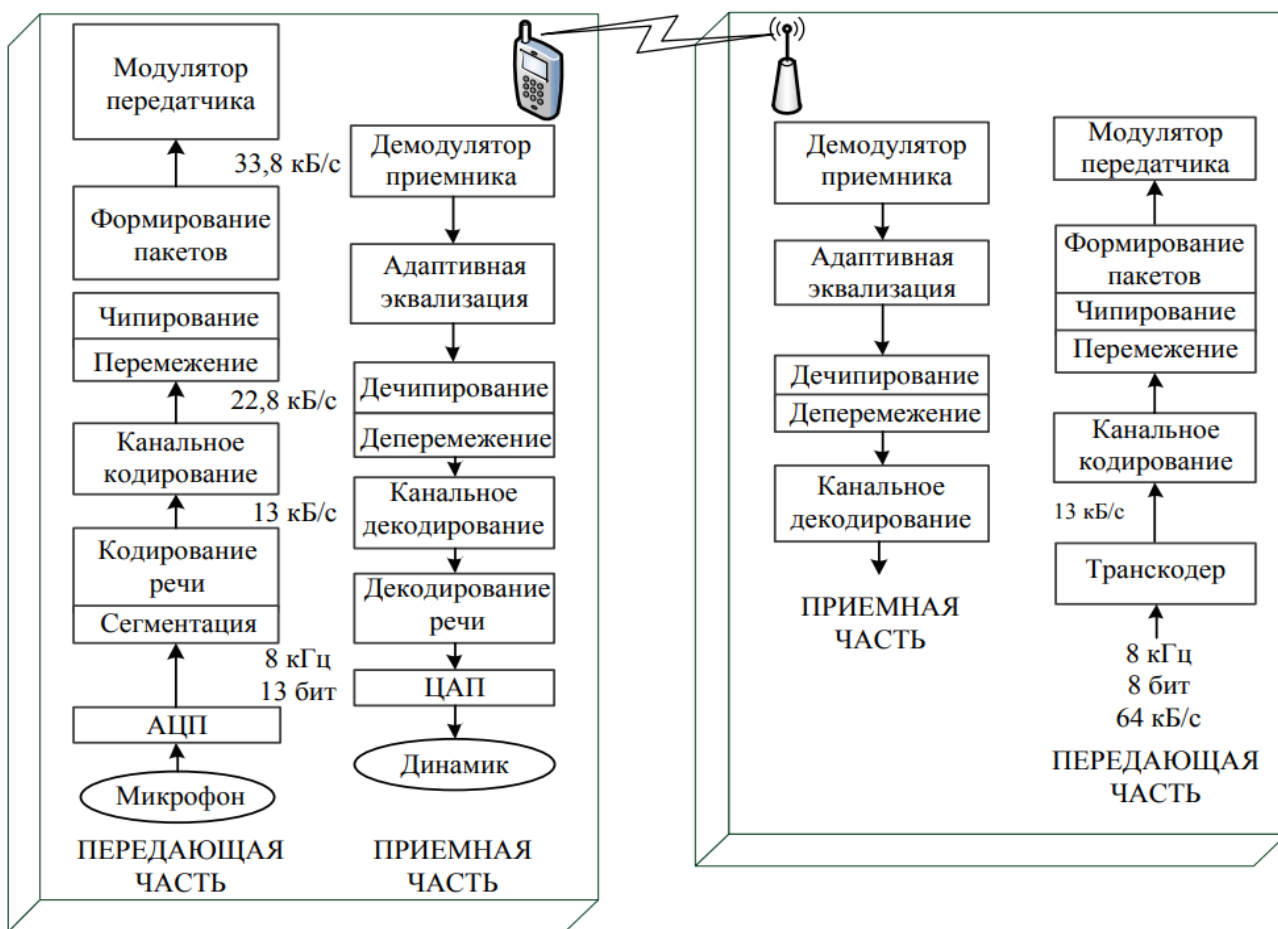


Рисунок 9.1. Схема обработки речевого сигнала в GSM

В GSM интервал сегментации (стационарности) выбран 20 мс. На нем производится вычисление коэффициентов фильтра и параметров основного тона из 160 отсчетов от А/Д. Таким образом, информация о речевом сигнале обновляется 50 раз в секунду. В случае, если абонент молчит, это обнаруживается с помощью детектора активности речи. При этом соответствующие 20 мс сегменты маркируются как пустые, чтобы их могли занимать, например, сигналы GPRS. Способ кодирования, принятый в GSM, обеспечивает сжатие исходного объема бит на 20 мс интервале от значения 2080 бит (160 отсчетов · 13 бит/отсчет) до значения 260 бит. Таким образом, за секунду имеем $50 \cdot 260 \text{ бит} = 13 \text{ Кбит/с}$.

Канальное кодирование. На основе 260 бит за сегмент 20 мс от кодера речи кодер канала формирует 456 бит закодированной информации с внесенной избыточностью. Схема кодирования показана на рис. 9.2.

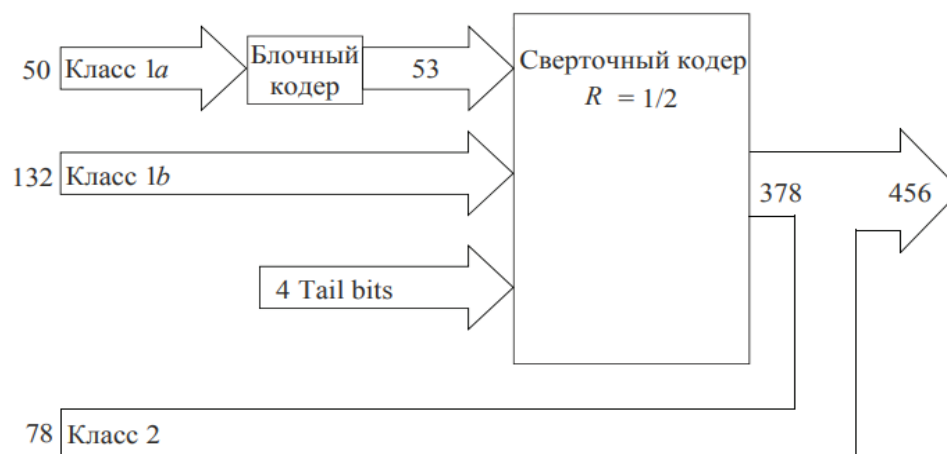


Рисунок 9.2. Схема канального кодирования в GSM

Входные биты разделяются на три блока по степени важности:

- класс 1a (50 бит) – очень важные биты;
- класс 1b (132 бита) – важные биты;
- класс 2 (78 бит) – не так важные биты.

Биты класса 1a проходят дополнительный блочный кодер, увеличивающий их объем до 53 бит. Далее эти биты, биты класса 1b и 4 вспомогательных разделительных бита подаются на сверточный кодер, вдвое увеличивающий объем битов до 378. К результату добавляются 78 битов класса 2. В результате на выходе канального кодера каждые 20 мс формируется 456 бит. Таким образом, образуют поток со скоростью $456 \text{ бит} / 20 \text{ мс} = 22.8 \text{ Кбит/с}$.

Шифрование. Назначение шифрования – закодировать пакет (burst) так, чтобы он был «непонятен» любому другому прибору, кроме оговоренного приемника. Алгоритм шифрования в GSM называется A5. Этот алгоритм не добавляет биты к пакету из 456 бит каждые 20 мс, т. е. сохраняет его размер.

Передача кадров. Временная и частотная структура сигнала GSM приведена на рис. 9.3. В каждом частотном канале в течение кадра передаются поочередно сигналы восьми абонентов, то есть используется и частотное, и временное разделение каналов.

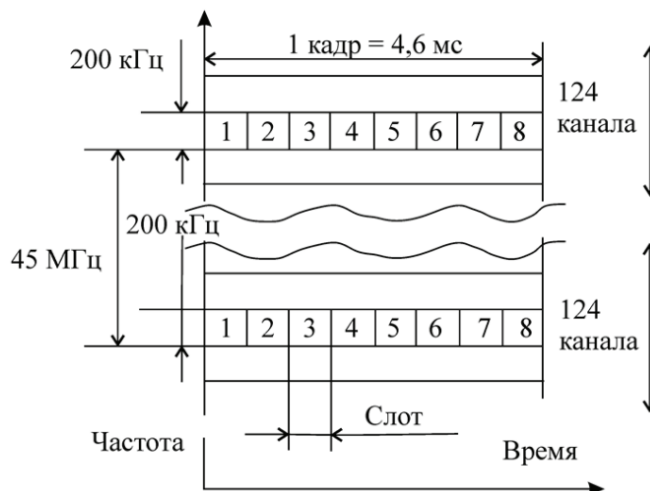


Рисунок 9.3. Временная и частотная структура сигнала GSM

Структура канального интервала стандарта GSM приведена на рис. 9.4.



Рисунок 9.4. Структура канального интервала стандарта GSM

Зашифрованные информационные биты передаются двумя порциями по 57 бит. Настроечная последовательность (известная комбинация битов, разная для каждой ячейки) используется для настройки параметров приемника по получаемому сигналу. В каждом канальном интервале передаются служебные сигналы (синхронизации, управления и т. п.), предусмотрены защитные биты, предохраняющие проникновение сигналов соседних каналов.

Поскольку для борьбы с замираниями в системе GSM используют медленные скачки частоты, то сообщение, передаваемое абоненту в выделенном временном интервале, в каждом кадре передается на другой частоте. После окончания передачи кадра все узлы сети обязаны выдержать технологическую паузу в 9,6 мкс. Эта пауза, называемая также межкадровым интервалом, нужна для приведения сетевых адаптеров в исходное состояние, а также для предотвращения монопольного захвата среды одной станцией. После окончания технологической паузы узлы имеют право начать передачу своего кадра, т. к. среда свободна.

Перемежение блоков. В GSM перемежение (перепутывание) служит для устранения длинных пакетов ошибок при замираниях сигнала. Перемежение включает два уровня:

1 уровень – массив из 456 бит разбивается на 8 кадров по 57 битов в каждом (рис. 9.5).

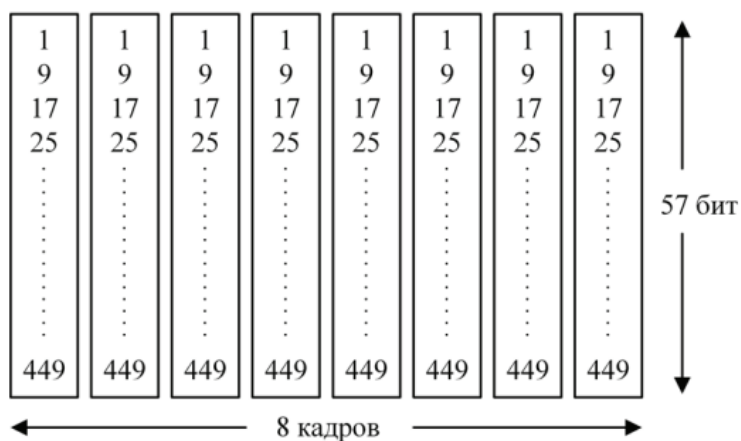


Рисунок 9.5. Первый этап перемежения блоков

Из полученных кадров строится пакет нормального типа (Normalburst, NB), как показано на рис. 9.6. NB состоит из:

- 3 + 3 бита – флаги;
- 1 + 1 бита – разделители полей;

57 + 57 битов – информация;
26 битов – тренировочная последовательность.

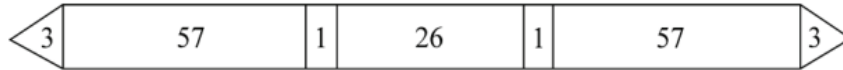


Рисунок 9.6. Формирование нормального пакета NB

При потере одного NB на сегменте 20 мс теряется 25% информации речи, т. к. их четыре штуки на этом интервале.

2 уровень – уменьшаются потери на один пакет вдвое, т.е. до 12,5%.

Для борьбы с частотно-селективными замираниями, помехами и для повышения криптозащищенности радиопередачи применяется изменение частоты передачи абонентского сообщения от кадра к кадру TDMA. Создание модели канала и корректировка сигнала осуществляются с помощью эквалайзера. Спецификации GSM предусматривают, что эквалайзер должен обеспечивать выравнивание импульсных сигналов со среднеквадратическими отклонениями времени задержки до 16 мкс. Работа эквалайзера основана на использовании алгоритма Витерби. В формате передаваемого сигнала предусматривается наличие стандартной кодовой комбинации. На приемном конце принятая кодовая комбинация сравнивается с эталонной, и по результатам сравнения вырабатывается модель канала. После создания модели принятый сигнал корректируется, при этом маловероятные комбинации за счет использования алгоритма Витерби не учитываются для сокращения вычислений. Таким образом, для устранения помех, вызываемых временной дисперсией, необходима передача дополнительной информации, обеспечивающей функционирование эквалайзера. Адаптивная эквализация обеспечивает оптимальный прием в условиях временной дисперсии (интерференции битов) в радиоканале из-за «дальней» многолучевости.

Адаптивная эквализация использует 26-битные тренировочные последовательности в NB. Имеется семь типов таких последовательностей под разные модели окружающего пространства (холмистость, здания и т. п.). В GSM используют адаптивную эквализацию типа Витерби.

Последовательность шагов алгоритма следующая:

- 1) БС передает на МС, какой тренировочной последовательностью надо пользоваться;
- 2) МС передает на БС пакеты NB с этой последовательностью;
- 3) БС сравнивает принятую последовательность с опорной и выявляет разницу из-за потерь в канале;
- 4) БС «настраивает» алгоритм приема бит так, чтобы минимизировать разницу с принятым.

Алгоритм адаптивной эквализации работает достаточно хорошо на дистанции (разности хода лучей) не более 5 км. Для исключения несанкционированного использования ресурсов ССС в нее введены механизмы аутентификации. ЦАУ состоит из нескольких блоков и формирует ключи и алгоритмы аутентификации. С его помощью проверяются полномочия абонента и осуществляется его доступ к сети. ЦАУ принимает решения о параметрах процесса аутентификации и определяет ключи шифрования на основе базы данных, находящейся в РИО.

Контрольные вопросы:

1. Каковы основные этапы обработки речевого сигнала в GSM?

2. Каково назначение аналого-цифрового преобразования (АЦП) в системе GSM?
3. Что такое сегментация и почему она важна для обработки речевых сигналов?
4. Объясните, как работает метод линейного предиктивного кодирования (LPC) для сжатия речевых данных.
5. Какие классы битов используются в канальном кодировании и какова их степень важности?
6. Как осуществляется шифрование данных в GSM, и какое значение имеет алгоритм A5?
7. Что такое перемежение битов и как оно помогает бороться с замираниями в радиоканале?
8. Как адаптивная эквалализация улучшает качество приема сигнала в GSM?
9. Какой механизм аутентификации используется в GSM для защиты доступа к сети?
10. В чем заключается основное различие в обработке речевых сигналов между мобильной станцией и базовой станцией?