

Стандарт GSM

ВВЕДЕНИЕ	5
Общие характеристики стандарта GSM.....	5
Основные характеристики стандарта GSM.....	6
Структурная схема и состав оборудования сетей связи	6
Сетевые и радио-интерфейсы	13
Интерфейсы с внешними сетями.....	13
Соединение с PSTN	13
Соединение с ISDN.....	13
Соединение с существующими аналоговыми сетями сотовой связи (NMT-450).....	14
Соединения с международными сетями GSM	14
Внутренние GSM - интерфейсы	14
Интерфейсы между сетью GSM и внешним оборудованием	15
Структура служб и передача данных в стандарте GSM	15
Терминальное оборудование и адаптеры подвижной станции	16
Структура TDMA кадров и формирование сигналов в стандарте GSM	18
ОРГАНИЗАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ И ЛОГИЧЕСКИХ КАНАЛОВ В СТАНДАРТЕ GSM .	24
Частотный план стандарта GSM-900	24
Структура логических каналов связи.....	24
Структура логических каналов управления.....	25
Организация физических каналов.....	27
Объединение BCCH/CCCH каналов	28
Модуляция радиосигнала	30
КОДИРОВАНИЕ И ПЕРЕМЕЖЕНИЕ В КАНАЛАХ СВЯЗИ И УПРАВЛЕНИЯ СТАНДАРТА GSM	31
Общая структурная схема кодирования и перемежения в стандарте GSM.....	31
Сверточное кодирование и перемежение в полноскоростном речевом канале.....	32
Кодирование и перемежение в полноскоростном канале передачи данных.....	34
Кодирование и перемежение в каналах управления	35
ОБРАБОТКА РЕЧИ В СТАНДАРТЕ GSM	37
Общее описание процессов обработки речи	37
Выбор речевого кодека для стандарта GSM	38
Детектор активности речи.....	39
Формирование комфортного шума.....	40
Экстраполяция потерянного речевого кадра.....	41

АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОСТИ В СТАНДАРТЕ GSM	42
Общее описание характеристик безопасности.....	42
Механизмы аутентификации	44
Секретность передачи данных.....	45
Ключ шифрования.....	45
Числовая последовательность ключа шифрования	46
Установка режима шифрования	46
Обеспечение секретности абонента	46
Обеспечение секретности в процедуре корректировки местоположения	46
Общий состав секретной информации и ее распределение в аппаратных средствах GSM.....	47
Обеспечение секретности при обмене сообщениями между HLR, VLR и MSC.....	48
Модуль подлинности абонента	49
УПРАВЛЕНИЕ СЕТЯМИ СВЯЗИ В СТАНДАРТЕ GSM	50
Задачи системы сетевого управления	50
Принципы построения системы сетевого управления.....	51
RP - контрольные точки (интерфейсы).....	51
FB - функциональные блоки.....	51
Распределение функций сетевого управления в GSM	52
Операционные системы	52
Процессы сопряжения.....	52
Передача данных в GSM TMN	53
Элементы сети	53
Стандартные интерфейсы в системе сетевого управления GSM	53
Интерфейсы между TMN.....	53
TMN интерфейс между PLMN и узлами TMN	54
Протоколы более высоких уровней, используемые в GSM TMN	56
ДОСТУПНЫМ ЯЗЫКОМ О ТОМ, КАК РАБОТАЕТ МОБИЛЬНЫЙ АППАРАТ В СЕТИ	57
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СЕРВИСЫ И ВОЗМОЖНОСТИ GSM, РЕАЛИЗОВАННЫЕ ПРИ ДАЛЬНЕЙШЕМ РАЗВИТИИ СТАНДАРТА.....	66
ТЕХНОЛОГИЯ GPRS	67
Традиционная передача данных	67
GPRS	67
Для чего нужен GPRS?	67
Корпоративные пользователи и телеметрия	68
GPRS изнутри.....	68
GPRS телефоны	70
ФАЗЫ СТАНДАРТА GSM И ЭВОЛЮЦИЯ SIM-КАРТЫ.....	71

Необходимое вступление.....	71
Сети стандарта GSM: Фаза 2.....	72
Сети стандарта GSM: Фаза 2+	73
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	74
Английские сокращения.....	74
A.....	74
B.....	74
C.....	74
D.....	74
E.....	74
F.....	74
G.....	75
H.....	75
I.....	75
K.....	75
L.....	75
M.....	75
N.....	75
O.....	76
P.....	76
R.....	76
S.....	76
T.....	76
V.....	77
W.....	77
X.....	77
Русские сокращения	77
C.....	77
M.....	77

ВВЕДЕНИЕ

Стандарт GSM (Global System for Mobile Communications) также известен под названием DCS (Digital Cellular System) и PCN (Personal Communications Network) - системам сотовой подвижной радиосвязи общего пользования второго поколения. Один из самых популярных стандартов сотовой связи в Европе и России, он был введен в эксплуатацию в 1992 году. Стандарт разрабатывался как замена старым аналоговым стандартам, в основном для крупных городов с большой плотностью населения. В настоящее время существует несколько модификаций этого стандарта: GSM-400, GSM-850, GSM-900, GSM-1800, GSM-1900.

Стандарт GSM является цифровым и обеспечивает высокое качество и конфиденциальность связи, предоставляет абонентам большой набор услуг: автоматический роуминг, прием/передача данных, SMS - сервис, голосовая и факсимильная почта.

Общие характеристики стандарта GSM¹

В соответствии с рекомендацией CEPT 1980 г., касающейся использования спектра частот подвижной связи в диапазоне частот 862-960 МГц, стандарт GSM на цифровую общеевропейскую (глобальную) сотовую систему наземной подвижной связи предусматривает работу передатчиков в двух диапазонах частот: 890-915 МГц (для передатчиков подвижных станций - MS), 935-960 МГц (для передатчиков базовых станций - BTS).

В стандарте GSM используется узкополосный многостанционный доступ с временным разделением каналов (NB TDMA). В структуре TDMA кадра содержится 8 временных позиций на каждой из 124 несущих.

Для защиты от ошибок в радиоканалах при передаче информационных сообщений применяется блочное и сверточное кодирование с перемежением. Повышение эффективности кодирования и перемежения при малой скорости перемещения подвижных станций достигается медленным переключением рабочих частот (SFH) в процессе сеанса связи со скоростью 217 скачков в секунду.

Для борьбы с интерференционными замираниями принимаемых сигналов, вызванными многолучевым распространением радиоволн в условиях города, в аппаратуре связи используются эквалайзеры, обеспечивающие выравнивание импульсных сигналов со среднеквадратическим отклонением времени задержки до 16 мкс.

Система синхронизации рассчитана на компенсацию абсолютного времени задержки сигналов до 233 мкс, что соответствует максимальной дальности связи или максимальному радиусу ячейки (соты) 35 км.

В стандарте GSM выбрана гауссовская частотная манипуляция с минимальным частотным сдвигом (GMSK). Обработка речи осуществляется в рамках принятой системы прерывистой передачи речи (DTX), которая обеспечивает включение передатчика только при наличии речевого сигнала и отключение передатчика в паузах и в конце разговора. В качестве речепреобразующего устройства выбран речевой кодек с регулярным импульсным возбуждением/долговременным предсказанием и линейным предикативным кодированием с предсказанием (RPE/LTR-LTP-кодек). Общая скорость преобразования речевого сигнала - 13 кбит/с.

В стандарте GSM достигается высокая степень безопасности передачи сообщений; осуществляется шифрование сообщений по алгоритму шифрования с открытым ключом (RSA).

¹ Рассматриваются и приводятся характеристики только для стандарта GSM-900 Фаза 2

В целом система связи, действующая в стандарте GSM, рассчитана на ее использование в различных сферах. Она предоставляет пользователям широкий диапазон услуг и возможность применять разнообразное оборудование для передачи речевых сообщений и данных, вызывных и аварийных сигналов; подключаться к телефонным сетям общего пользования (PSTN), сетям передачи данных (PDN) и цифровым сетям с интеграцией служб (ISDN).

Основные характеристики стандарта GSM

Таблица 1

	400 МГц	850 МГц	900 МГц, E_GSM	1800 МГц	1900 МГц
Частоты передачи подвижной станции и приема базовой станции, МГц	450.4-457.6 или 478.8-486	824-849	890-915, 880-890	1710- 1785	1850- 1910
Частоты приема подвижной станции и передачи базовой станции, МГц	460.4-467.6 или 488.8-496	869-894	935-960, 925-935	1805- 1880	1930- 1990
Дуплексный разнос частот приема и передачи, МГц	10	45	45	95	80
Скорость передачи сообщений в радиоканале, кбит/с	270, 833				
Скорость преобразования речевого кодека, кбит/с	6;13				
Ширина полосы канала связи, кГц	200				
Номера каналов связи	252-288	128-251	1-124, 0,975- 1023	512-885	512-810
Вид модуляции	GMSK				
Индекс модуляции	BT 0,3				
Ширина полосы предмодуляционного гауссовского фильтра, кГц	81,2				
Количество скачков по частоте в секунду	217				
Вид речевого кодека	RPE/LTP				
Максимальный радиус соты, км.	до 35				
Схема организации каналов комбинированная	TDMA/FDMA				

Структурная схема и состав оборудования сетей связи

Функциональное построение и интерфейсы, принятые в стандарте GSM, иллюстрируются структурной схемой Рис. 1., на которой:

- MSC (Mobile Switching Centre) - центр коммутации подвижной связи;
- BSS (Base Station System) - оборудование базовой станции;
- OMC (Operations and Maintenance Centre) - центр управления и обслуживания;
- MS (Mobile Stations) - подвижные станции.

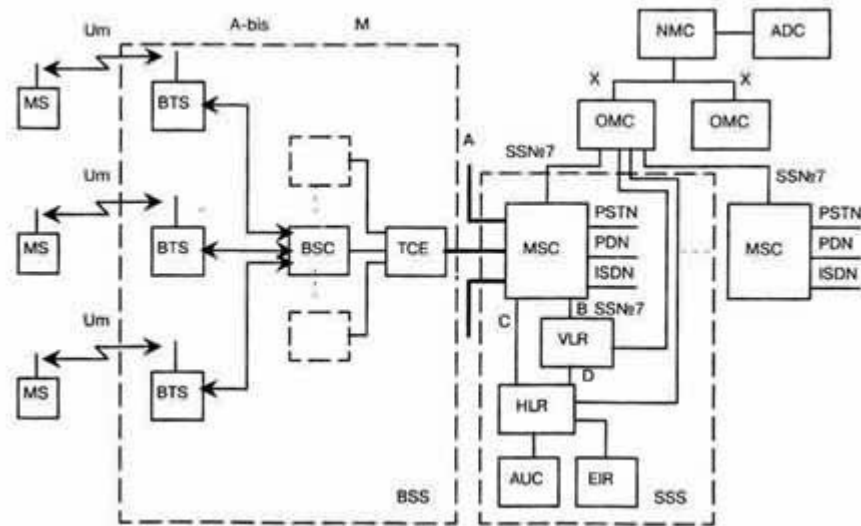


Рисунок 1

Функциональное сопряжение элементов системы осуществляется рядом интерфейсов. Все функциональные сетевые компоненты в стандарте GSM взаимодействуют в соответствии с системой сигнализации МККТТ SS N 7.

Центр коммутации подвижной связи обслуживает группу сот и обеспечивает все виды соединений, в которых нуждается в процессе работы подвижная станция. MSC аналогичен ISDN коммутационной станции и представляет собой интерфейс между фиксированными сетями (PSTN, PDN, ISDN и т.д.) и сетью подвижной связи. Он обеспечивает маршрутизацию вызовов и функции управления вызовами. Кроме выполнения функций обычной ISDN коммутационной станции, на MSC возлагаются функции коммутации радиоканалов. К ним относятся "эстафетная передача", в процессе которой достигается непрерывность связи при перемещении подвижной станции из одной соты в другую соту, и переключение рабочих каналов в соте при появлении помех или неисправностях. Каждый MSC обеспечивает обслуживание подвижных абонентов, расположенных в пределах определенной географической зоны (например, город и область). MSC управляет процедурами установления вызова и маршрутизации. Для телефонной сети общего пользования (PSTN) MSC обеспечивает функции сигнализации по протоколу SS N 7, передачи вызова или другие виды интерфейсов в соответствии с требованиями конкретного проекта.

MSC формирует данные, необходимые для выписки счетов за предоставленные сетью услуги связи, накапливает данные по состоявшимся разговорам и передает их в центр расчетов (биллинг - центр). MSC составляет также статистические данные, необходимые для контроля работы и оптимизации сети.

MSC поддерживает также процедуры безопасности, применяемые для управления доступами к радиоканалам.

MSC не только участвует в управлении вызовами, но также управляет процедурами регистрации местоположения и передачи управления, кроме передачи управления в подсистеме базовых станций (BSS). Регистрация местоположения подвижных станций необходима для обеспечения доставки вызова перемещающимся подвижным абонентам от абонентов телефонной сети общего пользования или других подвижных абонентов. Процедура передачи вызова позволяет сохранять соединения и обеспечивать ведение разговора, когда подвижная станция перемещается из одной зоны обслуживания в другую. Передача вызовов в сотах, управляемых одним контроллером базовых станций (BSC), осуществляется этим BSC. Когда передача вызовов осуществляется между двумя сетями,

управляемыми разными BSC, то первичное управление осуществляется в MSC. В стандарте GSM также предусмотрены процедуры передачи вызова между сетями (контроллерами), относящимися к разным MSC. Центр коммутации осуществляет постоянное слежение за подвижными станциями, используя регистры положения (HLR) и перемещения (VLR).

В HLR хранится та часть информации о местоположении какой-либо подвижной станции, которая позволяет центру коммутации доставить вызов станции. Регистр HLR содержит международный идентификационный номер подвижного абонента (IMSI). Он используется для опознавания подвижной станции в центре аутентификации (AUC) (Рис. 1.2, 1.3).

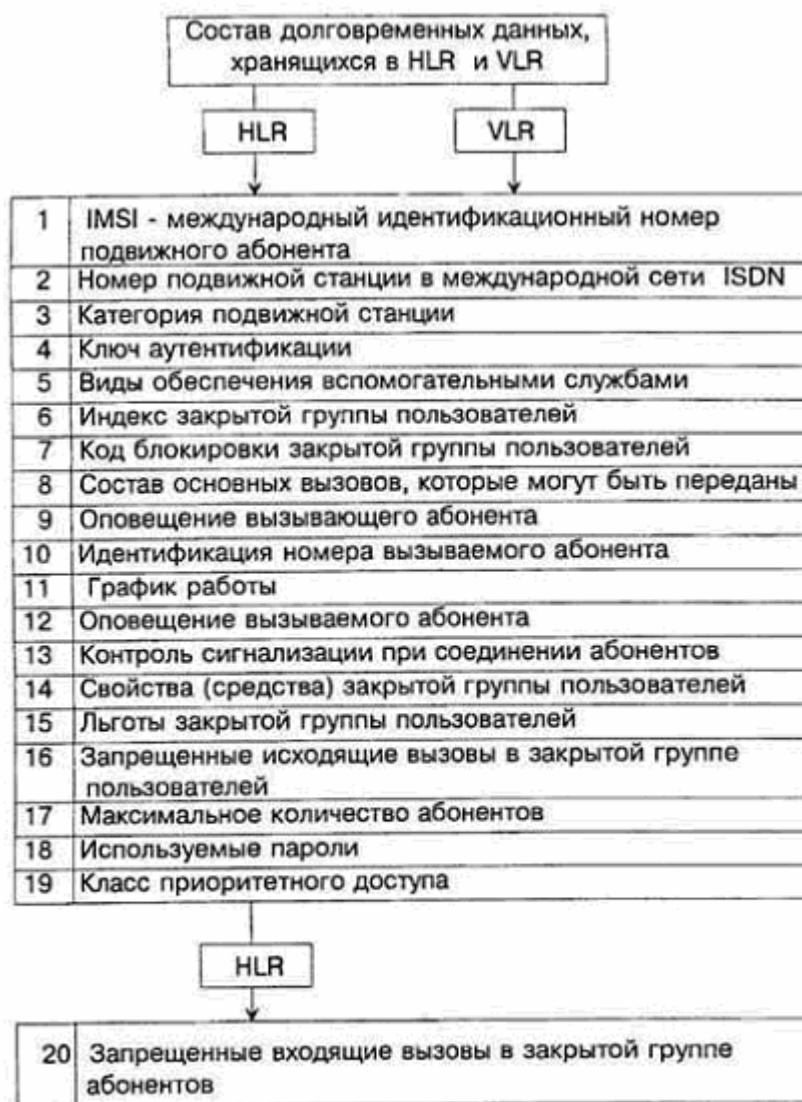


Рисунок 2

Практически HLR представляет собой справочную базу данных о постоянно прописанных в сети абонентах. В ней содержатся опознавательные номера и адреса, а также параметры подлинности абонентов, состав услуг связи, специальная информация о маршрутизации. Ведется регистрация данных о роуминге (блуждании) абонента, включая

данные о временном идентификационном номере подвижного абонента (TMSI) и соответствующем VLR.



Рисунок 3

К данным, содержащимся в HLR, имеют дистанционный доступ все MSC и VLR сети и, если в сети имеются несколько HLR, в базе данных содержится только одна запись об абоненте, поэтому каждый HLR представляет собой определенную часть общей базы данных сети об абонентах. Доступ к базе данных об абонентах осуществляется по номеру IMSI или MSISDN (номеру подвижного абонента в сети ISDN). К HLR могут получить доступ MSC или VLR относящиеся к другим сетям в рамках обеспечения межсетевое роуминга абонентов.

Второе основное устройство, обеспечивающее контроль над передвижением станции из зоны в зону, - регистр перемещения VLR. С его помощью достигается функционирование подвижной станции за пределами зоны, контролируемой HLR. Когда в процессе перемещения подвижная станция переходит из зоны действия одного контроллера базовой станции BSC, объединяющего группу базовых станций, в зону действия другого BSC, она регистрируется новым BSC, и в VLR заносится информация о номере области связи, которая обеспечит доставку вызовов подвижной станции. Для сохранности данных, находящихся в HLR и VLR, в случае сбоев предусмотрена защита устройств памяти этих регистров.

VLR содержит такие же данные, как и HLR, однако эти данные содержатся в VLR только до тех пор, пока абонент находится в зоне, контролируемой VLR.

В сети подвижной связи GSM соты группируются в географические зоны (LA), которым присваивается свой идентификационный номер (LAC). Каждый VLR содержит данные об абонентах в нескольких LA. Когда подвижный абонент перемещается из одной LA в другую, данные о его местоположении автоматически обновляются в VLR. Если старая и новая LA находятся под управлением различных VLR, то данные на старом VLR стираются после их копирования в новый VLR. Текущий адрес VLR абонента, содержащийся в HLR, также обновляется.

VLR обеспечивает также присвоение номера "блуждающей" подвижной станции (MSRN). Когда подвижная станция принимает входящий вызов, VLR выбирает его MSRN и передает его на MSC, который осуществляет маршрутизацию этого вызова к базовым станциям, находящимся рядом с подвижным абонентом.

VLR также распределяет номера передачи управления при передаче соединений от одного MSC к другому. Кроме того, VLR управляет распределением новых TMSI и передает их в HLR. Он также управляет процедурами установления подлинности во время обработки вызова. По решению оператора TMSI может периодически изменяться для усложнения

процедуры идентификации абонентов. Доступ к базе данных VLR может обеспечиваться через IMSI, TMSI или MSRN. В целом VLR представляет собой локальную базу данных о подвижном абоненте для той зоны, где находится абонент, что позволяет исключить постоянные запросы в HLR и сократить время на обслуживание вызовов.

Для исключения несанкционированного использования ресурсов системы связи вводятся механизмы аутентификации - удостоверения подлинности абонента. Центр аутентификации состоит из нескольких блоков и формирует ключи и алгоритмы аутентификации. С его помощью проверяются полномочия абонента и осуществляется его доступ к сети связи. AUC принимает решения о параметрах процесса аутентификации и определяет ключи шифрования абонентских станций на основе базы данных, сосредоточенной в регистре идентификации оборудования (EIR - Equipment Identification Register).

Каждый подвижный абонент на время пользования системой связи получает стандартный модуль подлинности абонента (SIM), который содержит:

- международный идентификационный номер (IMSI);
- свой индивидуальный ключ аутентификации (Ki);
- алгоритм аутентификации (A3).

С помощью записанной в SIM информации в результате взаимного обмена данными между подвижной станцией и сетью осуществляется полный цикл аутентификации и разрешается доступ абонента к сети.

Процедура проверки сетью подлинности абонента реализуется следующим образом. Сеть передает случайный номер (RAND) на подвижную станцию. На ней с помощью Ki и алгоритма аутентификации A3 определяется значение отклика (SRES), т.е.

$$SRES = Ki * [RAND]$$

Подвижная станция посылает вычисленное значение SRES в сеть, которая сверяет значение принятого SRES со значением SRES, вычисленным сетью. Если оба значения совпадают, подвижная станция приступает к передаче сообщений. В противном случае связь прерывается, и индикатор подвижной станции показывает, что опознавание не состоялось. Для обеспечения секретности вычисление SRES происходит в рамках SIM.

EIR - регистр идентификации оборудования, содержит централизованную базу данных для подтверждения подлинности международного идентификационного номера оборудования подвижной станции (IMEI). Эта база данных относится исключительно к оборудованию подвижной станции. База данных EIR состоит из списков номеров IMEI, организованных следующим образом:

- БЕЛЫЙ СПИСОК - содержит номера IMEI, о которых есть сведения, что они закреплены за санкционированными подвижными станциями;
- ЧЕРНЫЙ СПИСОК - содержит номера IMEI подвижных станций, которые украдены или которым отказано в обслуживании по другой причине;
- СЕРЫЙ СПИСОК - содержит номера IMEI подвижных станций, у которых существуют проблемы, выявленные по данным программного обеспечения, что не является основанием для внесения в "черный список".

К базе данных EIR получают дистанционный доступ MSC данной сети, а также MSC других подвижных сетей.

Как и в случае с HLR, сеть может иметь более одного EIR, при этом каждый EIR управляет определенными группами IMEI. В состав MSC входит транслятор, который при получении номера IMEI возвращает адрес EIR, управляющий соответствующей частью базы данных об оборудовании.

IWF - функциональный межсетевой стык, является одной из составных частей MSC. Он обеспечивает абонентам доступ к средствам преобразования протокола и скорости передачи данных так, чтобы можно было передавать их между его терминальным оборудованием (DTE) сети GSM и обычным терминальным оборудованием фиксированной сети. Функциональный межсетевой стык также "выделяет" модем из своего банка оборудования для сопряжения с соответствующим модемом фиксированной сети. IWF также обеспечивает интерфейсы типа прямого соединения для оборудования, поставляемого клиентам, например, для пакетной передачи данных PAD по протоколу X.25.

ЕС - эхоподавитель, используется в MSC со стороны PSTN для всех телефонных каналов (независимо от их протяженности) из-за физических задержек в трактах распространения, включая радиоканал, сетей GSM. Типовой эхоподавитель может обеспечивать подавление в интервале 68 миллисекунд на участке между выходом ЕС и телефоном фиксированной телефонной сети. Общая задержка в канале GSM при распространении в прямом и обратном направлениях, вызванная обработкой сигнала, составляет около 180 мс. Эта задержка была бы незаметна подвижному абоненту, если бы в телефонный канал не был включен гибридный трансформатор с преобразованием тракта из двухпроводного в четырехпроводный режим, установка которого необходима в MSC, так как стандартное соединение с PSTN является двухпроводным. При соединении двух абонентов фиксированной сети эхо-сигналы отсутствуют. Без включения ЕС задержка от распространения сигналов в тракте GSM будет вызывать раздражение у абонентов, прерывать речь и отвлекать внимание.

ОМС - центр эксплуатации и технического обслуживания, является центральным элементом сети GSM, который обеспечивает контроль и управление другими компонентами сети и контроль качества ее работы. ОМС соединяется с другими компонентами сети GSM по каналам пакетной передачи протокола X.25. ОМС обеспечивает функции обработки аварийных сигналов, предназначенных для оповещения обслуживающего персонала, и регистрирует сведения об аварийных ситуациях в других компонентах сети. В зависимости от характера неисправности ОМС позволяет обеспечить ее устранение автоматически или при активном вмешательстве персонала. ОМС может обеспечить проверку состояния оборудования сети и прохождения вызова подвижной станции. ОМС позволяет производить управление нагрузкой в сети. Функция эффективного управления включает сбор статистических данных о нагрузке от компонентов сети GSM, записи их в дисковые файлы и вывод на дисплей для визуального анализа. ОМС обеспечивает управление изменениями программного обеспечения и базами данных о конфигурации элементов сети. Загрузка программного обеспечения в память может производиться из ОМС в другие элементы сети или из них в ОМС.

NMC - центр управления сетью, позволяет обеспечивать рациональное иерархическое управление сетью GSM. Он обеспечивает эксплуатацию и техническое обслуживание на уровне всей сети, поддерживаемой центрами ОМС, которые отвечают за управление региональными сетями. NMC обеспечивает управление трафиком во всей сети и обеспечивает диспетчерское управление сетью при сложных аварийных ситуациях, как например, выход из строя или перегрузка узлов. Кроме того, он контролирует состояние устройств автоматического управления, задействованных в оборудовании сети, и отражает на дисплее состояние сети для операторов NMC. Это позволяет операторам контролировать региональные проблемы и, при необходимости, оказывать помощь ОМС, ответственному за конкретный регион. Таким образом, персонал NMC знает состояние всей сети и может дать указание персоналу ОМС изменить стратегию решения региональной проблемы.

NMC концентрирует внимание на маршрутах сигнализации и соединениях между узлами с тем, чтобы не допускать условий для возникновения перегрузки в сети. Контролируются также маршруты соединений между сетью GSM и PSTN во избежание

распространений условий перегрузки между сетями. При этом персонал NMC координирует вопросы управления сетью с персоналом других NMC. NMC обеспечивает также возможность управления трафиком для сетевого оборудования подсистемы базовых станций (BSS). Операторы NMC в экстремальных ситуациях могут задействовать такие процедуры управления, как "приоритетный доступ", когда только абоненты с высоким приоритетом (экстренные службы) могут получить доступ к системе.

NMC может брать на себя ответственность в каком-либо регионе, когда местный OMC является необслуживаемым, при этом OMC действует в качестве транзитного пункта между NMC и оборудованием сети. NMC обеспечивает операторов функциями, аналогичными функциям OMC.

NMC является также важным инструментом планирования сети, так как NMC контролирует сеть и ее работу на сетевом уровне, а, следовательно, обеспечивает планировщиков сети данными, определяющими ее оптимальное развитие.

BSS - оборудование базовой станции, состоит из контроллера базовой станции (BSC) и приемо-передающих базовых станций (BTS). Контроллер базовой станции может управлять несколькими приемо-передающими блоками. BSS управляет распределением радиоканалов, контролирует соединения, регулирует их очередность, обеспечивает режим работы с прыгающей частотой, модуляцию и демодуляцию сигналов, кодирование и декодирование сообщений, кодирование речи, адаптацию скорости передачи для речи, данных и вызова, определяет очередность передачи сообщений персонального вызова.

BSS совместно с MSC, HLR, VLR выполняет некоторые функции, например: освобождение канала, главным образом, под контролем MSC, но MSC может запросить базовую станцию обеспечить освобождение канала, если вызов не проходит из-за радиопомех. BSS и MSC совместно осуществляют приоритетную передачу информации для некоторых категорий подвижных станций.

TCE- транскодер, обеспечивает преобразование выходных сигналов канала передачи речи и данных MSC (64 кбит/с PCM) к виду, соответствующему рекомендациям GSM по радиointерфейсу (Рек. GSM 04.08). В соответствии с этими требованиями скорость передачи речи, представленной в цифровой форме, составляет 13 кбит/с. Этот канал передачи цифровых речевых сигналов называется «полноскоростным» (TFR). Стандартом предусматривается использование «полускоростного» речевого канала (скорость передачи 6,5 кбит/с - HR).

Снижение скорости передачи обеспечивается применением специального речепреобразующего устройства, использующего линейное предикативное кодирование (LPC), долговременное предсказание (LTP), остаточное импульсное возбуждение (RPE - иногда называется RELP).

Транскодер обычно располагается вместе с MSC. Передача цифровых сообщений в направлении к контроллеру базовых станций ведется с добавлением к потоку дополнительных битов (стафингование) до скорости передачи данных 16 кбит/с. Далее осуществляется уплотнение с кратностью 4 в стандартный канал 64 кбит/с. Так формируется определенная Рекомендациями 30-канальная PCM линия, обеспечивающая передачу 120 речевых каналов. Шестнадцатый канал (64 кбит/с), "временное окно", выделяется отдельно для передачи информации сигнализации и часто содержит трафик SS N7 или LAPD. В другом канале (64 кбит/с) могут передаваться также пакеты данных, согласующиеся с протоколом X.25 МККТТ.

Таким образом, результирующая скорость передачи по указанному интерфейсу составляет $30 \times 64 \text{ кбит/с} + 64 \text{ кбит/с} + 64 \text{ кбит/с} = 2048 \text{ кбит/с}$.

MS - подвижная станция, состоит из оборудования, которое служит для организации доступа абонентов сетей GSM к существующим фиксированным сетям электросвязи. В

рамках стандарта GSM приняты пять классов подвижных станций от модели 1-го класса с выходной мощностью 20 Вт, устанавливаемой на транспортном средстве, до портативной модели 5-го класса, максимальной мощностью 0,8 Вт (табл. 1). При передаче сообщений предусматривается адаптивная регулировка мощности передатчика, обеспечивающая требуемое качество связи.

Таблица 2

Класс мощности	Максимальный уровень мощности передатчика	Допустимые отклонения
1	20 Вт	1,5 дБ
2	8 Вт	1,5 дБ
3	5 Вт	1,5 дБ
4	2 Вт	1,5 дБ
5	0,8 Вт	1,5 дБ

Подвижный абонент и станция независимы друг от друга. Как уже отмечалось, каждый абонент имеет свой международный идентификационный номер (IMSI), записанный на его интеллектуальную карточку. Такой подход позволяет устанавливать радиотелефоны, например, в такси и автомобилях, сдаваемых на прокат. Каждой подвижной станции также присваивается свой международный идентификационный номер (IMEI). Этот номер используется для предотвращения доступа к сетям GSM похищенной станции или станции без полномочий.

Сетевые и радио-интерфейсы

При проектировании цифровых сотовых систем подвижной связи стандарта GSM рассматриваются интерфейсы трех видов:

- для соединения с внешними сетями;
- между различным оборудованием сетей GSM;
- между сетью GSM и внешним оборудованием.

Все существующие внутренние интерфейсы сетей GSM показаны на структурной схеме Рис. 1.1. Они полностью соответствуют требованиям Рекомендаций ETSI/GSM 03.02.

Интерфейсы с внешними сетями

Соединение с PSTN

Соединение с телефонной сетью общего пользования осуществляется MSC по линии связи 2 Мбит/с в соответствии с системой сигнализации SS N 7. Электрические характеристики 2 Мбит/с интерфейса соответствуют Рекомендациям МККТТ G.732.

Соединение с ISDN

Для соединения с создаваемыми сетями ISDN предусматриваются четыре линии связи 2 Мбит/с, поддерживаемые системой сигнализации SS N 7 и отвечающие Рекомендациям Голубой книги МККТТ Q.701-Q.710, Q.711-Q.714, Q.716, Q.781, 0.782, 0.791, 0.795, 0.761-0.764, 0.766.

Соединение с существующими аналоговыми сетями сотовой связи (NMT-450)

Центр коммутации подвижной связи соединяется с сетью NMT-450 через четыре стандартные линии связи 2 Мбит/с и системы сигнализации SS N7. При этом должны обеспечиваться требования Рекомендаций МККТТ по подсистеме пользователей телефонной сетью (TUP - Telephone User Part) и подсистеме передачи сообщений (MTP - Message Transfer Part) Желтой книги. Электрические характеристики линии 2 Мбит/с соответствуют Рекомендациям МККТТ G.732.

Соединения с международными сетями GSM

В настоящее время обеспечивается подключение сети GSM в Москве к общеевропейским сетям GSM. Эти соединения осуществляются на основе протоколов систем сигнализации (SCCP) и межсетевой коммутации подвижной связи (GMSC).

Внутренние GSM - интерфейсы

Интерфейс между MSC и BSS (*А-интерфейс*) обеспечивает передачу сообщений для управления BSS, передачи вызова, управления передвижением. А-интерфейс объединяет каналы связи и линии сигнализации. Последние используют протокол SS N7 МККТТ. Полная спецификация А-интерфейса соответствует требованиям серии 08 Рекомендаций ETSI/GSM.

Интерфейс между MSC и HLR совмещен с VLR (*В-интерфейс*). Когда MSC необходимо определить местоположение подвижной станции, он обращается к VLR. Если подвижная станция инициирует процедуру местоопределения с MSC, он информирует свой VLR, который заносит всю изменяющуюся информацию в свои регистры. Эта процедура происходит всегда, когда MS переходит из одной области местоопределения в другую. В случае, если абонент запрашивает специальные дополнительные услуги или изменяет некоторые свои данные, MSC также информирует VLR, который регистрирует изменения и при необходимости сообщает о них HLR.

Интерфейс между MSC и HLR (*С-интерфейс*) используется для обеспечения взаимодействия между MSC и HLR. MSC может послать указание (сообщение) HLR в конце сеанса связи для того, чтобы абонент мог оплатить разговор. Когда сеть фиксированной телефонной связи не способна исполнить процедуру установления вызова подвижного абонента, MSC может запросить HLR с целью определения местоположения абонента для того, чтобы послать вызов MS.

Интерфейс между HLR и VLR (*Д-интерфейс*) используется для расширения обмена данными о положении подвижной станции, управления процессом связи. Основные услуги, предоставляемые подвижному абоненту, заключаются в возможности передавать или принимать сообщения независимо от местоположения. Для этого HLR должен пополнять свои данные. VLR сообщает HLR о положении MS, управляя ею и переприсваивая ей номера в процессе блуждания, посылает все необходимые данные для обеспечения обслуживания подвижной станции.

Интерфейс между MSC (*Е-интерфейс*) обеспечивает взаимодействие между разными MSC при осуществлении процедуры HANDOVER - "передачи" абонента из зоны в зону при его движении в процессе сеанса связи без ее перерыва.

Интерфейс между BSC и BTS (*А-bis интерфейс*) служит для связи BSC с BTS и определен Рекомендациями ETSI/GSM для процессов установления соединений и управления оборудованием, передача осуществляется цифровыми потоками со скоростью 2,048 Мбит/с. Возможно использование физического интерфейса 64 кбит/с.

Интерфейс между BSC и OMC (*О-интерфейс*) предназначен для связи BSC с OMC, используется в сетях с пакетной коммутацией МККТТ X.25.

Внутренний BSC-интерфейс контроллера базовой станции обеспечивает связь между различным оборудованием BSC и оборудованием транскодирования (TCE); использует стандарт PCM-передачи 2,048 Мбит/с и позволяет организовать из четырех каналов со скоростью 16 кбит/с один канал на скорости 64 кбит/с.

Интерфейс между MS и BTS (*Um-радиоинтерфейс*) определен в сериях 04 и 05 Рекомендаций ETSI/GSM.

Сетевой интерфейс между OMC и сетью, так называемый *управляющий интерфейс* между OMC и элементами сети, определен ETSI/GSM Рекомендациями 12.01 и является аналогом интерфейса Q.3, который определен в многоуровневой модели открытых сетей ISO OSI.

Соединение сети с OMC могут обеспечиваться системой сигнализации МККТТ SS N7 или сетевым протоколом X.25. Сеть X.25 может соединяться с объединенными сетями или с PSDN в открытом или замкнутом режимах.

GSM - протокол управления сетью и обслуживанием также должен удовлетворять требованиям Q.3 интерфейса, который определен в ETSI/GSM Рекомендациях 12.01.

Интерфейсы между сетью GSM и внешним оборудованием

Интерфейс между MSC и сервис - центром (SC) необходим для реализации службы коротких сообщений. Он определен в ETSI/GSM Рекомендациях 03.40.

Интерфейс к другим OMC. Каждый центр управления и обслуживания сети должен соединяться с другими OMC, управляющими сетями в других регионах или другими сетями. Эти соединения обеспечиваются X-интерфейсами в соответствии с Рекомендациями МККТТ M.30. Для взаимодействия OMC с сетями высших уровней используется O.3-интерфейс.

Структура служб и передача данных в стандарте GSM

Стандарт GSM содержит два класса служб: основные службы и телеслужбы. Основные службы обеспечивают: передачу данных (асинхронно) в дуплексном режиме со скоростями: 300, 600, 1200, 2400, 4800 и 9600 бит/с через телефонные сети общего пользования; передачу данных (синхронно) в дуплексном режиме со скоростями 1200, 2400, 4800 и 9600 бит/с через телефонные сети общего пользования, коммутируемые сети передачи данных общего пользования (CSPDN) и ISDN; доступ с помощью адаптера к пакетной асинхронной передаче данных со стандартными скоростями 300-9600 бит/с через коммутируемые сети пакетной передачи данных общего пользования (PSPDN); синхронный дуплексный доступ к сети пакетной передачи данных со стандартными скоростями 2400-9600 бит/с.

При передаче данных со скоростью 9,6 кбит/с всегда используется канал связи с полной скоростью передачи. В случае передачи на скоростях ниже 9,6 кбит/с могут использоваться полускоростные каналы связи.

Перечисленные функции каналов передачи данных предусмотрены для терминального оборудования, в котором используются интерфейсы МККТТ со спецификациями V.24 или X.21 серий. Эти спецификации определяют вопросы передачи

данных по обычным каналам телефонной связи. Телеслужбы предоставляют следующие услуги:

- телефонная связь (совмещается со службой сигнализации: охрана квартир, сигналы бедствия и пр.);
- передача коротких сообщений;
- доступ к службам "Видеотекст", "Телетекст";
- служба "Телефакс" (группа 3).

Дополнительно стандартизован широкий спектр особых услуг (передача вызова, оповещения о тарифных расходах, включение в закрытую группу пользователей). Так как большинство абонентов используют услуги GSM в деловых целях, особое внимание уделяется аспектам безопасности и качеству предоставляемых услуг.

Структурная схема служб связи в GSM PLMN показана на Рис. 4 (GSM PLMN - GSM Public Land Mobile Network - сеть связи с наземными подвижными объектами):

- TE (Terminal Equipment) - терминальное оборудование;
- MT (Mobile Terminal) - подвижный терминал;
- IWF (Interworking Function) - межсетевой функциональный стык).

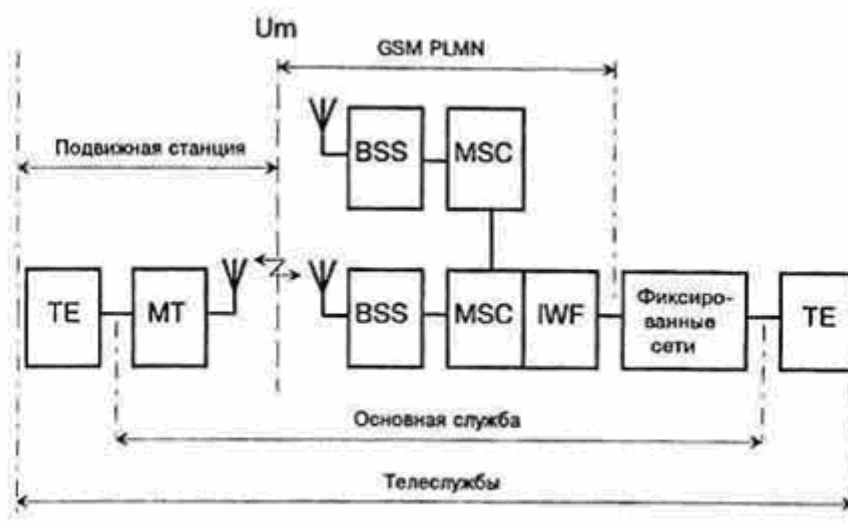


Рисунок 4

К передаче данных относится и передача коротких сообщений (передача служебных буквенно-цифровых сообщений для отдельных групп пользователей). При передаче коротких сообщений используется пропускная способность каналов сигнализации. Сообщения могут передаваться и приниматься подвижной станцией. Для передачи коротких сообщений могут использоваться общие каналы управления. Объем сообщений? Как правило, ограничен 160-ю символами, которые могут приниматься в течение текущего вызова либо в нерабочем цикле. В пределах соты короткие сообщения передаются циклически и несут информацию, например, о дорожном движении, рекламу и т.д.

Терминальное оборудование и адаптеры подвижной станции

В режиме передачи данных взаимодействие подвижного абонента с сетью осуществляется через соответствующее терминальное оборудование (MT, TE) и адаптеры (TA), как это показано на Рис.5.

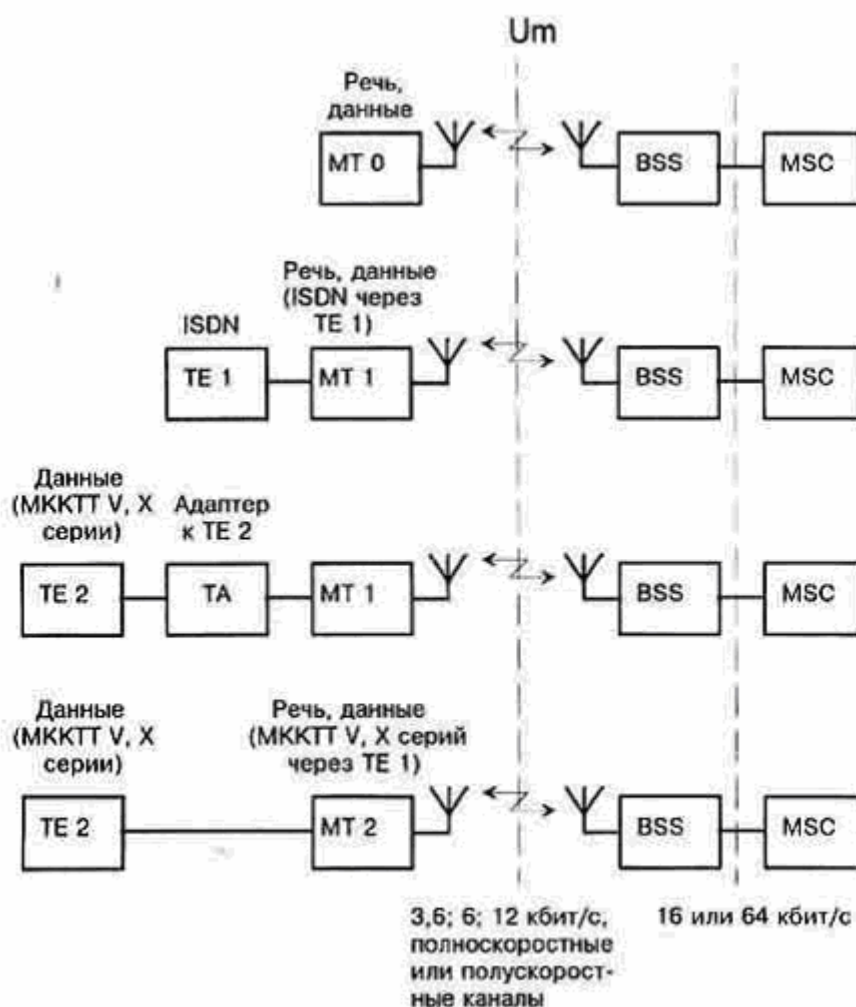


Рисунок 5

Подвижная станция состоит из МТ и ТЕ. Оконечное оборудование МТ обеспечивает функции, связанные с управлением радиointерфейсом Um. Эти функции включают: радиопередачу и прием, управление радиоканалами, защиту от ошибок в радиоканале, кодирование-декодирование речи, текущий контроль и распределение данных пользователя и вызовов, адаптацию по скорости передачи между радиоканалом и данными, обеспечение параллельной работы нагрузок (терминалов), обеспечение непрерывной работы в процессе движения.

Используется три типа окончного оборудования подвижной станции:

- МТ0 (Mobile Termination 0) - многофункциональная подвижная станция, в состав которой входит терминал данных с возможностью передачи и приема данных и речи;
- МТ1 (Mobile Termination 1) - подвижная станция с возможностью связи через терминал с ISDN;
- МТ2 (Mobile Termination 2) - подвижная станция с возможностью подключения терминала для связи по протоколу МККТТ V или X серий.

Терминальное оборудование может состоять из оборудования одного или нескольких типов, такого как телефонная трубка с номеронабирателем, аппаратуры передачи данных (DTE), телекс и т.д.

Различают следующие типы терминалов:

- TE1 (Terminal Equipment 1) - терминальное оборудование, обеспечивающее связь с ISDN;

- TE2 (Terminal Equipment 2) - терминальное оборудование, обеспечивающее связь с любым оборудованием через протоколы МККТТ V или X серий (связь с ISDN не обеспечивает).

Терминал TE2 может быть подключен как нагрузка к MT1 (подвижной станции с возможностью связи с ISDN) через адаптер TA.

Система характеристик стандарта GSM, принятая функциональная схема сетей связи и совокупность интерфейсов обеспечивают высокие параметры передачи сообщений, совместимость с существующими и перспективными информационными сетями, предоставляют абонентам широкий спектр услуг цифровой связи.

Структура TDMA кадров и формирование сигналов в стандарте GSM

В результате анализа различных вариантов построения цифровых сотовых систем подвижной связи (ССПС) в стандарте GSM принят многостанционный доступ с временным разделением каналов (TDMA). Общая структура временных кадров показана на Рис. 6.

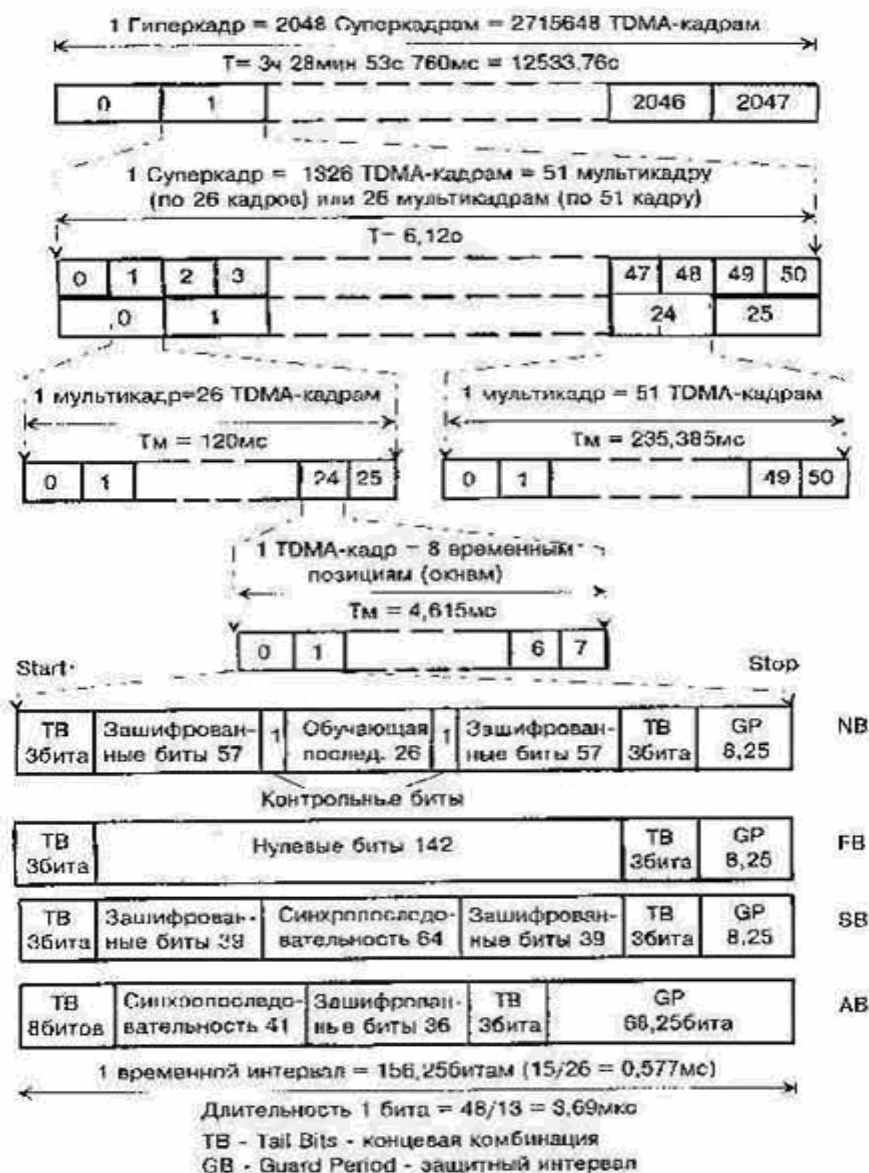


Рисунок 6

Длина периода последовательности в этой структуре, которая называется гиперкадром, равна $T_g = 3 \text{ ч } 28 \text{ мин } 53 \text{ с } 760 \text{ мс}$ (12533,76 с). Гиперкадр делится на 2048 суперкадров, каждый из которых имеет длительность $T_e = 12533,76/2048 = 6,12 \text{ с}$.

Суперкадр состоит из мультикадров. Для организации различных каналов связи и управления в стандарте GSM используются два вида мультикадров:

- 26-позиционные TDMA кадры мультикадра;
- 51-позиционные TDMA кадры мультикадра.

Суперкадр может содержать в себе 51 мультикадра первого типа или 26 мультикадров второго типа. Длительности мультикадров соответственно:

- $T_m = 6120/51 = 120 \text{ мс}$;
- $T_m = 6120/26 = 235,385 \text{ мс}$ (3060/13 мс).

Длительность каждого TDMA кадра $T_k = 120/26 = 235,385/51 = 4,615 \text{ мс}$ (60/13 мс).

В периоде последовательности каждый TDMA кадр имеет свой порядковый номер (NF) от 0 до NF_{max} , где $NF_{max} = (26 \times 51 \times 2048) - 1 = 2715647$.

Таким образом, гиперкадр состоит из 2715647 TDMA кадров. Необходимость такого большого периода гиперкадра объясняется требованиями применяемого процесса криптографической защиты, в котором номер кадра NF используется как входной параметр. TDMA кадр делится на восемь временных позиций с периодом

$T_o = 60/13 : 8 = 576,9 \text{ мкс}$ (15/26 мс).

Каждая временная позиция обозначается TN с номером от 0 до 7. Физический смысл временных позиций, которые иначе называются окнами, - время, в течение которого осуществляется модуляция несущей цифровым информационным потоком, соответствующим речевому сообщению или данным.

Цифровой информационный поток представляет собой последовательность пакетов, размещаемых в этих временных интервалах (окнах). Пакеты формируются немного короче, чем интервалы, их длительность составляет 0,546 мс, что необходимо для приема сообщения при наличии временной дисперсии в канале распространения.

Информационное сообщение передается по радиоканалу со скоростью 270,833 кбит/с.

Это означает, что временной интервал TDMA кадра содержит 156,25 бит.

Длительность одного информационного бита $576,9 \text{ мкс} / 156,25 = 3,69 \text{ мкс}$.

Каждый временной интервал, соответствующий длительности бита, обозначается BN с номером от 0 до 155; последнему интервалу длительностью 1/4 бита присвоен номер 156.

Для передачи информации по каналам связи и управления, подстройки несущих частот, обеспечения временной синхронизации и доступа к каналу связи в структуре TDMA кадра используются пять видов временных интервалов (окон):

NB используется для передачи информации по каналам связи и управления, за исключением канала доступа RACH. Он состоит из 114 бит зашифрованного сообщения и включает защитный интервал (GP) в 8,25 бит длительностью 30,46 мкс. Информационный блок 114 бит разбит на два самостоятельных блока по 57 бит, разделенных между собой обучающей последовательностью в 26 бит, которая используется для установки эквалайзера в приемнике в соответствии с характеристиками канала связи в данный момент времени.

В состав NB включены два контрольных бита (Stealing Flag), которые служат признаком того, содержит ли передаваемая группа речевую информацию или информацию сигнализации. В последнем случае информационный канал (Traffic Channel) "украден" для обеспечения сигнализации.

Между двумя группами зашифрованных бит в составе NB находится обучающая последовательность из 26 бит, известная в приемнике. С помощью этой последовательности обеспечивается:

- оценка частоты появления ошибок в двоичных разрядах по результатам сравнения принятой и эталонной последовательностей. В процессе сравнения вычисляется параметр RXQUAL, принятый для оценки качества связи. Конечно, речь идет только об оценке связи, а не о точных измерениях, так как проверяется только часть передаваемой информации. Параметр RXQUAL используется при вхождении в связь, при выполнении процедуры "эстафетной передачи" (Handover) и при оценке зоны покрытия радиосвязью;

- - оценка импульсной характеристики радиоканала на интервале передачи NB для последующей коррекции тракта приема сигнала за счет использования адаптивного эквалайзера в тракте приема;
- -определение задержек распространения сигнала между базовой и подвижной станциями для оценки дальности связи. Эта информация необходима для того, чтобы пакеты данных от разных подвижных станций не накладывались при приеме на базовой станции. Поэтому удаленные на большее расстояние подвижные станции должны передавать свои пакеты раньше станций, находящихся в непосредственной близости от базовой станции.

FB предназначен для синхронизации по частоте подвижной станции. Все 142 бита в этом временном интервале - нулевые, что соответствует немодулированной несущей со сдвигом 1625/24 кГц выше номинального значения частоты несущей. Это необходимо для проверки работы своего передатчика и приемника при небольшом частотном разнесении каналов (200 кГц), что составляет около 0,022% от номинального значения полосы частот 900 МГц. FB содержит защитный интервал 8,25 бит так же, как и нормальный временной интервал. Повторяющиеся временные интервалы подстройки частоты (FB) образуют канал установки частоты (FCCH).

SB используется для синхронизации по времени базовой и подвижной станций. Он состоит из синхропоследовательности длительностью 64 бита, несет информацию о номере ТОМА кадра и идентификационный код базовой станции. Этот интервал передается вместе с интервалом установки частоты. Повторяющиеся интервалы синхронизации образуют так называемый канал синхронизации (SCH).

DB обеспечивает установление и тестирование канала связи. По своей структуре DB совпадает с NB (рис. 1.6) и содержит установочную последовательность длиной 26 бит. В DB отсутствуют контрольные биты и не передается никакой информации. DB лишь информирует о том, что передатчик функционирует.

AB обеспечивает разрешение доступа подвижной станции к новой базовой станции. АВ передается подвижной станцией при запросе канала сигнализации. Это первый передаваемый подвижной станцией пакет, следовательно, время прохождения сигнала еще не измерено. Поэтому пакет имеет специфическую структуру. Сначала передается концевая комбинация 8 бит, затем - последовательность синхронизации для базовой станции (41 бит), что позволяет базовой станции обеспечить правильный прием последующих 36 зашифрованных бит. Интервал содержит большой защитный интервал (68,25 бит, длительностью 252 мкс), что обеспечивает (независимо от времени прохождения сигнала) достаточное временное разнесение от пакетов других подвижных станций,

Этот защитный интервал соответствует двойному значению наибольшей возможной задержки сигнала в рамках одной соты и тем самым устанавливает максимально допустимые размеры соты. Особенность стандарта GSM - возможность обеспечения связью подвижных абонентов в сотах с радиусом около 35 км. Время распространения радиосигнала в прямом и обратном направлениях составляет при этом 233,3 мкс.

В структуре GSM строго определены временные характеристики огибающей сигнала, излучаемого пакетами на канальном временном интервале TDMA кадра, и спектральная характеристика сигнала. Временная маска огибающей для сигналов, излучаемых на интервале АВ полного TDMA кадра, показана на Рис. 7, а маска огибающей для сигналов NB, FB, DB и SB полного TDMA кадра - на Рис. 8. Различные формы огибающих

излучаемых сигналов соответствуют разным длительностям интервала АВ (88 бит) по отношению к другим указанным интервалам полного TDMA кадра (148 бит). Нормы на спектральную характеристику излучаемого сигнала показаны на Рис. 9.

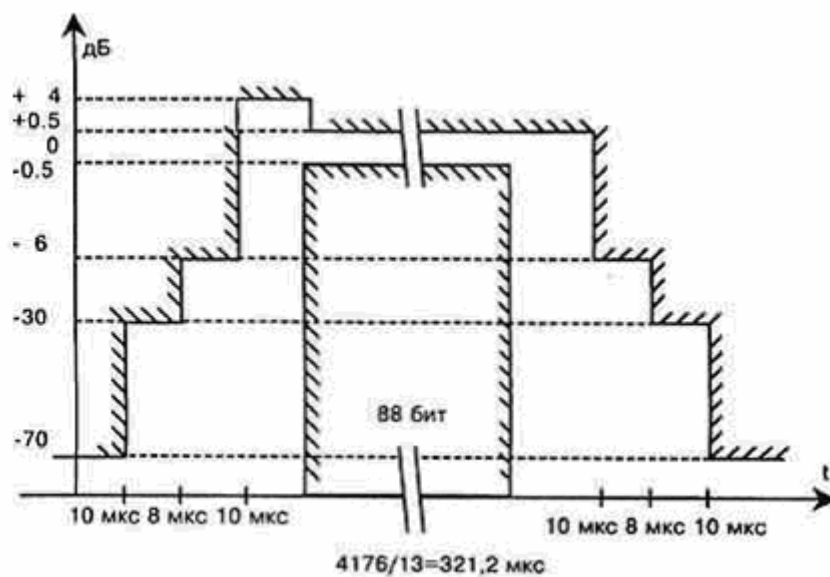


Рисунок 7

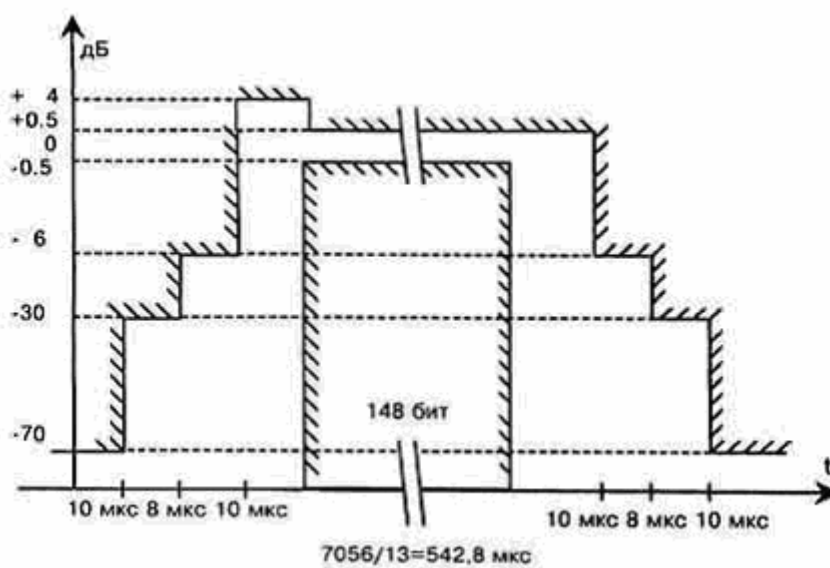


Рисунок 8

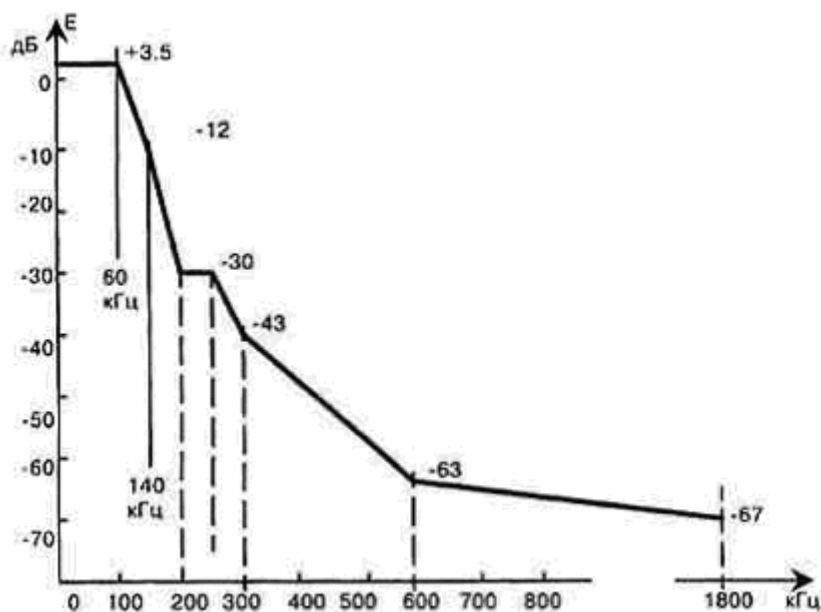


Рисунок 9

Одна из особенностей формирования сигналов в стандарте GSM - использование медленных скачков по частоте в процессе сеанса связи. Главное назначение таких скачков (SFH - Slow Frequency Hopping) - обеспечение частотного разнесения в радиоканалах, функционирующих в условиях многолучевого распространения радиоволн. SFH используется во всех подвижных сетях, что повышает эффективность кодирования и перемежения при медленном движении абонентских станций. Принцип формирования медленных скачков по частоте состоит в том, что сообщение, передаваемое в выделенном абоненту временном интервале TDMA кадра (577 мкс), в каждом последующем кадре передается (принимается) на новой фиксированной частоте. В соответствии со структурой кадров время для перестройки частоты составляет около 1 мс.

В процессе скачков по частоте постоянно сохраняется дуплексный разнос между каналами приема и передачи. Всем активным абонентам, находящимся в одной соте, ставятся в соответствие ортогональные формирующие последовательности, что исключает взаимные помехи при приеме сообщений абонентами в соте. Параметры последовательности переключения частот (частотно-временная матрица и начальная частота) назначаются каждой подвижной станции в процессе установления канала. Ортогональность последовательностей переключения частот в соте обеспечивается начальным частотным сдвигом одной и той же (по алгоритму формирования) последовательности. В смежных сотах используются различные формирующие последовательности.

Комбинированная TDMA/FDMA схема организации каналов в стандарте GSM и принцип использования медленных скачков по частоте при передаче сообщений во временных кадрах показаны на Рис. 10,11.



Рисунок 10

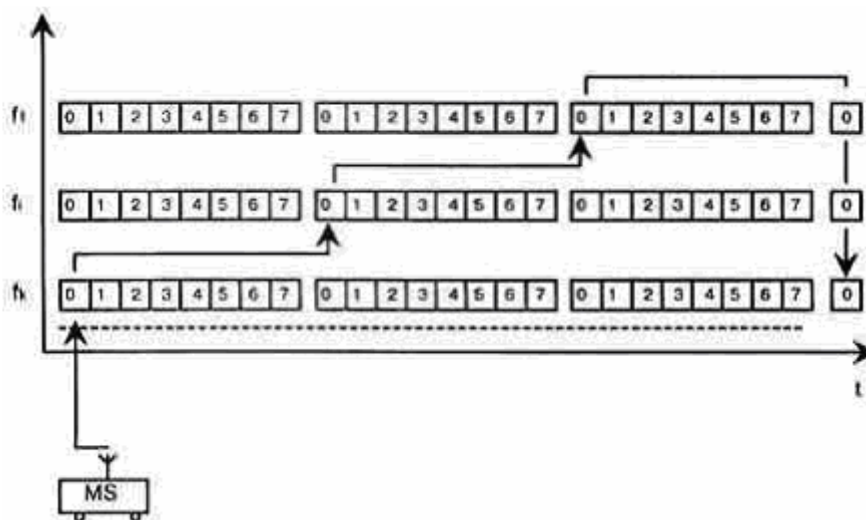


Рисунок 11

Для сравнения можно отметить, что по результатам экспериментальных исследований, проведенных на действующих сетях GSM, пространственное разнесение приемных антенн на базовой станции дает выигрыш 3-4 дБ.

Принятая структура TDMA кадров и принципы формирования сигналов в стандарте GSM в совокупности с методами капельного кодирования позволили снизить требуемое для приема отношение сигнал/помеха до 9 дБ, тогда как в стандартах аналоговых сотовых сетей связи оно составляет 17-18 дБ.

ОРГАНИЗАЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ И ЛОГИЧЕСКИХ КАНАЛОВ В СТАНДАРТЕ GSM

Частотный план стандарта GSM-900²

Стандарт GSM-900 разработан для создания сотовых систем подвижной связи (ССПС) в следующих полосах частот: 890-915 МГц - для передачи подвижными станциями (линия "вверх"); 935-960 МГц - для передачи базовыми станциями (линия "вниз").

Каждая из полос, выделенных для сетей GSM, разделяется на частотные каналы. Разнос каналов составляет 200 кГц, что позволяет организовать в сетях GSM-900 124 частотных канала. Частоты, выделенные для передачи сообщений подвижной станцией на базовую и в обратном направлении, группируются парами, организуя дуплексный канал с разносом 45 МГц. Эти пары частот сохраняются и при перескоках частоты. Каждая сота характеризуется фиксированным присвоением определенного количества пар частот.

Если обозначить $F_l(p)$ - номер несущей частоты в полосе 890-915 МГц, $F_u(p)$ - номер несущей частоты в полосе 935-960 МГц, то частоты каналов определяются по следующим формулам:

$$F_l(p) = 890,2 + 0,2(p-1), \text{ МГц}; F_u(p) = F_l(p) + 45, \text{ МГц}; 1 < p < 124.$$

Каждая частотная несущая содержит 8 физических каналов, размещенных в 8 временных окнах в пределах TDMA кадра и в последовательности кадров. Каждый физический канал использует одно и то же временное окно в каждом временном TDMA кадре.

До формирования физического канала сообщения и данные, представленные в цифровой форме, группируются и объединяются в логические каналы двух типов: каналы связи - для передачи кодированной речи или данных (ТСН); каналы управления - для передачи сигналов управления и синхронизации (ССН).

Более чем один тип логического канала может быть размещен на одном и том же физическом канале, но только при их соответствующей комбинации.

Структура логических каналов связи

В стандарте GSM различают логические каналы связи двух основных видов: ТСН/F (Full Rate Traffic Channel) - канал передачи сообщений с полной скоростью

22,8 кбит/с (другое обозначение Вт);

ТСН/H (Half Rate Traffic Channel) - канал передачи сообщений с половинной скоростью 11,4 кбит/с (другое обозначение Lm).

Один физический канал может представлять собой канал передачи сообщений с полной скоростью или два канала с половинной скоростью передачи. В первом случае канал связи занимает одно временное окно; во втором - два канала связи занимают то же самое временное окно, но с перемежением в соседних кадрах (т.е. каждый канал - через кадр).

Для передачи кодированной речи и данных предназначены каналы связи следующих типов:

- ТСН/FS (Full Rate Traffic Channel for Speech) - канал для передачи речи с полной скоростью;
- ТСН/HS (Half Rate Traffic Channel for Speech) - канал для передачи речи с половинной скоростью;

² Здесь и далее рассматриваются и приводятся характеристики только для стандарта GSM-900 Фаза 2

- TCH/F 9,6 (Full Rate Traffic Channel for 9,6 kbit/s User Data) - канал передачи данных с полной скоростью 9,6 кбит/с;
- TCH/F 4,8 (Full Rate Traffic Channel for 4,8 kbit/s User Data) - канал передачи данных с полной скоростью 4,8 кбит/с;
- TCH/F 2,4 (Full Rate Traffic Channel for 2,4 kbit/s User Data) - канал передачи данных с полной скоростью 2,4 кбит/с;
- TCH/H 4,8 (Half Rate Traffic Channel for 9,6 kbit/s User Data) - канал передачи данных с половинной скоростью 4,8 кбит/с;
- TCH/H 2,4 (Half Rate Traffic Channel for 9,6 kbit/s User Data) - канал передачи данных с половинной скоростью 2,4 кбит/с.

Скорость передачи цифрового речевого сигнала в канале TCH/FS равна 13 кбит/с (за счет кодирования увеличивается до 22,8 кбит/с в канале TCH/F).

Каналы связи могут передавать широкий набор информационных сообщений, но они не используются для передачи сигналов управления. Кроме того, для передачи данных по каналам связи могут использоваться разные протоколы, например, МККТТ X.25.

Структура логических каналов управления

Каналы управления (CCH) обеспечивают передачу сигналов управления и синхронизации. Различают четыре вида каналов управления:

- BCCH (Broadcast Control Channels) - каналы передачи сигналов управления;
- CCCH (Common Control Channels) - общие каналы управления;
- SDCCH (Stand-alone Dedicated Control Channels) - индивидуальные каналы управления;
- ACCH (Associated Control Channels) - совмещенные каналы управления.

Каналы передачи сигналов управления используются только в направлении с базовой станции на все подвижные станции. Они несут информацию, которая необходима подвижным станциям для работы в системе. Различают три вида каналов передачи сигналов управления BCCH:

- FCCH (Frequency Correction Channel) - канал подстройки частоты, который используется для синхронизации несущей в подвижной станции. По этому каналу передается немодулированная несущая с фиксированным частотным сдвигом относительно номинального значения частоты канала связи;
- SCH (Synchronization Channel) - канал синхронизации, по которому передается информация на подвижную станцию о кадровой (временной) синхронизации;
- BCCH (Broadcast Control Channel) - канал управления передачей, обеспечивает передачу основных команд по управлению передачей (номер общих каналов управления тех из них, которые объединяются с другими каналами, в том числе и с физическими и т.д.).

Используются три типа общих каналов управления CCCH:

- PCH (Paging Channel) - канал вызова, используется только в направлении от базовой станции к подвижной для ее вызова;
- RACH (Random Access Channel) - канал параллельного доступа, используется только в направлении от подвижной станции к базовой для запроса о назначении индивидуального канала управления;
- AGCH (Access Grant Channel) - канал разрешенного доступа, используется только для передачи с базовой станции на подвижную (для выделения специального канала управления, обеспечивающего прямой доступ к каналу связи).

Выделенные индивидуальные каналы управления используются в двух направлениях для связи между базовой и подвижной станциями. Различают два вида таких каналов:

- SDCCH/4 (Stand-alone Dedicated Control Channel) - индивидуальный канал управления, состоит из четырех подканалов;
- SDCCH/8 (Stand-alone Dedicated Control Channel) - индивидуальный канал управления, состоит из восьми подканалов.

Эти каналы предназначены для установки требуемого пользователем вида обслуживания. По ним обеспечивается запрос подвижной станции о требуемом виде обслуживания, контроль правильного ответа базовой станции и выделение свободного канала связи, если это возможно.

Совмещенные каналы управления также используются в двух направлениях между базовой и подвижной станциями. По направлению "вниз" они передают команду управления с базовой станции, а по направлению "вверх" - информацию о статусе подвижной станции. Различают два вида ACCH:

- FACCH (Fast Associated Control Channel) - быстрый совмещенный канал управления, служит для передачи команд при переходе подвижной станции из соты в соту, т.е. при "эстафетной передаче" подвижной станции;
- SACCH (Slow Associated Control Channel) - медленный совмещенный канал управления, по направлению "вниз" передает команды для установки выходного уровня мощности передатчика подвижной станции.

По направлению "вверх" подвижная станция посылает данные, касающиеся уровня установленной выходной мощности, измеренного приемником уровня радиосигнала и его качества.

В совмещенном канале управления всегда содержится один из двух каналов: канал связи или индивидуальный канал управления.

Совмещенные каналы управления всегда объединяются вместе с каналами связи или с индивидуальными каналами управления. При этом различают шесть видов объединенных каналов управления:

- FACCH/F, объединенный с TCH/F;
- FACCH/H, объединенный с TCH/H;
- SACCH/TF, объединенный с TCH/F;
- SACCH/TH, объединенный с TCH/H;
- SACCH/C4, объединенный с SDCCH/4;
- SACCH/C8, объединенный с SDCCH/8.

Состав и назначение логических каналов показаны на Рис.12.

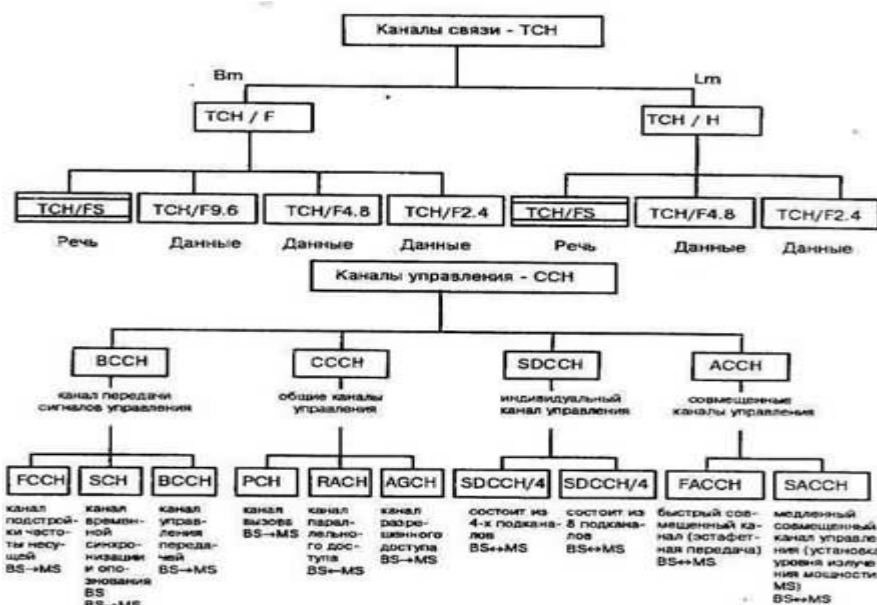


Рисунок 12

Организация физических каналов

Для передачи каналов связи TCH и совмещенных каналов управления FACCH и SACCH используется 26-кадровый мультикадр. Объединение каналов связи с полной и половинной скоростью с медленным совмещенным каналом управления SACCH показано на Рис. 13. В полноразмерном канале связи в каждом 13-м TDMA кадре мультикадра передается пакет информации канала SACCH; каждый 26-й TDMA кадр мультикадра свободен. В полускоростном канале связи пакет информации канала SACCH передается в каждом 13-м и 26-м TDMA кадрах мультикадра.

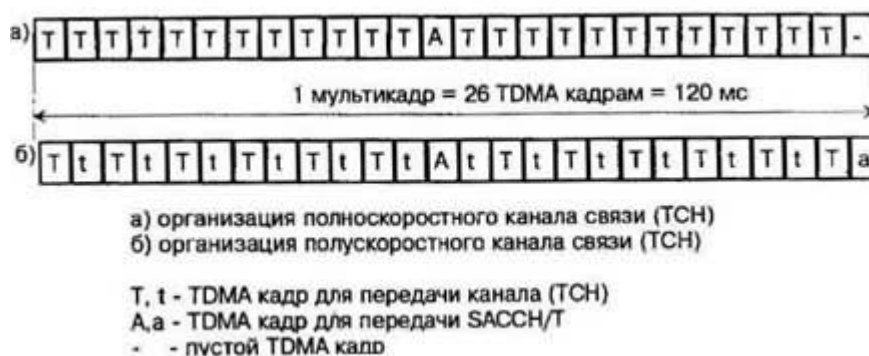


Рисунок 13

Для одного физического канала в каждом TDMA кадре используется 114 бит. Так как в мультикадре для передачи канала связи TCH используется 24 TDMA кадра из 26 и длительность мультикадра составляет 120 мс, общая скорость передачи информационных сообщений по TCH каналу составляет 22,8 кбит/с. Канал SACCH занимает в полноразмерном канале связи только один TDMA кадр, то есть 114 бит, когда скорость передачи по SACCH каналу составит 950 бит/с. Полная скорость передачи в объединенном TCH/SACCH канале с учетом пустого (свободного) 26-го TDMA кадра составит $22,8 + 0,950 + 0,950 = 24,7$ кбит/с.

Как показано на Рис. 13, за время 26-кадрового мультикадра (в одном физическом канале) может передаваться два полускоростных TCH канала, каждый по 12 TDMA кадров (T и t). Пустой 26-й TDMA кадр в полноразмерном канале TCH отводится для канала

В канале передачи сигналов управления (BCCH, "сеть - подвижная станция") передается общая информация о сети (соте), в которой подвижная станция находится в данный момент, и о смежных сотах.

В канале синхронизации (SCH, "сеть - подвижная станция") передается информация о временной (цикловой) синхронизации и опознавании приемопередатчика базовой станции. В канале подстройки частоты (FCCH, "сеть - подвижная станция") передается информация для синхронизации несущей.

Канал параллельного доступа (RACH, "подвижная станция - сеть") используется подвижной станцией в режиме пакетной передачи ALOHA для доступа к сети в случае, если надо пройти регистрацию при включении или сделать вызов.

Канал разрешенного доступа (AGCH, "сеть - подвижная станция") используется для занятия специальных видов обслуживания (SDCCCH или TCH) подвижной станцией, которая ранее запрашивала их через канал RACH.

Канал вызова (PCH, "сеть - подвижная станция") используется для вызова подвижной станции в случае, когда инициатором вызова является сеть (абонент сети).

На Рис. 14 а, б показано отображение рассматриваемых каналов на одном физическом канале в структуре 51-кадрового мультикадра.

Линия "вверх" BCCH/CCCH каналов используется только для передачи канала параллельного доступа RACH, который является единственным каналом управления от подвижной станции к сети. Подвижная станция может использовать нулевой временной интервал в любом из кадров для осуществления доступа к сети.

На линии "вниз" 51 кадр группируется в 5 групп по 10 кадров, при этом один кадр остается свободным, каждая из этих групп начинается с канала FCCH, за которым следует канал SCH. Остальные 8 кадров в каждой группе образуют два блока из четырех кадров. Первый блок первой группы предназначен для канала CCCH, тогда как другие 9 блоков (они называются блоками передачи сигнала вызова) используются для передачи каналов PCH и AGCH общего канала управления CCCH. Таким образом, в рассматриваемом случае: 4 кадра используются для канала BCCH, 5 - для FCCH, 5 - для SCH и 36 либо для AGCH, либо для PCH (9 блоков вызова).

Каждая подвижная станция может занимать один из девяти блоков вызова, но каждый вызывной блок может использоваться для вызова более одной станции.

Полная скорость передачи для канала BCCH, а также для канала AGCH/PCH составляет 1,94 кбит/с (4x114 бит за 235 мс).

Существуют и другие переменные структуры, которые могут использоваться в 51-кадровом мультикадре. "Переменными" их называют потому, что их структура изменяется в зависимости от нагрузки в соте. В одном случае может рассматриваться индивидуальный канал управления 8SDCCCH/8 в одном физическом канале (Рис. 14 в, г). Однако, если нагрузка в соте мала, структуру BCCH/CCCH можно объединить с индивидуальным каналом управления SDCCCH/4 (Рис. 14 д, е) в одном физическом канале. Если сота испытывает большую нагрузку, одного физического канала может быть недостаточно для всего трафика BCCH/CCCH. В этом случае временные интервалы 2, 4 и 6 в структуре BCCH также используют для этой цели, однако в этом случае передаются пустые интервалы вместо SCH и FCCH.

Отображение логических каналов на физические каналы осуществляется через процессы кодирования и шифрования передаваемых сообщений.

Для защиты логических каналов от ошибок, которые имеют место в процессе передачи, используют три вида кодирования:

- блочное - для быстрого обнаружения ошибок при приеме;
- сверточное - для исправления одиночных ошибок;

- перемежение - для преобразования пакетов ошибок в одиночные.

Для защиты каналов от подслушивания в каналах связи и управления применяется шифрование.

Для передачи сообщений по физическим каналам используется гауссовская частотная манипуляция с минимальным частотным сдвигом (GMSK).

Модуляция радиосигнала

В стандарте GSM применяется спектрально-эффективная гауссовская частотная манипуляция с минимальным частотным сдвигом (GMSK). Манипуляция называется "гауссовской" потому, что последовательность информационных бит до модулятора проходит через фильтр нижних частот (ФНЧ) с характеристикой Гаусса, что дает значительное уменьшение полосы частот излучаемого радиосигнала. Формирование GMSK радиосигнала осуществляется таким образом, что на интервале одного информационного бита фаза несущей изменяется на 90° . Это наименьшее возможное изменение фазы, распознаваемое при данном типе модуляции. Непрерывное изменение фазы синусоидального сигнала дает в результате частотную модуляцию с дискретным изменением частоты. Применение фильтра Гаусса позволяет при дискретном изменении частоты получить "гладкие переходы". В стандарте GSM применяется GMSK-модуляция с величиной нормированной полосы $BT = 0,3$, где B - ширина полосы фильтра по уровню минус 3 дБ, T - длительность одного бита цифрового сообщения. Принципиальная схема модулятора показана на Рис. 15.

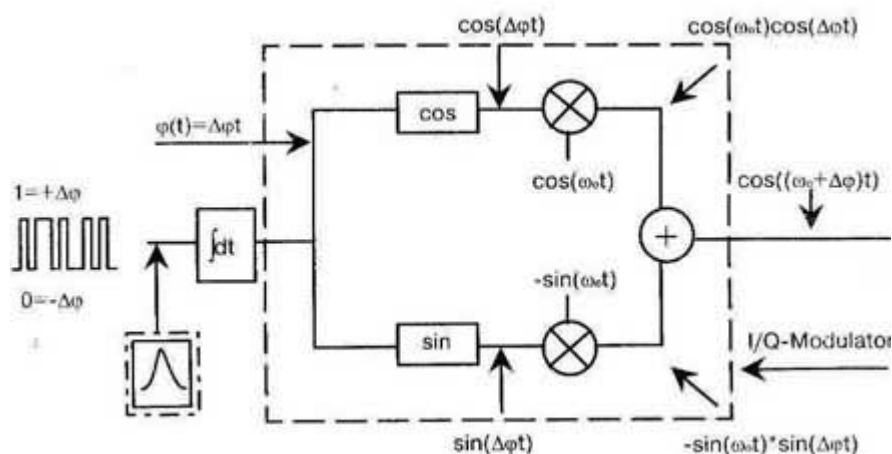


Рисунок 15

Основой формирователя GMSK-сигнала является квадратурный (I/Q) модулятор. Схема состоит из двух умножителей и одного сумматора. Задача этой схемы заключается в том, чтобы обеспечить непрерывную, очень точную фазовую модуляцию. Один умножитель изменяет амплитуду синусоидального, а второй косинусоидального колебания. Входной сигнал до умножителя разбивается на две квадратурные составляющие. Разложение происходит в двух обозначенных "sin" и "cos" блоках.

Модуляцию GMSK отличают следующие свойства, которые предпочтительны для подвижной связи:

- постоянная по уровню огибающая, которая позволяет использовать эффективные передающие устройства с усилителями мощности в режиме класса С;
- компактный спектр на выходе усилителя мощности передающего устройства, обеспечивающий низкий уровень внеполосного излучения;
- хорошие характеристики помехоустойчивости канала связи.

КОДИРОВАНИЕ И ПЕРЕМЕЖЕНИЕ В КАНАЛАХ СВЯЗИ И УПРАВЛЕНИЯ СТАНДАРТА GSM

Общая структурная схема кодирования и перемежения в стандарте GSM

Для защиты от ошибок в радиоканалах подвижной связи GSM PLMN используются сверточное и блочное кодирование с перемежением. Перемежение обеспечивает преобразование пакетов ошибок в одиночные. Сверточное кодирование является мощным средством борьбы с одиночными ошибками. Блочное кодирование, главным образом, используется для обнаружения нескорректированных ошибок.

Блочный код (n, k, t) преобразует k информационных символов в n символов путем добавления символов четности $(n-k)$, а также может корректировать t ошибок символов.

Сверточные коды (СК) относятся к классу непрерывных помехоустойчивых кодов. Одной из основных характеристик СК является величина K , которая называется длиной кодового ограничения, и показывает, на какое максимальное число выходных символов влияет данный информационный символ. Так как сложность декодирования СК по наиболее выгодному, с точки зрения реализации, алгоритму Витерби возрастает экспоненциально с увеличением длины кодового ограничения, то типовые значения K малы и лежат в интервале 3-10. Другой недостаток СК заключается в том, что они не могут обнаруживать ошибки. Поэтому в стандарте GSM для внешнего обнаружения ошибок используется блочный код на основе сверточного кода $(2, 1, 5)$ со скоростью $r=1/2$. Наибольший выигрыш СК обеспечивает только при одиночных (случайных) ошибках в канале.

В каналах с замираниями, что имеет место в GSM PLMN, необходимо использовать СК совместно с перемежением.

В GSM PLMN основные свойства речевых каналов и каналов управления значительно отличаются друг от друга. Для речевых каналов необходима связь в реальном масштабе времени с короткими задержками при сравнительно низких требованиях к вероятности ошибки в канале. Для каналов управления требуется абсолютная целостность данных и обнаружения ошибок, но допускается более длительное время передачи и задержки.

В соответствии с общей структурой кадров в стандарте GSM передача информационных сообщений и сигналов управления осуществляется в нормальном временном интервале (NB) TDMA кадра. Структура NB (два пакета по 57 информационных бит каждый) требует, чтобы количество кодированных бит m , соответствующих n - некодированным битам в общей схеме кодирования и перемежения, равнялась бы целому числу, кратному 19. Затем эти биты зашифровываются и объединяются в I групп. Количество бит в этих группах также должно равняться 19, I групп переходят в I временных интервалов. Номер I называется степенью перемежения.

В различных логических каналах используются различные сверточные коды, поскольку скорости передачи и требования по защите от ошибок также различны. Для упрощения механизмов кодирования и декодирования для формирования кодов используются только несколько полиномов. Это позволяет использовать сверточный код с одной скоростью $r=1/2$. Однако, чтобы выполнить требования формирования полноскоростного канала связи, а также привести в соответствие структуру размещения бит со структурой кадров необходима скорость $r=244/456=0,535$. Для выравнивания скорости в речевом канале до $r=1/2$ применяют прореживание, то есть периодический пропуск некоторых кодированных символов. Такая операция называется перфорированием, а формируемые таким образом коды называются перфорированными. При приеме декодер, зная алгоритм прореживания, интерполирует принимаемые данные.

При передаче логического быстрого совмещенного канала управления FACH перфорирование не используется.

Сверточное кодирование и перемежение в полноскоростном речевом канале

Кодирование осуществляется следующим образом: биты класса 1 разделяются дополнительно на 50 бит класса 1а и 132 бита класса 1б. Биты класса 1а дополняются тремя битами проверки на четкость (Рис. 16).

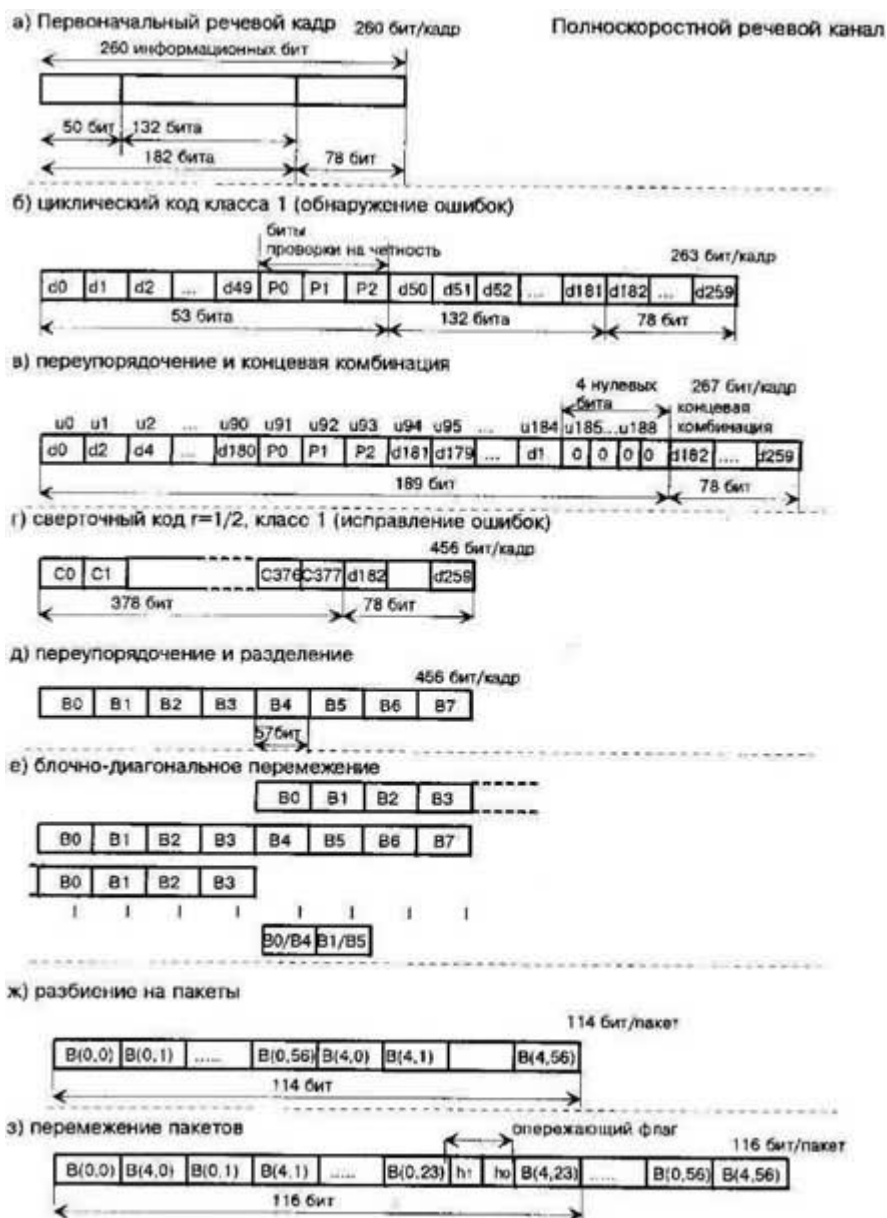


Рисунок 16

Блочный код представляет собой укороченный систематический циклический код (53, 50) с формирующим полиномом вида $(D)=D^3+D+1$.

В соответствии с принятым правилом формирования систематического кода, ключ Sw закрыт на время первых пяти-десяти тактовых импульсов, а информационные биты, поступающие на вход кодирующего устройства, одновременно поступают на блок переупорядочения и формирования бит проверки на четкость (Рис. 17).

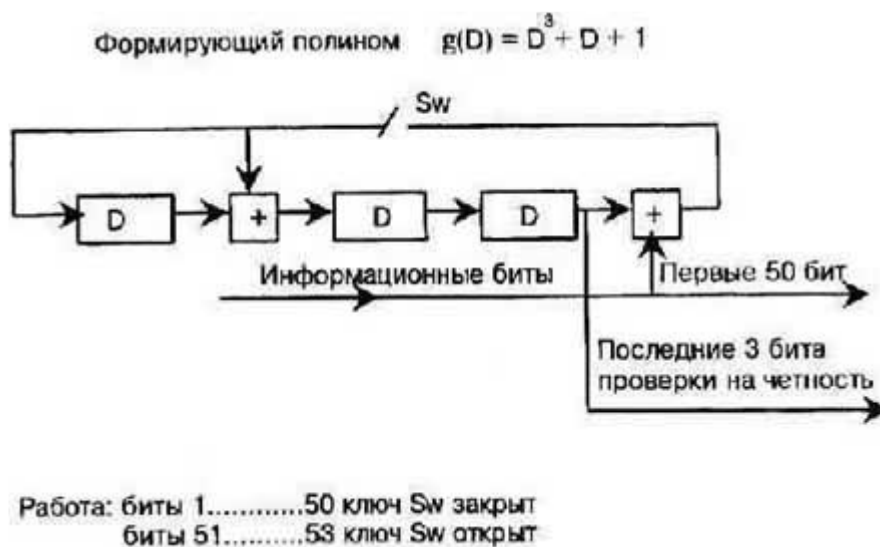


Рисунок 17

После пятидесяти тактовых импульсов переключатель Sw срабатывает и биты проверки на четность поступают из кодирующего устройства. Сформированный в результате кадр показан на Рис. 16. На этой стадии проводится первый шаг перемежения, показанный на Рис. 16. Биты с четными индексами собираются в первой части информационного слова, за которыми следуют три бита проверки на четность. Затем биты с нечетными индексами запоминаются в буферной памяти и переставляются так, как показано на Рис. 16 в. Далее следуют четыре нулевых бита, которые необходимы для работы кодера, формирующего код, исправляющий случайные ошибки в канале. После чего 189 бит класса 1 кодируются сверточным кодом $(2,1,5)$ со скоростью $\gamma=1/2$. Структурная схема кодера и его формирующие полиномы приведены на Рис. 18

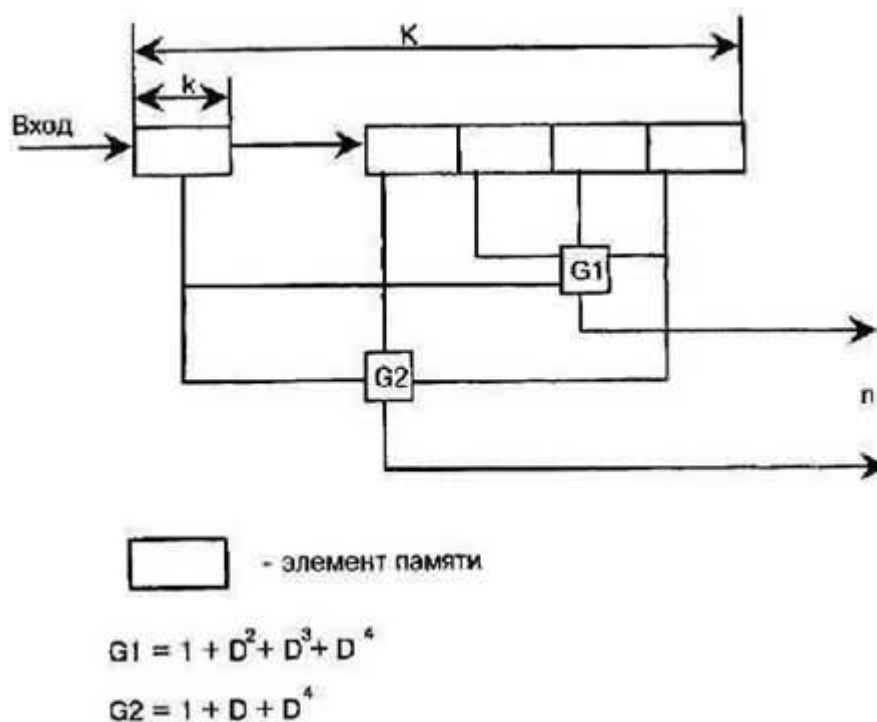


Рисунок 18

Как показано на Рис. 16г, после сверточного кодирования общая длина кадра составляет $2 \times 189 + 78^{456}$ бит. После этого кадр из 456 бит делится на восемь 57 битовых подблоков (Рис. 16д), которые подвергаются диагональному и внутрикадровому перемежению (Рис. 16). Результаты перемежения показаны на Рис. 16 ж, з. Более точно, подблоки В₀ и В₄ формируются в пакеты по 114 бит, которые являются результатом блочно-диагонального перемежения (D1/B). На Рис. 16е биты В₀ и В₄ подблоков попарно перемежаются, образуя процесс внутрикадрового битового перемежения (1B1/B). В результирующий пакет (Рис. 16) включены два опережающих флага h_1, h_0 , которые используются для классификации различных пакетов передачи.

Кодирование и перемежение в полноскоростном канале передачи данных

Для повышения эффективности применения сверточного кодирования в полноскоростных каналах передачи данных необходим длительный период перемежения. В этих каналах внутрикадровое перемежение (1B1/B) реализуется для степени перемежения 1^{19} , что приводит к задержке передачи данных на $19 \times 116 = 2204$ бит. Если биты 1-го пакета (временного интервала) до перемежения обозначить как $C(K, t)$, $t=1 \dots 116$, то схема перемежения, то есть позиции бит после перемежения, определяются следующей формулой: $1(K + j, j + 19t) = C(K, m)$ для всех $K, j = m \bmod 19, t = m \bmod 6$. Эта схема перемежения иллюстрируется примером на Рис. 19.

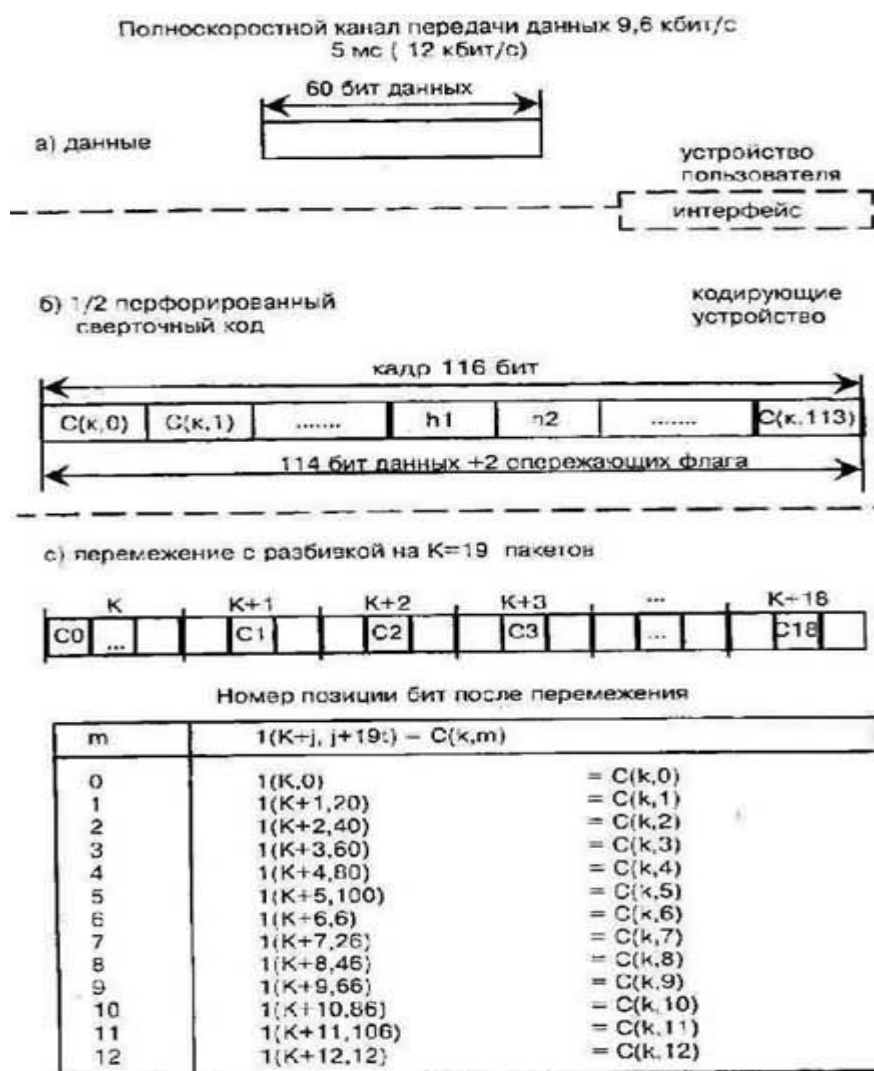


Рисунок 19

Кодирование и перемежение в каналах управления

На Рис.20 показан принцип защиты от ошибок данных, передаваемых по каналам управления. Эта схема используется для всех логических каналов управления, за исключением блоков данных в канале синхронизации (SCH) и данных в канале параллельного доступа (RACH). Радиосистема принимает по линии передачи данных блоки длиной $p=184$ бита. Сначала они защищаются укороченным двоичным циклическим кодом (Fire код) с формирующим полиномом вида:

$$(D)=(D^{184} + 1) \cdot (D^{184} + D^{183} + 1)$$

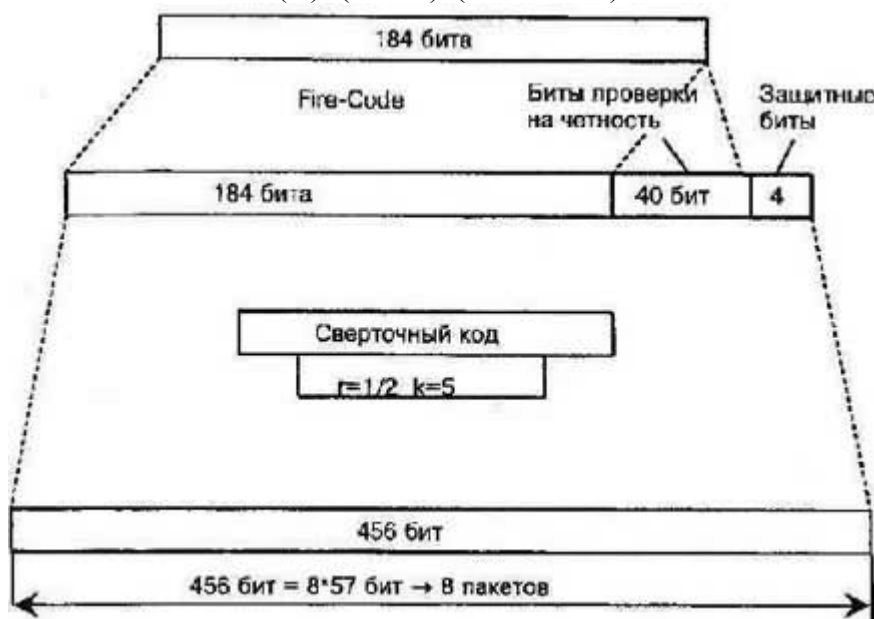


Рисунок 20

В систематическом виде последовательность закодированных циклическим кодом информационных бит над полем $GF(2)$ отображается полиномом вида $U(0) \cdot 0223 + \dots + U(222) \cdot D^{222} + U(223) \cdot D^{223}$, где $U(0), U(1), \dots, U(183)$ - информационные биты. $U(184), U(185), \dots, U(223)$ - биты проверки на четность.

В результате сформированный блок из 224 бит (включая 40 бит проверки на четность) дополняется четырьмя концевыми (нулевыми) битами для получения равной защиты для последних бит.

Заметим, что этот же способ уже использовался для формирования временных интервалов TDMA кадра, в котором предусматриваются 3 защитных бита для обеспечения правильного восстановления последних 5 бит в эквалайзере.

Полученная в результате блочного кодирования последовательность подвергается кодированию сверточным кодом со скоростью $r=1/2$ (идентичен коду в канале TCH/FS), который задается полиномами $G_0 = 1 + 03 + 04$ $G_1 = 1 + 0 + 02 + 04$.

В результате сверточного кодирования формируется блок из 456 закодированных бит $\{C(0), \dots, C(455)\}$.

Так же как и в полноскоростном речевом канале (рис. 3.4), полученная закодированная последовательность подвергается упорядочению и раз делению на 8 по 57-бит пакетов ($B_0 \dots B_7$). Каждый пакет состоит из блоков. Блок j , обозначаемый $V_j = \{b(j,0), b(j,1), \dots, b(j,56)\}$, формируемых из 456 закодированных бит по правилу $b(j,i) = c(k)$, определяемому специальной таблицей.

Блочное-диагональное и внутрикадровое перемежение осуществляются так же, как и в полноскоростном речевом канале (рис. 16е).

Полная последовательность выполнения операций кодирования и перемежения для всех каналов связи и управления GSM показана на Рис. 21.

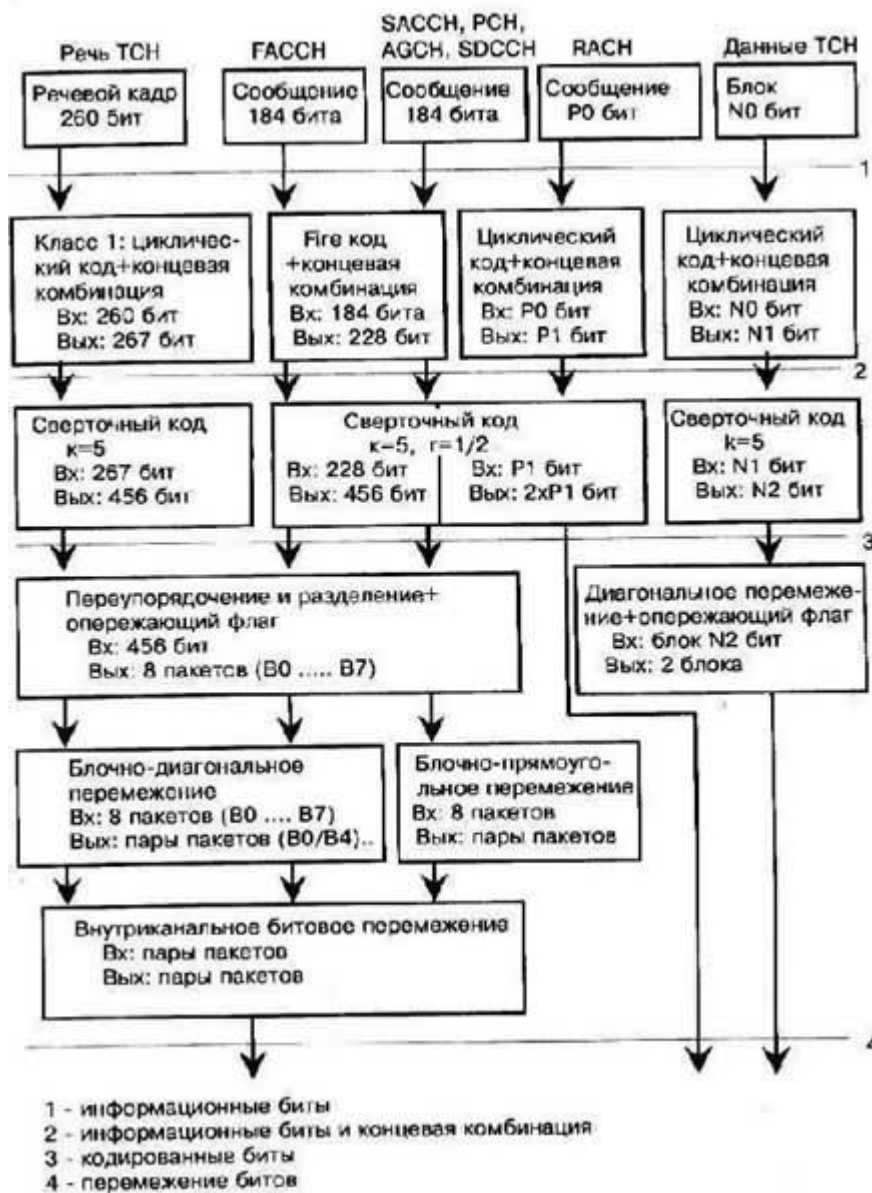


Рисунок 21

В представленной схеме для каналов управления SACCH, PCN, AGCH, SDCCH используется блочное прямоугольное перемежение/деперемежение. При перемежении кода (n, k, t) n -символьных длинных кодированных слов записываются кодирующим устройством в память перемежителя строка за строкой, а затем передаются в модулятор столбец за столбцом. В приемнике после демодулятора деперемежитель обратной операцией восстанавливает первоначальный порядок символов, после чего осуществляется декодирование.

ОБРАБОТКА РЕЧИ В СТАНДАРТЕ GSM

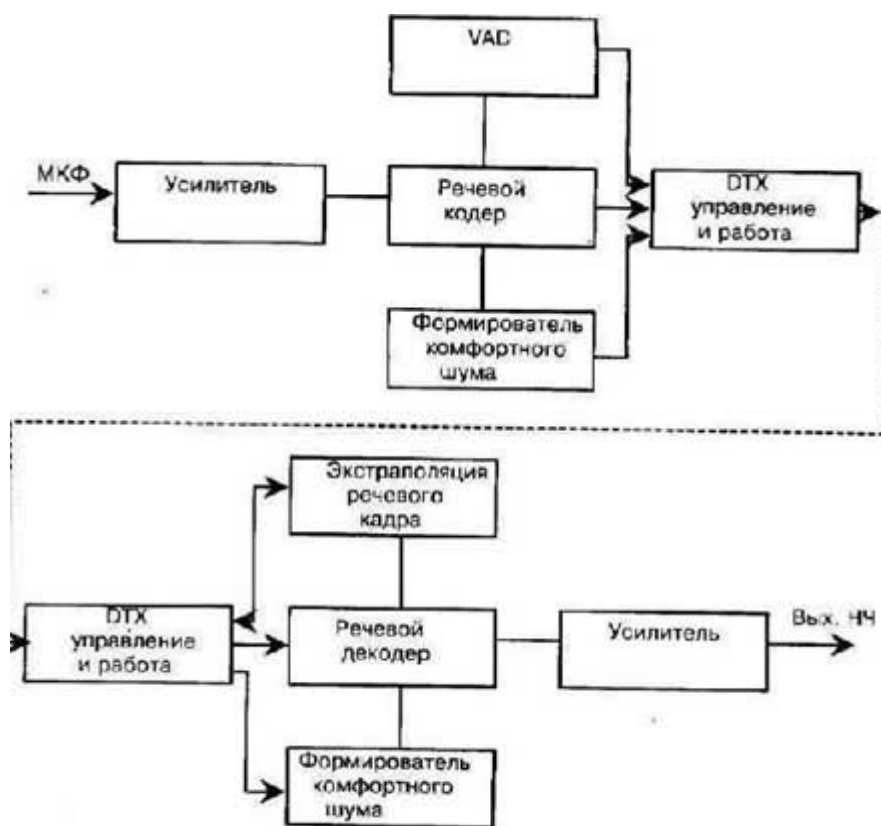
Общее описание процессов обработки речи

Процессы обработки речи в стандарте GSM направлены на обеспечение высокого качества передаваемых сообщений, реализацию дополнительных сервисных возможностей и повышение потребительских качеств абонентских терминалов.

Обработка речи осуществляется в рамках принятой системы прерывистой передачи речи. Система прерывистой передачи речи (DTX) обеспечивает включение передатчика только тогда, когда пользователь начинает разговор и отключает его в паузах и в конце разговора. DTX управляется детектором активности речи (VAD), который обеспечивает обнаружение и выделение интервалов передачи речи с шумом и шума без речи даже в тех случаях, когда уровень шума соизмерим с уровнем речи. В состав системы прерывистой передачи речи входит также устройство формирования комфортного шума, который включается и прослушивается в паузах речи, когда передатчик отключен.

Экспериментально показано, что отключение фонового шума на выходе приемника в паузах при отключении передатчика раздражает абонента и снижает разборчивость речи, поэтому применение комфортного шума в паузах считается необходимым. DTX процесс в приемнике включает также интерполяцию фрагментов речи, потерянных из-за ошибок в канале.

Структурная схема процессов обработки речи в стандарте GSM показана на Рис. 22, главным устройством в этой схеме является речевой кодек.



VAD - Voice Activity Detector - детектор активности речи
DTX - Discontinuous Transmission- система прерывистой передачи речи

Рисунок 22

Выбор речевого кодека для стандарта GSM

Рабочей группой по разработке стандарта GSM были предъявлены следующие основные требования к речевому кодексу:

- - высокое качество речи, не уступающее качеству передачи речи в лучших существующих аналоговых сотовых системах связи;
- - низкая скорость передачи речи, обеспечивающая возможность эффективного канального кодирования и результирующую скорость передачи в канале связи не выше 16 кбит/с;
- - малую задержку сообщения в процессе преобразования речи;
- - устойчивость к ошибкам в канале передачи;
- - возможность работы в широком динамическом диапазоне входных воздействий как сигнала, так и шума;
- - большой динамический диапазон выходных сигналов;
- - незначительное снижение качества речи при каскадном соединении кодеков;
- - прозрачность для сигналов данных;
- - прямое сопряжение со смежными устройствами терминалов;
- - простота реализации;
- - малое потребление;
- - низкая стоимость.

Для выбора речевого кодека GSM был организован конкурс проектов. Первоначально для рассмотрения было предложено 20 различных кодеков от 9 европейских стран. После международного формального тестирования это количество было сокращено до 6 из 6 стран. На следующем этапе два из четырех подполосных (SBC) кодеков (норвежский и итальянский) были сняты с рассмотрения, к окончательному этапу конкурса осталось два SBC кодека и два кодека в предикативном кодировании:

- RPE-LPC - Regular-Pulse Excitation/Linear Predicative Coding (Германия, Philips) -кодек с регулярным импульсным возбуждением и линейным кодированием с предсказанием;
- MPE-LTP - Multi-Pulse Excitation/Long-Term Prediction (Франция, IBM) -кодек с многоимпульсным возбуждением и долговременным предсказанием.

На втором этапе происходит дальнейшее снижение динамического диапазона за счет долговременного предсказания, в процессе которого каждый сегмент выравнивается до уровня следующих друг за другом сегментов речи. В принципе, LTP фильтр вычитает предыдущий период сигнала из текущего периода. Этот фильтр характеризуется параметром задержки N и коэффициентом усиления β . Период вычисления этих параметров равен 5 мс. Восемь коэффициентов $\gamma(i)$ LPC анализирующего фильтра и параметры фильтра LTP анализа кодируются и передаются со скоростью 3,6 кбит/с. Для формирования последовательности возбуждения остаточный сигнал пропускают через фильтр нижних частот с частотой среза 3-4 кГц.

Окончательно периодическая последовательность фрагментов передается со скоростью 9,4 кбит/с. Общая скорость передачи составляет $3,6+9,4 = 13$ кбит/с.

В декодере речевой сигнал восстанавливается по откликам последовательности регулярного импульсного возбуждения (RPE) двухступенчатым синтезирующим фильтром, как показано на Рис. 23.

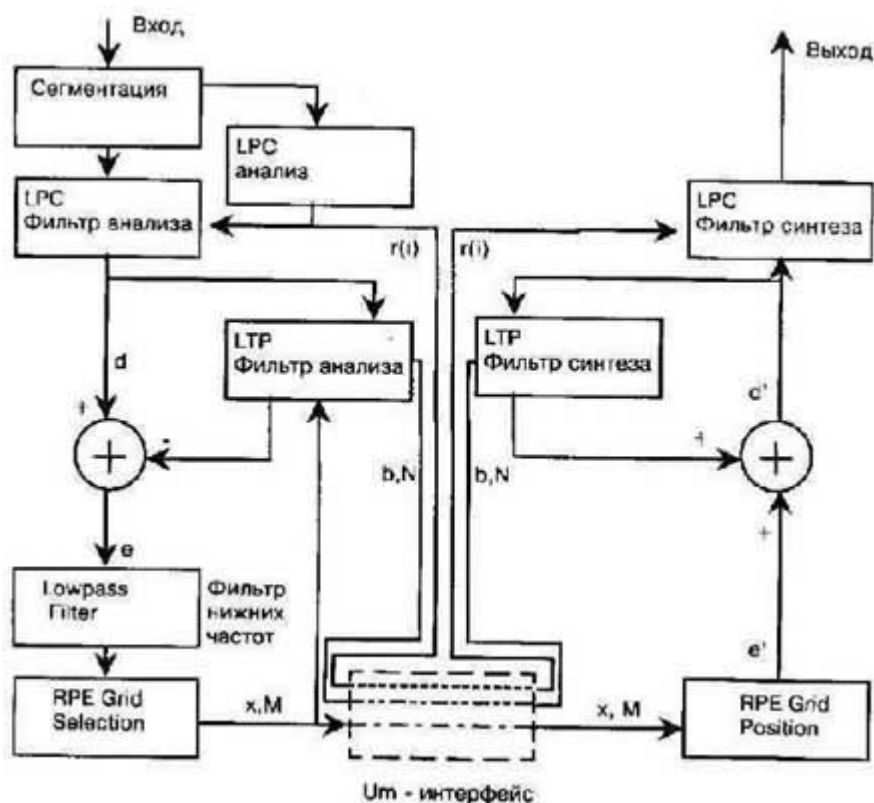


Рисунок 23

При этом качество речи соответствует качеству речи, передаваемой по ISDN, и превосходит качество речи в аналоговых радиотелефонных системах.

Теоретически время задержки речевого сигнала в кодек равно длительности сегмента и составляет 20 мс. Реальное время задержки, с учетом операций канального кодирования и перемежения, а также физического выполнения рассматриваемых операций, составляет 70-80 мс.

Детектор активности речи

Детектор активности речи (VAD) играет решающую роль в снижении потребления энергии от аккумуляторной батареи в портативных абонентских терминалах. Он также снижает интерференционные помехи за счет переключения свободных каналов в пассивный режим. Реализация VAD зависит от типа применяемого речевого кодека. Главная задача при проектировании VAD - обеспечить надежное отличие между условиями активного и пассивного каналов. Если канал на мгновение свободен, его можно заблокировать, поскольку средняя активность речи говорящего ниже 50%, то это может привести к существенной экономии энергии аккумуляторной батареи. К устройствам VAD предъявляются следующие основные требования:

- - минимизация вероятности ложной тревоги при воздействии только шума с высоким уровнем;
- - высокая вероятность правильного обнаружения речи низкого уровня;
- - высокое быстродействие распознавания речи, для исключения задержек включения;
- - минимальное время задержки выключения.

В стандарте GSM принята схема VAD с обработкой в частотной области. Структурная схема VAD приведена на Рис. 24.

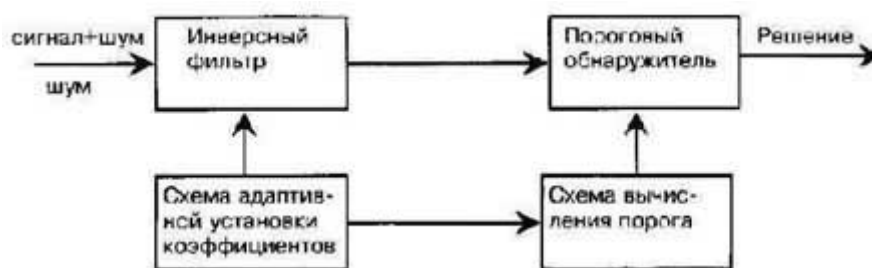


Рисунок 24

Ее работа основана на различии спектральных характеристик речи и шума. Считается, что фоновый шум является стационарным в течение относительно большого периода времени, его спектр также медленно изменяется во времени. VAD определяет спектральные отклонения входного воздействия от спектра фонового шума. Эта операция осуществляется инверсным фильтром, коэффициенты которого устанавливаются применительно к воздействию на входе только фонового шума. При наличии на входе речи и шума инверсный фильтр осуществляет подавление компонентов шума и, в целом, снижает его интенсивность. Энергия смеси сигнал + шум на выходе инверсного фильтра сравнивается с порогом, который устанавливается в период воздействия на входе только шума. Этот порог находится выше уровня энергии шумового сигнала. Превышение порогового уровня принимается за наличие на входе реализации (сигнал + шум). Коэффициенты инверсного фильтра и уровень порога изменяются во времени в зависимости от текущего значения уровня шума при воздействии на входе только шума. Поскольку эти параметры (коэффициенты и порог) используются детектором VAD для обнаружения речи, сам VAD не может на этой же основе принимать решение, когда их изменять. Это решение принимается вторичным VAD на основе сравнения огибающих спектров в последовательные моменты времени. Если они аналогичны для относительно длительного периода времени, предполагается, что имеет место шум, и коэффициенты фильтра и шумовой порог можно изменять, то есть адаптировать под текущий уровень и спектральные характеристики входного шума.

VAD с обработкой в спектральной области удачно сочетается с речевым RPE/LTP-LPC коде-ком, так как в процессе LPC анализа уже определяется огибающая спектра входного воздействия, необходимая для работы вторичного VAD.

Формирование комфортного шума

Формирование комфортного шума осуществляется в паузах активной речи и управляется речевым декодером. Когда детектор активности речи (VAD) в передатчике обнаружит, что говорящий прекращает разговор, передатчик остается еще включенным в течение следующих пяти речевых кадров. Во время первых четырех из них характеристики фонового шума оцениваются путем усреднения коэффициента усиления и коэффициентов фильтра LPC анализа. Эти усредненные значения передаются в следующем пятом кадре, в котором содержат информацию о комфортном шуме (SID кадр).

В речевом декодере комфортный шум генерируется на основе LPC анализа SID кадра. Чтобы исключить раздражающее влияние модуляции шума, комфортный шум должен соответствовать по амплитуде и спектру реальному фоновому шуму в месте передачи. В условиях подвижной связи фоновый шум может постоянно изменяться. Это значит, что характеристики шума должны передаваться с передающей стороны на приемную сторону не только в конце каждого речевого всплеска, но и в речевых паузах так, чтобы между комфортным и реальным шумом не было бы резких рассогласований в следующих речевых кадрах. По этой причине SID кадры посылаются каждые 480 мс в течение речевых пауз.

Динамическое изменение характеристик комфортного шума обеспечивает натуральность воспроизведения речевого сообщения при использовании системы прерывистой передачи речи.

Экстраполяция потерянного речевого кадра

В условиях замираний сигналов в подвижной связи речевые фрагменты могут подвергаться значительным искажениям. При этом для исключения раздражающего эффекта при воспроизведении необходимо осуществлять экстраполяцию речевого кадра.

Было установлено, что потеря одного речевого кадра может быть значительно компенсирована путем повторения предыдущего фрагмента. При значительных по продолжительности перерывах в связи предыдущий фрагмент больше не повторяется, и сигнал на выходе речевого декодера постепенно заглушается, чтобы указать пользователю на разрушение канала.

То же самое происходит и с SID кадром. Если SID кадр потерян во время речевой паузы, то формируется комфортный шум с параметрами предыдущего SID кадра. Если потерян еще один SID кадр, то комфортный шум постепенно заглушается.

Применение экстраполяции речи при цифровой передаче, формирование плавных акустических переходов при замираниях сигнала в каналах в совокупности с полным DTX процессом значительно улучшает потребительские качества связи с GSM PLMN по сравнению с существующими аналоговыми сотовыми системами связи.

АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОСТИ В СТАНДАРТЕ GSM

Общее описание характеристик безопасности

Сотовые системы подвижной связи нового поколения в состоянии принять всех потенциальных пользователей, если будут гарантированы безопасность связи: секретность и аутентификация. Секретность должна исключить возможность извлечения информации из каналов связи кому-либо, кроме санкционированного получателя. Проблема аутентификации заключается в том, чтобы помешать кому-либо, кроме санкционированного пользователя (отправителя), изменить канал, то есть получатель должен быть уверен, что в настоящий момент он принимает сообщение от санкционированного пользователя. Основным способом обеспечения секретности является шифрование. Относительно новая концепция - использование шифрования как способа аутентификации сообщений.

Аутентификация сообщений через шифрование осуществляется за счет включения в текст так называемого кода идентификации (то есть фиксированного или зависящего от передаваемых данных слова, которое знают отправитель и получатель или которое они могут выделить в процессе передачи). Получатель расшифровывает сообщение, путем сравнения получает удостоверение, что принимаемые данные являются именно данными санкционированного отправителя.

К системе шифрования предъявляются следующие основные требования:

- нелинейные связи между исходным текстом и зашифрованным текстом;
- изменение параметров шифрования во времени.

Если алгоритмы шифрования отвечают первому требованию, то, не зная ключа, исключается возможность изменить код идентификации, чтобы избежать обнаружения факта несанкционированного доступа. Второе требование исключает возможность нарушения работы системы за счет воспроизведения "обнаружителем" принятого ранее и записанного в память сообщения.

Один путь обеспечения этих требований - применение синхронных систем передачи, но при этом необходимы системы цикловой и тактовой синхронизации, что во многих случаях неприемлемо.

Второй путь - включение в информационную последовательность (каждое сообщение) временных меток так, чтобы зашифрованные данные были бы однозначно с ними связаны. Алгоритмы шифрования делятся на два класса:

- - классические алгоритмы;
- - алгоритмы с открытым ключом.

Классические алгоритмы используют один ключ для шифрования-дешифрования. Алгоритмы с открытым ключом используют два ключа:

- первый - для перехода от нешифрованного текста к зашифрованному;
- второй - для обратного перехода от зашифрованного к нешифрованному.

Причем знание одного ключа не должно обеспечить обнаружение второго ключа. В этих алгоритмах один из ключей, обычно используемый для шифрования, можно сделать общим, и только ключ, используемый для расшифровки, должен быть засекречен. Эта особенность очень полезна для снижения сложности протокола и интеграции структур шифрования в сетях связи.

Алгоритмы шифрования с открытым ключом построены на определении односторонней функции, то есть некоторой функции f , такой, что для любого x из ее области

определения $f(x)$ легко вычислима, однако практически для всех y из ее области значений нахождение x , для которого $y=f(x)$ вычислительно, не осуществимо. То есть, односторонняя функция является отдельной функцией, которая легко рассчитывается ЭВМ в приемлемом объеме времени, но время расчета обратной функции в существующих условиях недопустимо большое.

Первый алгоритм шифрования с общим ключом был назван RSA (первые буквы фамилий авторов Rivest, Shamir, Adieman). Алгоритм базируется на двух функциях E и D , связанных соотношением:

$$D(E(*)) = E(D(*)).$$

Одна из этих функций используется для шифрования сообщений, другая - для дешифрования. Секретность алгоритма основана на том, что знание функции E (или D) не открывает легкого способа вычисления D (или E). Каждый пользователь делает общей функцию E и хранит в секрете функцию D , то есть для пользователя X есть открытый ключ E_x и секретный D_x .

Два пользователя A и B могут использовать алгоритм RSA, чтобы передать любое зашифрованное сообщение. Если абонент A хочет отправить сообщение M абоненту B , то он может сделать это следующим образом:

- - зашифровать сообщение M ;
- - подписать сообщение M ;
- - зашифровать и подписать M .

В первом случае: A обеспечивает преобразование M , используя открытый ключ $C = E_b(M)$

и посылает его абоненту B . B принимает C и вычисляет $db(c) = db(E_b(M)) = M$.

Во втором случае: A подписывает M посредством вычисления $F = D_a(M)$ и посылает F абоненту B (эти операции может осуществлять только пользователь A , которому известен секретный ключ D_a). B получает F и вычисляет $E_a(F) = E_a(D_a(M)) = M$.

В теперь известно, что сообщение M действительно послано пользователем A . В этом случае секретность сообщения M не гарантируется, так как все могут осуществить такую же операцию с использованием общего ключа E_a .

В третьем случае: A вычисляет

$$F = D_a(M) \text{ и } C = E_b(F) = E_b(D_a(M));$$

A посылает C к B . B получает C и вычисляет $db(c) = db(E_b(F)) = D_a(M)$; B может теперь легко получить M , вычислив:

$$E_a(D_a(M)) = M.$$

До операции шифрования и подшей каждое сообщение M должно разделяться на блоки фиксированной длины, затем каждый блок кодируется как совокупность фиксированного числа цифр. RSA кодер оперирует такими отдельными блоками в каждом цикле кодирования.

Алгоритм шифрования с открытым ключом RSA обеспечивает высокую степень безопасности передачи речевых сообщений и рекомендован к использованию в цифровых системах подвижной радиосвязи нового поколения.

В стандарте GSM термин "безопасность" понимается как исключение несанкционированного использования системы и обеспечение секретности переговоров подвижных абонентов. Определены следующие механизмы безопасности в стандарте GSM:

- аутентификация;
- секретность передачи данных;
- секретность абонента;
- секретность направлений соединения абонентов.

Защита сигналов управления и данных пользователя осуществляется только по радиоканалу. Режимы секретности в стандарте GSM определяются Рекомендациями, приведенными в Таблице 2.

Таблица 3

Аспекты секретности	Определяет характеристики безопасности, применяемые в сетях GSM. Регламентируется их применение в подвижных станциях и сетях	
GSM 03.20	Секретность, связанная с функциями сети	Определяет функции сети, необходимые для обеспечения характеристик безопасности, рассматриваемых в рекомендациях GSM 02.09
GSM 03.21	Алгоритмы секретности	Определяет криптографические алгоритмы в системе связи
GSM 02.17	Модули подлинности абонентов (SIM)	Определяет основные характеристики модуля SIM

Рассмотрим последовательно механизмы безопасности в стандарте GSM, общий состав секретной информации, а также ее распределение в аппаратных средствах GSM системы. При этом будем использовать термины и обозначения, принятые в рекомендациях GSM.

Механизмы аутентификации

Для исключения несанкционированного использования ресурсов системы связи вводятся и определяются механизмы аутентификации - удостоверения подлинности абонента. Каждый подвижный абонент на время пользования системой связи получает стандартный модуль подлинности абонента (SIM-карту), который содержит:

- - международный идентификационный номер подвижного абонента (IMSI);
- - свой индивидуальный ключ аутентификации (Ki);
- - алгоритм аутентификации (A3).

С помощью заложенной в SIM информации в результате взаимного обмена данными между подвижной станцией и сетью осуществляется полный цикл аутентификации и разрешается доступ абонента к сети.

Процедура проверки сетью подлинности абонента реализуется следующим образом. Сеть передает случайный номер (RAND) на подвижную станцию. Подвижная станция определяет значение отклика (SRES), используя RAND, Ki и алгоритм A3:

$$SRES = Ki [RAND]$$

Подвижная станция посылает вычисленное значение SRES в сеть, которая сверяет значение принятого SRES со значением SRES, вычисленным сетью. Если оба значения совпадают, подвижная станция может осуществлять передачу сообщений. В противном случае связь прерывается, и индикатор подвижной станции должен показать, что опознавание не состоялось.

По причине секретности вычисление SRES происходит в рамках SIM. Процедура аутентификации иллюстрируется Рис. 25.

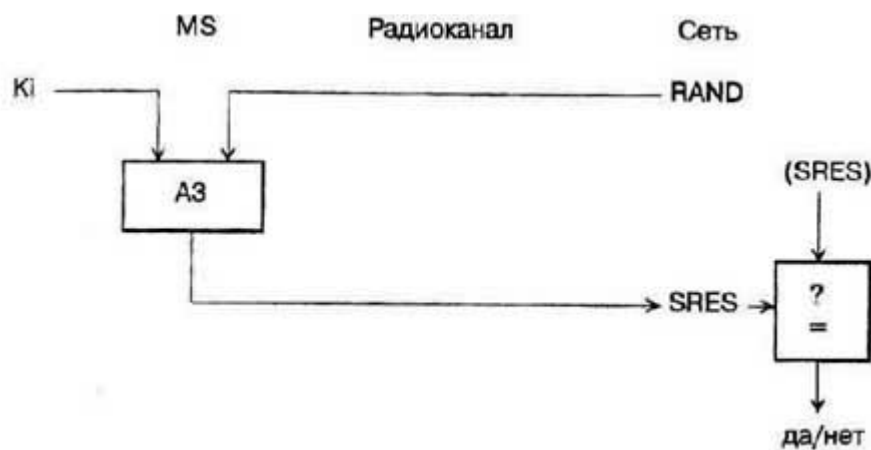


Рисунок 25

Секретность передачи данных

Ключ шифрования

Для обеспечения секретности передаваемой по радиоканалу информации вводится следующий механизм защиты. Все конфиденциальные сообщения должны передаваться в режиме защиты информации. Алгоритм формирования ключей шифрования (A8) хранится в модуле SIM. После приема случайного номера RAND подвижная станция вычисляет, кроме отклика SRES, также и ключ шифрования (Kc), используя RAND, Ki и алгоритм A8 (Рис. 26):

$$K_c = K_i [RAND].$$

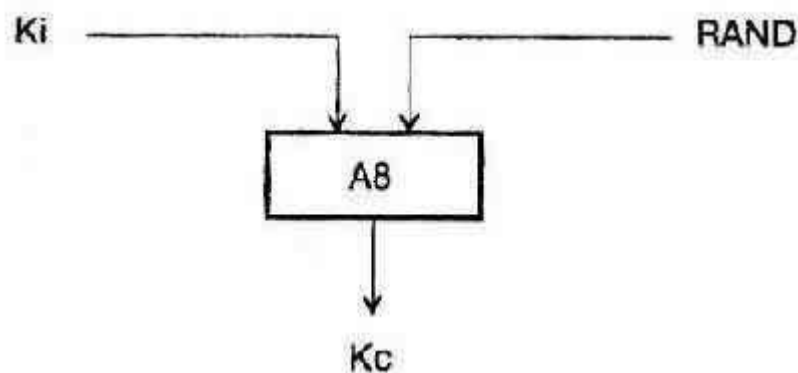


Рисунок 26

Ключ шифрования Kc не передается по радиоканалу. Как подвижная станция, так и сеть вычисляют ключ шифрования, который используется другими подвижными абонентами. По причине секретности вычисление Kc происходит в SIM.

Числовая последовательность ключа шифрования

Кроме случайного числа RAND сеть посылает подвижной станции числовую последовательность ключа шифрования. Это число связано с действительным значением Kc и позволяет избежать формирование неправильного ключа. Число хранится подвижной станцией и содержится в каждом первом сообщении, передаваемом в сеть. Некоторые сети принимают решение о наличии числовой последовательности действующего ключа шифрования в случае, если необходимо приступить к опознаванию или, если выполняется предварительное опознавание, используя правильный ключ шифрования. В некоторых случаях это допущение реально не обеспечивается.

Установка режима шифрования

Для установки режима шифрования сеть передает подвижной станции команду СМС (Ciphering Mode Command) на переход в режим шифрования. После получения команды СМС подвижная станция, используя имеющийся у нее ключ, приступает к шифрованию и дешифрованию сообщений. Поток передаваемых данных шифруется бит за битом или поточным шифром, используя алгоритм шифрования А5 и ключ шифрования Kc.

Обеспечение секретности абонента

Для исключения определения (идентификации) абонента путем перехвата сообщений, передаваемых по радиоканалу, каждому абоненту системы связи присваивается "временное удостоверение личности" - временный международный идентификационный номер пользователя (TMSI), который действителен только в пределах зоны расположения (LA). В другой зоне расположения ему присваивается новый TMSI. Если абоненту еще не присвоен временный номер (например, при первом включении подвижной станции), идентификация проводится через международный идентификационный номер (IMSI). После окончания процедуры аутентификации и начала режима шифрования временный идентификационный номер TMSI передается на подвижную станцию только в зашифрованном виде. Этот TMSI будет использоваться при всех последующих доступах к системе. Если подвижная станция переходит в новую область расположения, то ее TMSI должен передаваться вместе с идентификационным номером зоны (LAI), в которой TMSI был присвоен абоненту.

Обеспечение секретности в процедуре корректировки местоположения

При выполнении процедуры корректировки местоположения по каналам управления осуществляется двухсторонний обмен между MS и BTS служебными сообщениями, содержащими временные номера абонентов TMSI. В этом случае в радиоканале необходимо обеспечить секретность переименования TMSI и их принадлежность конкретному абоненту.

Рассмотрим, как обеспечивается секретность в процедуре корректировки местоположения в случае, когда абонент проводит сеанс связи и при этом осуществляет перемещение из одной зоны расположения в другую.

В этом случае подвижная станция уже зарегистрирована в регистре перемещения VLR с временным номером TMSI, соответствующим прежней зоне расположения. При входе в новую зону расположения осуществляется процедура опознавания, которая проводится по старому, зашифрованному в радиоканале TMSI, передаваемому одновременно с наименованием зоны расположений LAI. LAI дает информацию центру коммутации и центру управления о направлении перемещения подвижной станции и позволяет запросить прежнюю зону расположения о статусе абонента и его данные, исключив обмен этими служебными сообщениями по радиоканалам управления. При этом по каналу связи

передается как зашифрованный информационный текст с прерыванием сообщения в процессе “эстафетной передачи” на 100-150 мс.

Процедура корректировки местоположения, включающая характеристики секретности, показаны на Рис 27.

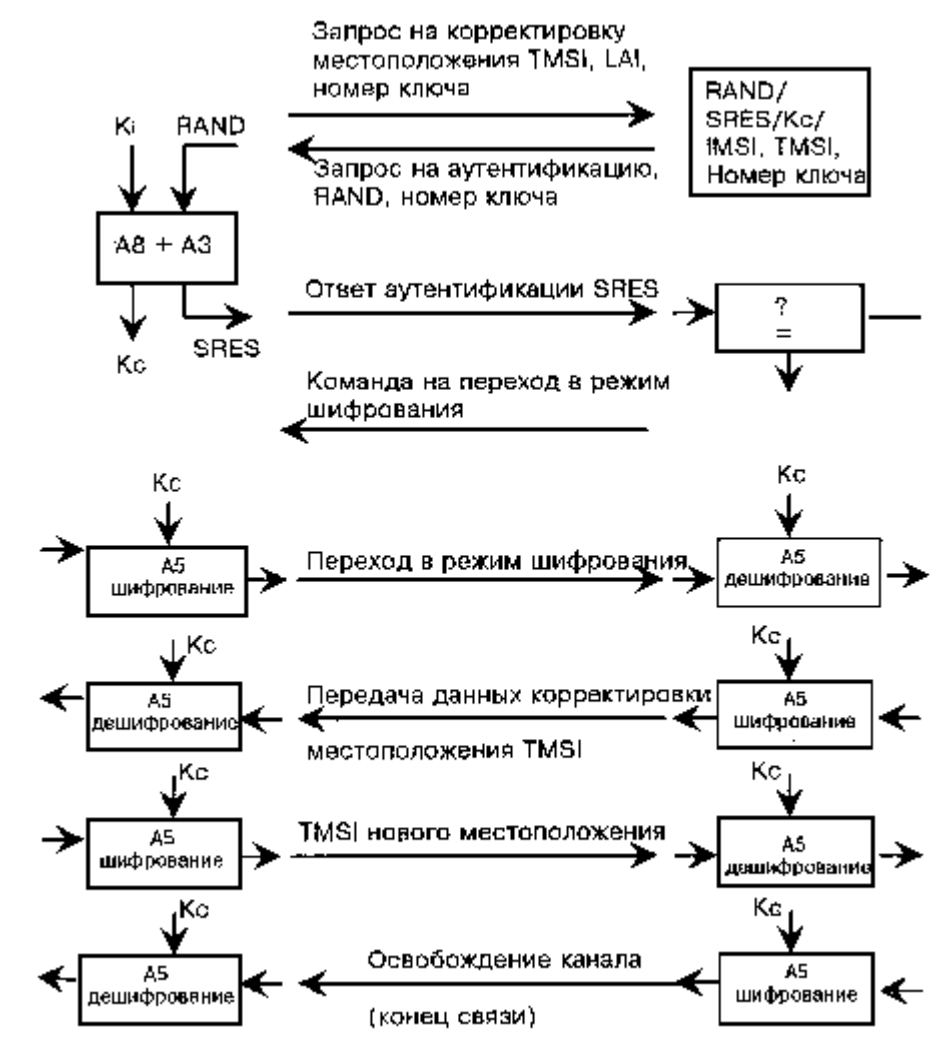


Рисунок 27

Общий состав секретной информации и ее распределение в аппаратных средствах GSM

В соответствии с рассмотренными механизмами безопасности, действующими в стандарте GSM, секретной считается следующая информация:

- $RAND$ - случайное число, используемое для аутентификации подвижного абонента;
- - значение отклика - ответ подвижной станции на полученное случайное число;
- - индивидуальный ключ аутентификации пользователя, используемый для вычисления значения отклика и ключа шифрования;
- - ключ шифрования, используемый для шифрования/дешифрования сообщений, сигналов управления и данных пользователя в радиоканале;
- - алгоритм аутентификации, используемый для вычисления значения отклика из случайного числа с использованием ключа K_i ;
- - алгоритм формирования ключа шифрования, используемый для вычисления ключа K_c из случайного числа с использованием ключа K_i ;

- - алгоритм шифрования/дешифрования сообщений, сигналов управления и данных пользователя с использованием ключа Kc;
- - номер ключевой последовательности шифрования, указывает на действительное число Kc, чтобы избежать использования разных ключей на передающей и приемной сторонах;
- - временный международный идентификационный номер пользователя.

В Таблице 3 показано распределение секретной информации в аппаратных средствах системы связи GSM.

Таблица 4

Аппаратные средства	Вид секретной информации	
1	Подвижная станция (без SIM)	A5
2	Модуль подлинности абонента (SIM)	A3; A8; IMSI; Ki; TMSI/LAI; Kc/CKSN
3	Центр аутентификации (AUC)	A3; A8; IMSI/Ki
4	Регистр местоположения (HLR)	Группы IMSI/RAND/SRES/Kc
5	Регистр перемещения (VLR)	Группы IMSI/RAND/SRES/Kc, IMSI/TMSI/LAI/Kc/CKSN
6	Центр коммутации (MSC)	A5, TMSI/IMSI/Kc
7	Контроллер базовой станции (BSC)	A5, TMSI/IMSI/Kc

Обеспечение секретности при обмене сообщениями между HLR, VLR и MSC

Основным объектом, отвечающим за все аспекты безопасности, является центр аутентификации (AUC). Этот центр может быть отдельным объектом или входить в состав какого-либо оборудования, например, в регистр местоположения (HLR). Как управлять AUC будет решать тот, кому будет поручена эксплуатация сети. Интерфейс GSM с AUC не определен.

AUC может решать следующие задачи:

- - формирование индивидуальных ключей аутентификации пользователей Ki и соответствующих им международных идентификационных номеров абонентов (IMSI);
- - формирование набора RAND/SRES/Kc для каждого IMSI и раскрытие этих групп для HLR при необходимости.

Если подвижная станция переходит в новую зону расположения с новым VLR, новый VLR должен получить секретную информацию об этой подвижной станции. Это может быть обеспечено следующими двумя способами:

- - подвижная станция проводит процедуру идентификации по своему международному номеру IMSI. При этом VLR запрашивает у регистра местоположения HLR группы данных " RAND/SRES/Kc, принадлежащих данному IMSI;

- - подвижная станция проводит процедуру аутентификации, используя прежний временный номере TMSI с наименованием зоны расположения LAI.

Новый VLR запрашивает прежний VLR для посылки международного номера IMSI и оставшихся групп из RAND/SRES/Kc, принадлежащих этим TMSI/LAI, Если подвижный абонент остается на более длительный период в VLR, тогда после некоторого количества доступов с аутентификацией VLR из соображений секретности потребует новые группы RAND/SRES/Kc от HLR.

Все эти процедуры определены в рекомендации GSM 09.02.

Проверка аутентификации выполняется в VLR. VLR посылает RAND на коммутационный центр (MSC) и принимает соответствующие отклики SRES. После положительной аутентификации TMSI размещается с IMSI. TMSI и используемый ключ шифрования Kc посылаются в центр коммутации (MSC).

Передача секретной информации по радиоканалу уже описана в предыдущих разделах и определена в рекомендации GSM 04.08.

Модуль подлинности абонента

Введение режима шифрования в стандарте GSM выдвигает особые требования к подвижным станциям, В частности, индивидуальный ключ аутентификации пользователя Ki, связанный с международным идентификационным номером абонента IMSI, требует высокой степени защиты. Он также используется в процедуре аутентификации.

Модуль подлинности абонента SIM содержит полный объем информации о конкретном абоненте. SIM реализуется конструктивно в виде карточки с встроенной электронной схемой. Введение SIM делает подвижную станцию универсальной, так как любой абонент, используя свою личную SIM-карту, может обеспечить доступ к сети GSM через любую подвижную станцию.

Несанкционированное использование SIM исключается введением в SIM индивидуального идентификационного номера (PIN), который присваивается пользователю при получении разрешения на работу в системе связи и регистрации его индивидуального абонентского устройства.

Основные характеристики модуля SIM определены в Рекомендации GSM 02.17. Состав секретной информации, содержащейся в SIM, показан в Таблице 3.

В заключение следует отметить, что выбранные в стандарте GSM механизмы секретности и методы их реализации определили основные элементы передаваемых информационных блоков и направления передачи, на которых должно осуществляться шифрование: (RAND/SRES/Kc от HLR к VLR; RAND и SRES - в радиоканале). Для обеспечения режима секретности в стандарте GSM решены вопросы минимизации времени соединения абонентов. При организации систем сотовой радиосвязи по стандарту GSM имеется некоторая свобода в применении аспектов безопасности. В частности, не стандартизованы вопросы использования центра аутентификации AUC (интерфейс с сетью, структурное размещение AUC в аппаратных средствах). Нет строгих рекомендаций на формирование закрытых групп пользователей и системы приоритетов, принятых в GSM. В этой связи в каждой системе связи, использующей стандарт GSM, эти вопросы решаются самостоятельно.

УПРАВЛЕНИЕ СЕТЯМИ СВЯЗИ В СТАНДАРТЕ GSM

Задачи системы сетевого управления

Задачи управления процессами связи в системе GSM решаются ОМС - центром управления и обслуживания (Рис. 28).

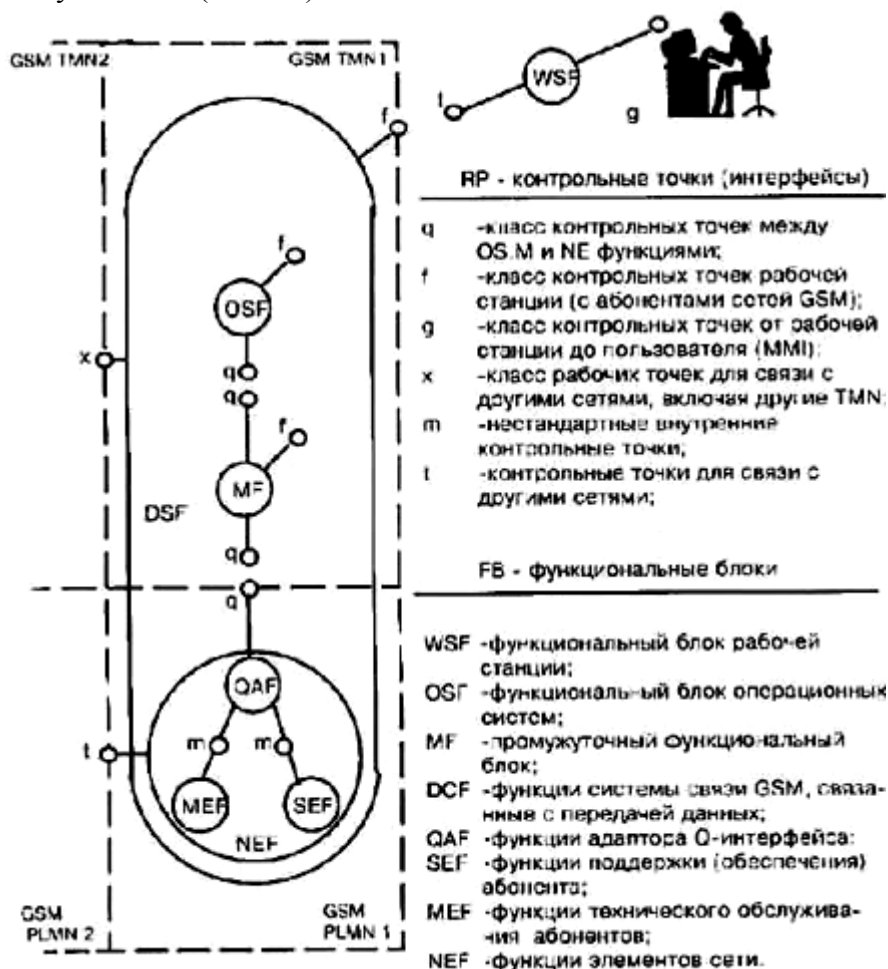


Рисунок 28

В основе построения ОМС заложен принцип сетевого управления, в соответствии с которым для системы сетевого управления (GSM NM) были определены следующие задачи проектирования:

- Система GSM NM должна обеспечивать взаимодействие с существующими системами связи общего пользования и быть их естественным продолжением;
- Система GSM NM должна быть достаточно гибкой, чтобы обеспечивать перспективное развитие наземных сетей связи общего пользования (PLMN), а также функций и служб сетевого управления;
- Система GSM NM должна быть настолько прозрачной для технологий, используемых в существующих PLMN, насколько это возможно;
- Система GSM NM должна иметь модульную структуру, чтобы независимо от размеров сети, где осуществляется управление, обеспечивать требуемые функции;
- Система GSM NM не должна иметь зависимости от изготовителя, то есть должна предусматривать взаимозаменяемость оборудования;

- Структура и функции GSM NM не должны ограничивать деятельность и выбор операторы и изготовителей, а также возможность индивидуального использования, например, для организации частных локальных сетей связи;
- Система GSM NM должна быть отказоустойчивой, то есть ни отказ оборудования, ни человеческий фактор не должны приводить систему или сеть связи в нерабочее состояние.

Перечисленные задачи решены путем принятия для сетей связи GSM модели открытых сетей (OSI) международной организации стандартов (ISO), выбором функциональной архитектуры системы сетевого управления, учитывающей различное физическое исполнение, четким определением сопряжения стандартов и протоколов передачи сообщений.

Принципы построения системы сетевого управления

В основу построения системы сетевого управления электросвязью (TMN) в стандарте GSM положена структурированная концепция МККТТ, которая учитывает возможность развития и интеграции создаваемых и существующих сетей управления.

В соответствии с выбранной концепцией GSM TMN должна обеспечить организованную сетевую структуру для достижения взаимосвязи различных операционных систем (для TMN) и устройств связи (для PLMN) на основе согласованной архитектуры со стандартными протоколами устройствами сопряжения.

Концептуально TMN представляет собой отдельную сеть, которая сопрягается с PLMN в не скольких различных точках с целью получения от нее информации и контроля ее работы. Для обеспечения управления TMN может использовать отдельные структурные части PLMN (например, систему сигнализации SS N7, В-канал в структуре канала связи ISDN). Исходя из общей концепции, GSM TMN обеспечивает высокую степень гибкости, что отвечает различным технологическим условиям построения PLMN и различным операторам.

Функционально TMN обеспечивает средства для транспортировки и обработки информации¹ относящейся к управлению PLMN. Как показано на Рис. 28, обобщенная функциональная архитектура для GSM TMN и PLMN включает в себя OSF функциональные блоки операционных систем (OS), функциональные промежуточные блоки MF и функциональные блоки передачи данных DSI. Они включают в себя основные функции TMN, что позволяет ей решать свои прикладные задач” TMN подключается к функциональным блокам элементов сети PLMN (NEF), а также непосредственно к функциональным блокам рабочей станции (WSF). Рабочая станция может непосредственно подключаться к различным элементам сети через внешние для TMN соединения.

RP - контрольные точки (интерфейсы)

- q -класс контрольных точек между OS,M и NE функциями;
- f -класс контрольных точек рабочей станции (с абонентами сетей GSM);
- д -класс контрольных точек от рабочей станции до пользователя (MM1);
- х -класс рабочих точек для связи с другими сетями, включая другие TMN;
- m -нестандартные внутренние контрольные точки;
- t -контрольные точки для связи с другими сетями;

FB - функциональные блоки

- WSF -функциональный блок рабочей станции;
- OSF -функциональный блок операционных систем;

- MF -функциональный промежуточный блок;
- DCF -функции системы связи GSM, связанные с передачей данных;
- QAF -функции адаптера Q-интерфейса;
- SEF -функции поддержки (обеспечения) абонента;
- MEF -функции технического обслуживания абонентов;
- NEF -функции элементов сети.

Контрольные точки, показанные на Рис. 28, определяют концептуальные точки информационного обмена между функциональными блоками. Контрольная точка становится интерфейсом, когда функциональные блоки включаются в отдельные части оборудования.

Такая функциональная концепция GSM TMN обеспечивает выполнение функций сетевого управления на оборудовании PLMN (в смысле использования одних и тех же ресурсов для обработки), над операционными системами и промежуточными устройствами, ориентированными на сетевое управление.

Следует отметить, что в случае применения одного процессора для выполнения функций сетевого управления и функций связи, они всегда логически разделяются.

Распределение функций сетевого управления в GSM

Операционные системы

Физическая конфигурация TMN обеспечивает альтернативные решения как централизации, так и распределения общих функций операционных систем (OS), что включает в себя:

- - обслуживающие прикладные программы;
- - функции базы данных;
- - обеспечение абонентского терминала;
- - анализирующие программы;
- - форматирование данных и передачу сообщений.

В GSM TMN все эти функции представлены для централизованной дистанционной обработки, т.е. в центре управления и обслуживания ОМС (в терминологии TMN нужно рассматривать как сетевую OS), тогда как специальные части этих функций (так называемые функции жизнеобеспечения) должны локально присутствовать в узловой базовой OS.

Процессы сопряжения

Составной частью функций сети управления связью являются процессы сопряжения - процессы, которые определяют направления соединений и/или воздействий на информацию, передаваемую между отдельными элементами сети (NE) и операционными системами по каналам передачи данных. Процессы сопряжения классифицируются по пяти общим категориям:

- управление связью;
- сопряжение протоколов и обработка данных;
- сопряжение (объединение) простых функций;
- процессы принятия решений;
- хранение данных.

Процессы сопряжения имеют место как в автономном оборудовании, так и в отдельных элементах сети.

Передача данных в GSM TMN

Функции передачи данных (DCF) для GSM TMN обеспечиваются сетью передачи данных (DCN) или локальными сетями связи (LCN).

DCN для GSM TMN соответствует эталонной модели OSI. Функции передачи данных включают в себя обеспечение соединения через соответствующие сопряжения различных элементов сети к операционным системам. Интерфейс, используемый в процессе соединений, определяется в Рекомендациях МККТТ М.2х как Q3 интерфейс. Этот интерфейс обеспечивает полный доступ ко всем частям TMN. Некоторые функции определены тем, что система сигнализации МККТТ SS N7 должна относиться к интерфейсу Q3.

Для других функций оператор имеет возможность использовать закрепленные каналы с протоколом серии X.25 или коммутируемые сети пакетной передачи данных общего пользования (PC PDN).

В локальных сетях связи (LCN) при осуществлении соединений с PLMN для реализации функций передачи данных TMN могут использоваться интерфейс Q2 МККТТ и A-bis интерфейс.

Элементы сети

В системе связи GSM элементами сети (NE) являются узлы PLMN, например, MSC, HLR, BSS или любая часть связанного оборудования. Элементы сети могут обеспечивать следующие группы функций сетевого управления:

- - функции обслуживания объекта (MEF), сопряжены с процессами связи. Обслуживаемый объект (ME) может иметь одну или более функций MEF;
- - функции обеспечения объекта (SEF), непосредственно не включены в процесс связи. К ним относятся, например, локализация отказов, сбор данных.

Объект обеспечения (SE) может иметь одну или более функций SEF.

Элементы сети могут иметь функции первой или второй группы, а также то и другое одновременно.

Стандартные интерфейсы в системе сетевого управления GSM

Стандартные интерфейсы в системе сетевого управления обеспечивают взаимодействие элементов сети, операционных систем и рабочих станций через сети передачи данных (DCN) или локальные сети связи (LCN).

Для гарантированной совместной работы соединяемых элементов сети необходимы четкие технические требования к интерфейсу, функционально независимые от типа устройства и поставщика. Это требует совместимых протоколов связи и совместимого метода представления данных для передачи сообщений, включая совместимые описания групповых сообщений для функций сети управления.

Интерфейсы между TMN

Состав и функциональное назначение интерфейсов в GSM TMN показаны на Рис.29.

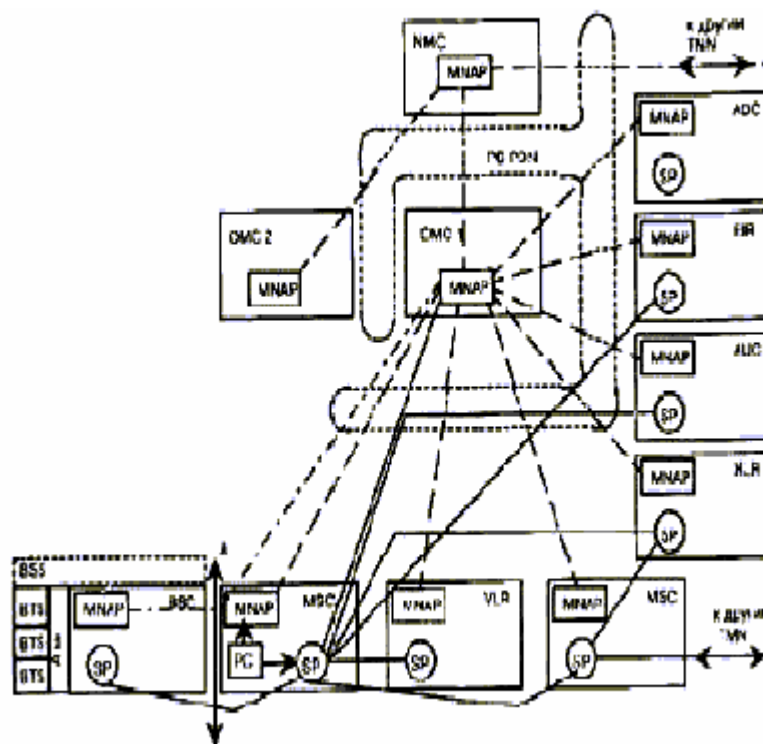


Рисунок 29

Для передачи сообщений между сетями управления, используемыми, например, разными операторами применяется система сигнализации МККТТ SS N7 или X.25.

При применении SS N7 используются протоколы МККТТ (Голубая книга) Рекомендация Q.795.

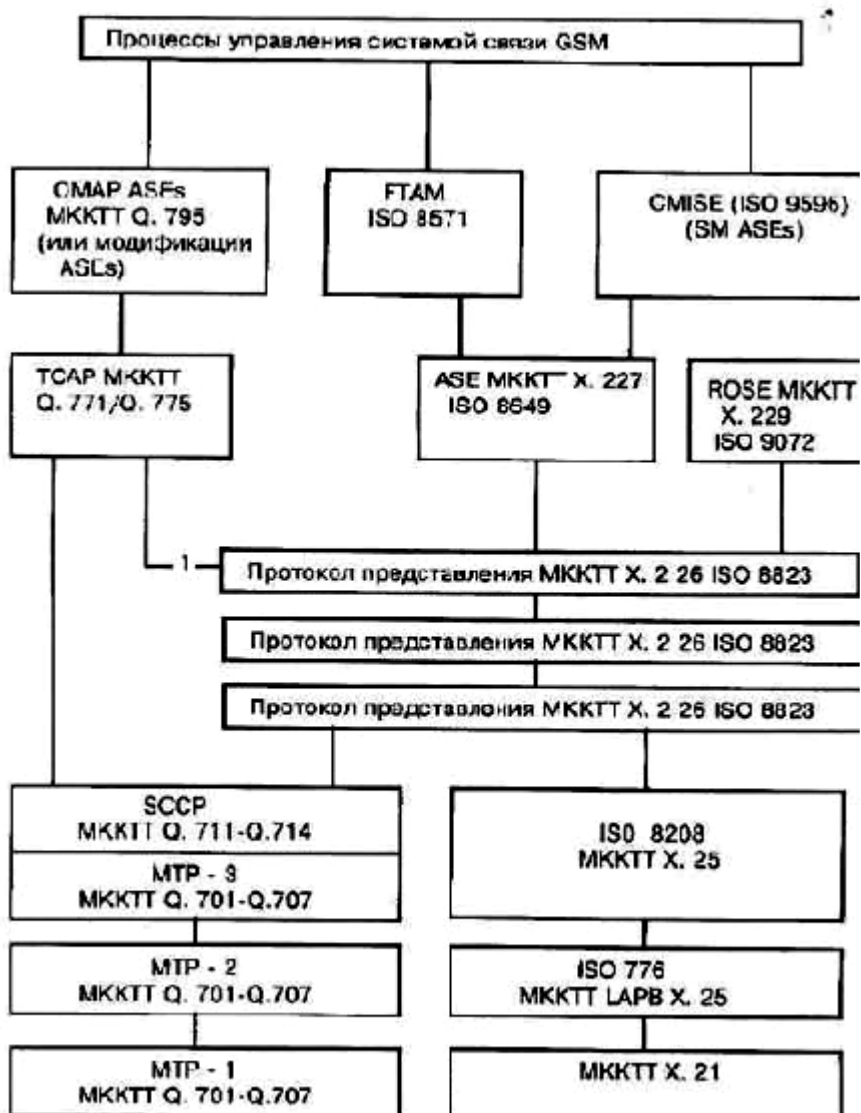
При использовании сетей X.25 необходимы дополнительные соглашения между операторами по использованию протоколов более высокого уровня. Некоторые функции сетевого управления определены СЕРТ рабочей подгруппой SPS 6 в Рекомендации GSM 09.02, которая требует использования SS N7 в следующих случаях:

- - передачи информации между MSC и HLR другой PLMN;
- - идентификации оборудования;
- - обмену сообщениями между регистрами положения;
- - при запросе на "эстафетную передачу".

TMN интерфейс между PLMN и узлами TMN

В общем случае операторы сетей могут свободно использовать либо систему сигнализации SS N7, предусмотренную в PLMN, либо специализированную сеть X.25 в соответствии с Рекомендациями МККТТ (Голубая книга) Q.513. При использовании сетей X.25 могут быть необходимы средства для преобразования протоколов обмена (X.25 - SS N7).

Информационный обмен в процессе сетевого управления между BSS и MSC (A-интерфейс, Рис. 30) обеспечивается SS N7.



Примечание: (1) - этот режим находится в стадии изучения МККТТ COM X1/2

Рисунок 30

Требования к средствам файлового обмена обеспечиваются использованием элементов управления сигнализационными соединениями (SCCP) класса 2 и транспортного протокола X.224 класса 2, либо SCCP класса 3 и X.224 класса 0. Также предусмотрена специальная версия GSM относительно применения X.25 соединений на A-интерфейсе.

Интерфейс между BTS и BSC (GSM A-bis интерфейс) основан на применении Lap-D протоколов для информационного обмена при сетевом управлении.

Все узлы PLMN, за исключением BTS, оснащены общим X.25 интерфейсом. Это обеспечивает полный доступ к TMN на уровне Q3 либо локально, либо дистанционно за счет использования отдельного подключения к PS PDN.

При использовании в PLMN локальных сетей связи TMN интерфейсы определяются СЕРТ Рекомендацией Т/К 02-11.

Полная структурная схема процессов управления системой связи GSM, состав и сопряжения протоколов связи показаны на Рис. 30.

Протоколы более высоких уровней, используемые в GSM TMN

Сопряжение на более высоких уровнях (выше слоя 3) может быть предусмотрено при использовании стандартных протоколов, основанных на МККТТ Рекомендациях (Голубая книга) Q.795 или на стандартах ISO для общих информационных служб управления (СМИС) и доступа и управления файловым обменом (FTAM), как это иллюстрируется на рис. 6.3.

Однако, на первом этапе не рекомендовалось использование ОМАР в GSM TMN, так как это требует сетевого обслуживания без подключений, которое не может быть поддержано со стороны SS N7 и X.25. Кроме того, способы файлового обмена, которые являются обязательными для эффективного управления PLMN, полностью не определены в ОМАР.

ДОСТУПНЫМ ЯЗЫКОМ О ТОМ, КАК РАБОТАЕТ МОБИЛЬНЫЙ АППАРАТ В СЕТИ

Некий человек «X» покупает у дилера мобильную станцию GSM (выходная мощность 8 Вт, класс 2MS) и персонализированную СИМ-карту для сети. После встраивания мобильной станции в автомобиль он уезжает. Ничего не зная о мобильной связи он:

1. Он включает мобильную станцию и вставляет СИМ-карту в устройство считывания карточек, но еще не звонит

Мобильная станция находится в режиме «Idle mode» и проводит процесс выбора/перевыбора соты (Cell selection/Reselection process), т.е. аппарат, если это возможно, приспособливается к работе с радиосотой следующим образом:

- **после включения мобильная станция сначала проверяет наличие “BCCH Information”, т.е. списка частот BCCH потенциальных соседних базовых станций, в самом аппарате или в СИМ;**

Так как аппарат включается в первый раз, эта информация еще отсутствует. В данной ситуации приемник мобильной станции последовательно с интервалами в несколько секунд настраивается на все 124³ канала GSM и проводит соответствующие замеры мощности приема. Затем приемник настраивается на частоту с наибольшим уровнем сигнала на приеме и проверяет, осуществляется ли там передача подходящей соты («Suitable cell»), на которую мобильная станция может настроиться («Camp on the cell»).

Чтобы сота считалась подходящей, должны быть соблюдены три критерия:

- Сота относится к соответствующей сети («Selected PLMN»), т.е., в данном случае, к сети, соответствующей покупке нашего человека;
- Сота не заблокирована;
- Выполнен критерий доступности канала C1 («Path loss criterion»).

Пункт 1 выполнен, если мобильный код страны (MCC) и код мобильной сети (MNC), излучаемые в системных информационных элементах («System information type 1...4»), соответствуют заложенной в память СИМ - карты информации.

Пункт 2 выполнен, если также передаваемый в системной информации BCCH флаг CELL_BAR_ACCESS стоит на нуле.

Пункт 3 выполнен, если уровень приема выше задаваемого сотой минимального уровня RXLEV_ACCESS_MIN с учетом фактора коррекции Min {MS_TXPWR_MAX_CCH}, Pmax (MS) который следует понимать следующим образом:

в соте существует типичный уровень приема (DOWNLINK) RXLEV_ACCESS_MIN, который как минимум должен приниматься мобильной станцией с базовой станцией, ведущей передачу с максимальной мощностью BS_TXPWR_MAX, чтобы иметь

³ В данном случае идет речь об мобильной станции только диапазона 900 МГц

возможность уверенного декодирования сигнала. Учитывая обратимость затухания канала от МС к БС (свойство обратимости радиоканала), следует исходить из того, что и мобильная станция может приниматься базовой станцией, если МС имеет мощность передачи $MS_TXPWR_MAX_SCH$ (эта величина должна соответствующим образом проектироваться при проведении частотно-территориального планирования).

Однако может случиться так, что данная мобильная станция, которая должна была бы передавать с мощностью 20 Вт (43 дБм), чтобы ее могла принимать БС, может вести передачу только с мощностью 2 Вт (33 дБм). Чтобы учесть данную разницу на величину $RXLEV_ACC_MIN$ накладывается разница в 10 дБ. Таким образом МС избегает неправильного восприятия доступности канала.

Этот критерий очень важен, т.к. все соты, которые ему не соответствуют, будут игнорироваться мобильной станцией.

Величина рассчитывается следующим образом:

$C1 = \text{Уровень приема} - (RXLEV_ACC_MIN + \text{фактор коррекции})$.

Критерий является выполненным, если $C1 > 0$.

2. Человек «X» как раз проезжает по местности, где, в порядке исключения, базовая станция нужной нам сети принимается хуже, чем базовая станция другой сети.

- **Мобильная станция настраивается на канал с наибольшим уровнем приема, и проверяет, имеется ли в наличии ВССН;**

Первоначально производится поиск канала коррекции частоты (FCH), который служит для тонкой коррекции частоты синтезатора, чтобы компенсировать погрешности частоты гетеродина/задающего генератора и возникающие из-за скорости транспортного средства эффекты удвоения. Далее производится поиск канала синхронизации (SCH), который служит для синхронизации с точностью до бита и передает, таким образом, актуальный рамочный номер TDMA, а также BSIC и одновременно TSC BCCH. Со всей этой информацией МС может теперь попытаться декодировать BCCH.

Т.к. в данном случае речь идет о базовой станции «неродной» сети, МС хотя и находит соответствие коду MCC, однако одновременно определяется разница в коде MNC. В связи с этим МС отказывается от работы с этой сотой и начинает работать с каналом, имеющим следующий по мощности уровень сигнала.

Здесь МС определяет, что это сота «родной» сети с открытым доступом ($CELL_DFR_ACCESS = 0$). Уровень приема составляет -93 дБм, $RXLEV_ACC_MIN = -96$ дБм и $MS_TXPWR_MAX_SCH = 43$ дБм. Т.к. она располагает мощностью передачи 39 дБм, ей необходимо прибавить к $RXLEV_ACC_MIN$ 4 дБм, после чего она выясняет, что критерий доступности канала не выполняется. МС вновь отказывается от работы с сотой. Однако, т.к. на этот раз это была сота «родной» сети, МС использует ее каталог информации «BCCH Information», а именно список всех частот соседних станций. Среди этих частот она находит ту, которая имеет наивысший уровень приема.

Уровень приема составляет -95 дБм, $RXLEV_ACC_MIN = -96$ дБм, а $MS_TXPWR_MAX_SCH = 39$ дБм. Доступ ($CELL_BAR_ACCESS$) разрешен, т.е. мобильная станция наконец нашла подходящую соту («Suitable cell») и может начинать первоначальную прописку в сети («Location Registration»).

3. Человек «X» с удовлетворением отметил, что его аппарат прописался в сети. Он едет дальше, все еще не собираясь звонить. При этом он въезжает в другую зону покрытия.

- **Мобильная станция вычисляет, что величина C1 соседней соты, частоту передачи которой она взяла из системной информации ВССН, уже несколько секунд превосходит величину C1 соты, в которой она была только что зарегистрирована, и с которой она поддерживала связь - несмотря на отсутствие разговора («Serving cell»);**

Если сота относится к той же «зоне расположения» должен сразу же произойти процесс переыбора соты («Cell Reselection»), т.е. МС должна перенастроиться на работу со следующей сотой. Об этом сеть ничего бы не узнала, т.е. в сеть при этом не поступает никакой дополнительной информации о произведенном процессе перехода в другую соту.

Однако МС определяет, что соседняя сота передает другой «код зоны расположения» (LAC), т.е. переход в другую соту потребовал бы «сообщения об изменении зоны расположения» («Location Update»).

Определение того, к какой «зоне расположения» относится конкретная сота происходит произвольно в процессе планирования сети. «Зона расположения» является минимальной территориальной единицей, которая известна HLR или VLR. Когда производится вызов мобильной станции («Paging»), этот вызов должен передаваться всеми БС одной «зоны расположения». Таким образом при планировании «зон расположения» необходимо находить согласование между высокой нагрузкой вызовов (Paging List) большой зоны расположения и большой нагрузкой за счет Location Update при использовании маленьких «зон расположения».

Чтобы не допускать высокие нагрузки за счет Location Update, которые приносят оператору нагрузку на сеть, но не дают поступления тарифов, чаще чем остро необходимо, МС должна дополнительно сокращать величину C1 сот других зон расположения на величину CELL_RES_HYST(CELL_RESELECT_HYSTERESIS). Величина CELL_RES_HYST соответственно сообщается в информации ВССН.

Только если величина $C1' = C1$ (новая сота) – CELL_RES_HYST новой соты другой зоны расположения превосходит величину C1 всех остальных доступных сот той же зоны расположения, МС может перенастраиваться на эту соту.

Т.к. мобильная станция г-на «X» уже однозначно находится в новом районе, условие для перепрописки выполнено, и

- **мобильная станция передает на новую соту требование о проведении Location Update.**

4. Человек «X» попадает в пробку и выключает мотор. Из-за ошибки в подключении проводов в машине одновременно выключается и мобильная станция. Т.к. «X» хочет сообщить своей жене об опоздании, он для начала вновь включает мотор

После повторного включения МС сначала вновь проводит процесс поиска соты «Cell selection process». Однако «ВССН allocation», т.е. список частот ВССН, принятый от последней БС, с которой работала МС, уже внесен в блок памяти. Поэтому МС запрашивает

уже не все 124 частоты BCCH, а только те, которые были указаны в «BCCH allocation». Таким образом она очень быстро находит соту, в которой была перед этим прописана. Т.к. одновременно выполняются и все «3 условия пригодности соты» (см. выше), МС проверяет, не изменился ли за прошедшее время код зоны расположения (LAC) и не сработал ли таймер T3112 (периодический таймер Location Update). Ни того ни другого не произошло, и МС исходит из этого, что она прописана правильно.

5. Наконец г-н «Х» решил позвонить своей жене. Он снимает трубку, набирает номер и нажимает кнопку «SEND».

До сих пор МС находилась в режиме «idle mode».

- **После передачи одного или нескольких сигналов запроса связи (random access bursts) с МС и последовавшего за этим присвоения канала сигнализации SDCCH этот режим переходит в режим «connected mode».**

Важнейшими различиями между режимами «idle» и «connected» с точки зрения контроля радиосвязи (Radio Link Control) являются следующие:

- помимо соединения по линии «вниз» осуществляется и соединение по линии «вверх»;
- контроль радиосвязи осуществляется уже не мобильной станцией, а базовой станцией.

Одновременно с присвоением канала сигнализации SDCCH (dedicated channel) или канала связи TCH присваивается и жестко связанный с каналом контрольный канал SACCH (slow associated control channel).

Непосредственно по присвоении канала сигнализации МС начинает передавать через SACCH на БС данные измерений величины ошибок двоичного разряда канала и уровня приема канала собственной станции, а также измерений уровня частот BCCH в форме «measurement results».

В основном это

- • уровень приема RXLEV_DL собственной соты,
- • величина ошибок двоичного разряда канала RXQUAL_DL собственной соты,
- • RXLEV_NCELL, BSIC_NCELL и частота BCCH максимум 6-и сильнейших соседних сот.

Одновременно БС начинает измерять

- • уровень приема RXLEV_UL мобильной станции,
- • качество приема (величина ошибок двоичного разряда) RQUAL_UL сигнала, передаваемого мобильной станцией.

Измерения проводятся каждый раз по полному мультикадру SACCH, т.е. в течение 480 мс. Точная продолжительность зависит от типа канала. Для простоты в дальнейшем для обозначения продолжительности периода будет использоваться аббревиатура Tscch.

Данные измерений каналов «вверх» и «вниз» в комплексе передаются с БС на контроллер с промежутками Tscch. После поступления первых данных измерений на контроллер начинаются следующие процессы контроля радиосвязи:

- Процесс выделения средних значений (Preprocessing),
- Процесс адаптивной регулировки мощности передатчика (Power Control Process),
- Процесс сравнения пороговых величин для передачи связи (Handover Comparison Process).

Процесс выделения средних значений (Preprocessing)

Данные измерений, в первую очередь данные измерений уровня, подвержены, помимо прочего, значительным колебаниям силы поля (Fading). Чтобы, несмотря на это, выводить из данных измерений достаточно надежные данные, проводится процедура выделения соответствующих средних значений.

Длина окна выделения средних значений зависит от назначения исходной величины.

В целом можно говорить о том, что большие окна выделения средних значений дают достаточно надежные решения, принятие которых занимает, однако значительное время. Маленькие окна выделения средних значений дают возможность быстрого получения результатов, которые, однако, дают большое рассеивание и часто приводят, по этому, к принятию неправильных решений. Компромисс, который должен быть найден для конкретной соты, должен учитывать назначение исходных данных, типичные качества колебаний силы поля (задача системы измерений покрытия) и зависимость от других процессов.

6. *Налаживание связи прошло успешно, жена «X» взяла трубку через несколько секунд. Качество связи очень хорошее, т.к. человек «X» находится недалеко от базовой станции.*

Для первого обращения к сети МС использовала мощность MS_TXPWR_MAX_CCH. Эта мощность в непосредственной близости к БС излишне высока, что приводит к повышенному расходу питания и излучению, повышенного сигнала помех, которого следует максимально избегать (каждый излучаемый радиосигнал GSM является полезным сигналом только для его адресата, для прочих элементов сети GSM этот сигнал одновременно является помехой). Поэтому после того как процесс выделения средних значений дает первые данные измерений, начинается процесс контроля мощности в контроллере (Power Control), чтобы понизить мощность мобильной станции и БС.

Процесс адаптивной регулировки мощности передатчика (Power Control Process)

Задачей Power Control Process является приспособление мощности передатчика БС и МС условиям радиополя таким образом, чтобы, с одной стороны, за счет достаточно высокой мощности обеспечить надежную связь и, с другой стороны, за счет минимально возможной мощности обеспечить щадящий режим расходования ограниченной емкости батареи МС и минимизацию уровня интерференции в сети.

Мобильные станции должны иметь нормальный диапазон от максимальной мощности до 13 дБм (20 мВт) с шагом по 2 дБ (рекомендации GSM, п. 4.1.1).

Для БС со стороны GSM не имеется конкретных определений, т.к. контроль по линии «вниз» (Downlink Power Control) не является обязательным; рекомендованным является нормальный диапазон до 15 ступеней по 2 дБ. Но. Обычно, оператор включает и Downlink Power Control.

Таким образом, на всех частотах происходят процессы Downlink Power Control и Uplink Power Control за одним исключением:

чтобы полученные МС значения измерений уровня соседних сот (RXLEV_NCELL(n)) не подвергались искажениям, не разрешается отходить от значения BS_TXPWR_MAX на частоте BCCH. Подробнее об этом см. рекомендации GSM, п. 7.1 и 8.1.3.

Процессы Downlink Power Control и Uplink Power Control протекают в контроллере независимо друг от друга по одинаковой методике. Поэтому речь пойдет только о Uplink (MC) Power Control.

После каждого отрезка времени Tscch все вновь полученные данные измерений (в данном случае AV_RQUAL_UP_PC, AVRXLLEV_UL_PC) сравниваются с соответствующими пороговыми значениями. Если одно из значений превышает порог, передается сигнал на коррекцию в противоположном направлении (Power Command), с величиной шагов, регулируемой по системе управления и обслуживания (O&M).

За счет времени прохождения сигналов системы сигнализации, времени на изменение мощности и требуемую продолжительность выделения средних значений, проходит некоторое время, пока не появятся новые данные измерений, которые обуславливают передачу с измененными мощностями за счет изменения уровней. По этой причине предусматриваются стандартные мертвые зоны времени, определяемые таймером P_CON_INTERVAL. Мертвая зона времени должна быть тщательно согласована с процессом выделения средних значений.

После изменения мощности процесс может продолжаться только после того, как в контроллер поступит подтверждение с мобильной станции о новой мощности передатчика.

Естественно, процесс должен постоянно обеспечивать, чтобы не была отдана команда на применение мощности, которая не может быть реализована системными элементами.

Параллельно с процессом Power Control постоянно проходит процесс сравнения для Handover (осуществления перенастройки на работу с новой сотой), который каждый раз вновь запускается аналогично каждому вновь вычисленному среднему значению.

Считем, что в сети имеются 4 технических обоснования для инициации Handover:

- Слишком плохой уровень (Uplink и Downlink);
- Слишком велик уровень ошибок двоичной системы (Uplink и Downlink);
- Превышается максимально допустимое расстояние до базовой станции;
- Есть соседняя сота с меньшим затуханием радиополя (лучший Power Budget PBGT(n)).

В то время, как первые три причины должны привести к проведению перенастройки на работу с новой сотой - Handover, чтобы сохранить связь во время разговора, четвертый критерий является своего рода критерием «люкс», который должен давать возможность постоянной работы с сотой, имеющей наименьшее затухание радиополя, чтобы постоянно работать на наименьшей возможной мощности.

Задача, которую должен решать контроллер - определение затухания радиополя не только собственной БС, но и соседних БС.

Значения RXLEV_NCELL(n) контроллер получает из сообщений об измерениях (measurement report) мобильной станции, значения MS_TXPWR_MAX(n) - из своей базы данных O&M, которая в списке соседних сот должна, в числе прочих, иметь и эти параметры. На этой основе постоянно вычисляются и сравниваются между собой затухания радиополя своей и соседних сот. Для всех соседних сот с целью сохранения стабильности принятия решений и большей свободы в определении границ сот учитывается терм гистерезиса HO_MARGIN(n).

7. Человек «X» торопится попасть домой и быстро едет дальше. Постепенно он покидает зону покрытия новой соты.

Изначально хороший уровень быстро понижается, одновременно повышается уровень ошибок двоичной системы. Однако человек «X» ничего этого не замечает, т.к. процесс коррекции ошибок, на основе высокого уровня кодирования, до определенного уровня ошибок, исправляет практически все ошибки.

Постепенно данные измерений опустились так низко, что процесс Power Control дает команду на использование максимальной мощности.

После этого процесс сравнения Handover, который до сих пор не мог найти лучшую соту по RBGT(n), что уровень связи «вниз» (Downlink-Level) стал слишком слабым. Т.к. ранее уже было замечено, что мощность передатчика уже максимальна, дается сигнализация алгоритму Handover Decision, что необходимо провести Handover по причине «Downlink level».

В принципе процесс сравнения Handover должен только постоянно проверять, не уступает ли усредненное значение измерений пороговому значению, или имеется ли доступ к лучшей соте, и дать соответствующую информацию.

До сих пор не упоминался «Intracell Handover», который рядом с вышеописанными «настоящими» разновидностями Handover, т.е. перемены соты, занимает особое место, т.к. не происходит смены соты.

Целью Intracell Handover является переход на другой канал той же соты в случае помех исходного канала, в поисках лучшего качества связи.

Ситуация интерференции выявляется по высокому уровню в сочетании с высоким значением ошибок двоичной системы.

Ниже приводятся критерии принятия решения для проведения перемены соты (Handover Comparison Process):

- Связь по линии «вниз» (Downlink) слишком плохая ($AV_RXQUAL_DL_H > L_RXQUAL_DL_H$) и мощность БС максимальная handover cause downlink signal quality;
- Связь по линии «вверх» (Upwmlink) слишком плохая ($AV_RXQUAL_UL_H > L_RXQUAL_UL_H$) и мощность МС максимальная handover cause upwmlink signal quality;
- Уровень связи по линии «вниз» (Downlink-Pegel) плохой ($AV_RXLEV_DL_H < L_RXLEV_DL_H$);
- Уровень связи по линии «вверх» (Upwmlink-Pegel) плохой ($AV_RXLEV_UL_H < L_RXLEV_UL_H$);
- мощность МС максимальная;
- RBGT (соседняя сота) – HO_MARGIN (соседняя сота) > RBGT(своя сота);
- Расстояние слишком велико ($timing\ advance > MS_RANGE_MAX$);
- Связь по линии «вниз» (Downlink) слишком плохая ($AV_RXQUAL_DL_H > L_RXQUAL_DL_H$) но уровень связи по линии «вниз» (Downlink-Pegel) очень хороший ($AV_RXLEV_DL_H > L_RXLEV_DL_H$);
- Уровень связи по линии «вверх» (Upwmlink-Pegel) слишком плохой ($AV_RXLEV_UL_H < L_RXLEV_UL_H$).

8. Качество связи стало столь плохим, что г-н «Х» уже перестает верить рекламному лозунгу «цифровая связь = связь без помех». Однако как раз в тот самый момент, когда он уже хотел положить трубку, раздался короткий щелчок и связь опять стала четкой и ясной.

Handover Comparison Process определил потребность в проведении Handover по причине «downlink signal strength», т.е. процесс определил наличие неполадок, не приняв самостоятельных мер по устранению.

Следующий шаг, а именно проверка наличия целевых сот для Handover, а также того, какая из сот является наилучшей с точки зрения радиотехники, является задачей «процесса принятия решений о Handover» (BSS handover decision algorithm).

Для всех заявленных за последние секунды сот (в зависимости от A_PBGТ_HO) первоначально проверяется их соответствие критерию пригодности канала аналогично критерию C1:

$$C1ho(n) = RXLEV_NCELL(n) - RXLEV_MIN(n) - \text{MAX}\{0, MS_TXPWR_MAX(n) - P\},$$

где P - максимально возможная выходная мощность мобильной станции, т.е. в нашем примере 39 дБм.

Для всех сот, которые отвечают условию $C1ho > 0$ проводится соответствующая проверка величины PBGT(n). Затем генерируется требование на Handover – «Handover Required Message» и передается на MSC. Сообщение содержит информацию о причине Handover и список доступных соседних сот. Информация упорядочена по величине PBGT, т.е. «желательная кандидатура» с наилучшим показателем PBGT стоит на первом месте, затем второй по качеству и т.п.. Таким образом имеются возможности маневрирования, если запрос «Handover Request» на «желательную кандидатуру» отклоняется.

Список может иметь максимум «n» кандидатов (n – также параметр O&M).

Обычно за «Handover Request» следует за «Handover Request Acknowledge», который передается на мобильную станцию обработанный как за «Handover Command». Handover Command содержит всю информацию, которая нужна мобильной станции для коммуникации с новой сотой, включая точное описание канала.

- **Мобильная станция прописывается в новой соте по «Handover Burst» с целью экономии времени не по Random Access Channel, а прямо на своем новом канале связи TCH.**

Таким образом достигается минимизация времени перерыва в разговоре.

Как только мобильная станция попадает в новую соту и передает команду «Handover Complete», связь со старой сотой в MSC прерывается (контроль осуществляет таймер T8). Таким образом процесс Handover завершен.

Не каждая процедура Handover между сотами (Intercell Handover) должна обязательно проводиться через MSC. Если сота, в которую передается связь, подключена к тому же контроллеру, что и предыдущая сота, что будет происходить весьма часто, контроллер в состоянии сам выполнить процедуру Handover, давая на MSC о Handover только

информацию «Handover Performed». Такой Handover называется «Internal Intercell Handover». Это право контроллера на принятие решений может быть, при необходимости, передано MSC за счет изменения EN_BSS_NO.

9. Человек «X» все еще звонит.

Он теперь находится почти в центре соты и качество связи очень хорошее. Процесс Power Control уже значительно понизил мощность передатчика. Однако человеку «X» необходимо проехать через туннель длиной в 200 метров, и он не удивляется, что качество связи становится очень плохим. Однако еще до того, как он выезжает из туннеля, качество связи вновь повышается до приемлемого уровня.

Естественно, что в туннеле сила поля значительно понижается, если туннель за счет специальных мероприятий не обеспечивается радиотехническим покрытием. Уровень ошибок двоичной системы связи человека «X» существенно понизился, так что контрольный канал SACCH уже не мог декодироваться. В данном случае БС и МС начинают при каждом не декодированном SACCH-Multiframe пересчитывать свой счетчик S (RadioLink Counter), который предварительно занят предусмотренным для соты максимальным значением RADIO_LINK_TIMEOUT, в меньшую сторону на один. Если кадр декодируется, производится пересчет в большую сторону на 2.

Как БС, так и МС прерывают связь, как только этот счетчик достигает величины 0 («Radio Link Failure»).

Дополнительно в сети имеется еще одна пороговая величина THRES_PC_RLF. Как только счетчик S в БС достигает уровня ниже этой величины, дается команда на немедленное включение максимальной мощности как на БС, так и на МС. Таким образом должна обходиться угроза прерывания связи, и таким образом можно объяснить, что качество связи у человека «X» еще в туннеле опять повысилось.

10. Человек «X» покидает зону покрытия данной соты.

К сожалению стадия развития сети еще не достигла такого уровня, чтобы стала доступной новая сота, которая могла бы принять эту связь. Поэтому через некоторое время связь полностью прерывается.

Однако человек X» уже почти дома и не чувствует особых проблем из-за срыва связи.

Полученные средние значения измерений опять приводят к тому, что процесс Handover Comparison принимает решение о необходимости проведения Handover. Однако алгоритм BSS Handover Decision не находит соты, которая бы отвечала критерию C1ho. Правда имеется сота, которая может принимать с уровнем -100дБм, которого при удачном стечении обстоятельств могло бы быть достаточно. Однако, т.к. процесс вынужден игнорировать данную соту за счет проектных данных, в которых RXLEV_MIN(n) данной соты указан в -96дБм, не происходит генерации сообщения Handover Required. Разговор прерывается после того, как счетчик S достигает значения 0 и сеанс связи заканчивается.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СЕРВИСЫ И ВОЗМОЖНОСТИ GSM, РЕАЛИЗОВАННЫЕ ПРИ ДАЛЬНЕЙШЕМ РАЗВИТИИ СТАНДАРТА

- EGSM (Enhanced GSM) - расширенный частотный диапазон. Сотовые телефоны, работающие в стандарте EGSM, позволяют своему владельцу использовать для связи дополнительные частоты;
- EMS (Enhanced Messaging Service) - улучшенная служба сообщений. Технология, позволяющая передавать вместе с SMS мелодии и картинки с телефона на телефон;
- GPRS (General Packet Radio Services) - служба пакетной передачи данных по радиоканалу. Это стандарт для обмена данными в сетях мобильной связи стандарта GSM. На первом этапе обеспечивается пропускная способность 13,4 кбит/с, в будущем возможно увеличение до 115 кбит/с;
- HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) - сети с высокоскоростной коммутацией данных. Это решение, являющееся альтернативой GPRS в области увеличения скорости передачи данных по существующим сетям GSM второго поколения, поддерживается компанией Nokia. Реализация HSCSD требует меньше краткосрочных вложений, чем GPRS, однако цены при обслуживании конечных пользователей оказываются выше, чем при эксплуатации GPRS или сетей третьего поколения. В настоящее время в сетях GSM используется технология коммутации каналов. HSCSD обеспечивает передачу данных по сети GSM со скоростями до 57,6 кбит/с. Такие скорости достигаются путем конкатенации, то есть сложения последовательных временных каналов GSM, каждый из которых поддерживает передачу на скорости 14400 кбит/с. Для передачи по стандарту HSCSD необходимо до четырех временных каналов GSM. HSCSD включена в Фазу 2 разработки стандарта GSM. При использовании HSCSD между вызывающей и вызываемой сторонами устанавливается непрерывное соединение для обмена данными. Поскольку в основе HSCSD лежит коммутация каналов, этот протокол больше подходит для таких приложений, как видеоконференции и мультимедиа-приложения, чем для приложений "импульсного" типа, например электронной почты, которые эффективнее передаются при помощи протокола пакетной коммутации (см. GPRS);
- MMS (Multimedia Messaging Service) - стандарт, позволяющий пользователям мобильных сетей отправлять с сотовых телефонов сообщения с форматированным текстом, высококачественными изображениями, мультипликацией и аудио, что открывает перед энтузиастами использования мобильных сообщений широкие возможности. Изображениями могут служить цифровые фото, сделанные на месте нахождения пользователя, которые могут быть в режиме реального времени отправлены на веб-адрес или на другой мобильный телефон, поддерживающий MMS;

ТЕХНОЛОГИЯ GPRS

Сегодня Интернет начинает играть все более важную роль в работе. Часто бывает необходимо иметь доступ к электронной почте, корпоративному сайту или просто "поймать" нужного человека в ICQ. Если вам приходится часто работать вне офиса или дома - то проблема мобильного доступа в интернет становится весьма актуальной.

Традиционная передача данных

Для мобильного интернета уже достаточно давно можно использовать функцию GSM телефона "передача данных", которая позволяет работать на скорости 9,6 кбит/с. Однако, у традиционной передачи данных есть ряд существенных недостатков. Во-первых, это низкая скорость. Обычные модемы, которые работают на телефонной линии, способны обеспечивать скорость в 3-5 раз выше. Во-вторых, относительно высокая стоимость доступа, которая обусловлена тем, что при работе необходимо постоянно висеть на линии, а оплата услуг ведется на повременной основе. Кроме того, при таком способе подключения нерационально используются частотные ресурсы оператора, так как при работе в интернете часто возникает ситуация, когда данные не передаются а линия остается занята.

GPRS

Следующим шагом на пути развития технологии передачи данных стала система GPRS (General Packet Radio Service - пакетная передача данных по радиоканалу). При передаче информации через GPRS не выделяется отдельная линия, а используются небольшие порции данных или "пакеты". Кроме того, пакеты данных передаются одновременно по многим каналам в паузах между передачей речи. Именно в одновременном использовании нескольких каналов и заключается выигрыш в скорости, которая теоретически может достигать 171.2 кбит/с. Более реальные цифры - около 30 кбит/с что приблизительно сопоставимо с обычной наземной модемной линией. Важно отметить, что голосовой трафик имеет безусловный приоритет перед данными, так что скорость передачи информации определяется не только возможностями сетевого и абонентского оборудования, но и загрузкой сети. В GPRS ни один канал не занимается под передачу данных целиком - и это основное качественное отличие этой технологии от используемых ранее.

Еще одно немаловажное отличие - иная схема оплаты услуги. При использовании GPRS расчеты производятся пропорционально объему переданной информации, а не времени, проведенному online. То есть можно, к примеру, весь день общаться в ICQ а в итоге заплатить лишь за небольшой объем переданной/полученной информации.

Для чего нужен GPRS?

Если вы не собираетесь подключать свой телефон к каким либо устройствам, то основной сферой применения GPRS в телефоне являться просмотр WAP страниц. Технология GPRS способна значительно оживить интерес к WAP. Многие пользователи WAP остаются недовольны низкой скоростью и дороговизной услуги, так как при просмотре

страниц приходится оставаться на линии. Благодаря GPRS работа с WAP становится весьма быстрой и недорогой. Можно с легкостью пользоваться всеми WAP ресурсами, получать информацию о погоде, афиши кинотеатров и массу подобной информации. Кроме того, посредством WAP и GPRS можно производить загрузку всевозможного контента вроде логотипов, мелодий и игр. Некоторые операторы сотовой связи предлагают неограниченную возможность использования WAP через GPRS за фиксированную ежемесячную оплату. Также возможна отсылка SMS через сеть GPRS. Кроме того, GPRS используется как транспортный протокол для обмена мультимедийными MMS сообщениями, которые помимо текста могут содержать в себе фотографии, звук, мелодии.

В том случае, если вы обладатель карманного компьютера, у вас открывается значительно больше возможностей. Это работа с электронной почтой, Web страницами, ICQ и другими системами обмена сообщениями, а также всеми другими приложениями, которые используют интернет. Причем, если у вас карманный компьютер и мобильный телефон имеют возможность связи через Bluetooth, то можно носить в одном кармане телефон, а в другом карманный компьютер с постоянной запущенной ICQ или E-mail клиентом, который будет периодически проверять почту! И что самое приятное - оплата идет только за трафик, который в этом случае будет относительно небольшим.

Если подключать телефон к ноутбуку или обычному компьютеру, то мы получим выход в интернет с скоростью сопоставимой с обычным модемом. Причем пользоваться всем этим можно не только около телефонной розетки, а в любом месте где есть покрытие сети и работает GPRS. Например в кафе, на даче, в машине и т.д. В случае с ноутбуком, можно рассматривать вариант подключения PCMCIA GPRS модема. А многие новые модели уже имеют встроенный GPRS модуль.

Корпоративные пользователи и телеметрия

Для тех, кто пользуется интернетом по работе, будет весьма востребована возможность удаленного беспроводного доступа к ресурсам корпоративной сети и базам данных. В первую очередь это удобно тем сотрудникам которые вынуждены работать вдалеке от офиса. GPRS позволит иметь практически мгновенный доступ к нужной информации.

На основе GPRS также можно создавать блоки для телеметрии. Например, гораздо проще установить в банкомат GPRS модуль, чем искать и устанавливать выделенную линию. А в случае, если вблизи нет возможности установить телефон - беспроводная связь единственно возможное решение.

GPRS изнутри

Доработку GSM-сети для предоставления услуг высокоскоростной передачи данных GPRS можно условно разделить на две формы - программную и аппаратную. Если говорить о программном обеспечении, то оно нуждается в замене или обновлении практически всюду - начиная с реестров HLR-VLR и заканчивая базовыми станциями BTS. В частности, вводится режим многопользовательского доступа к временным кадрам каналов GSM, а в HLR, например, появляется новый параметр Mobile Station Multislot Capability (количество

каналов, с которыми одновременно может работать мобильный телефон абонента, но об этом ниже).

Ядро системы GPRS (GPRS Core Network) состоит из двух основных блоков - SGSN (Serving GPRS Support Node - узел поддержки GPRS) и GGSN (Gateway GPRS Support Node - шлюзовой узел GPRS). Остановимся на их функциях более подробно.

SGSN является, грубо говоря, мозгом рассматриваемой системы. В некотором роде SGSN можно назвать аналогом MSC - коммутатора сети GSM. SGSN контролирует доставку пакетов данных пользователям, взаимодействует с реестром абонентов HLR, проверяя, разрешены ли запрашиваемые пользователями услуги, ведет мониторинг находящихся online пользователей, организует регистрацию абонентов вновь "проявившихся" в зоне действия сети и т.п. Так же как и MSC, SGSN, в системе может быть и не один - в этом случае каждый узел отвечает за свой участок сети.

Предназначение GGSN можно понять из его названия - это шлюз между сотовой сетью (вернее, ее частью для передачи данных GPRS) и внешними информационными магистралями (Internet, корпоративными интранет-сетями, другими GPRS системами и так далее). Основной задачей GGSN, таким образом, является маршрутизация данных, идущих от и к абоненту через SGSN. Вторичными функциями GGSN является адресация данных, динамическая выдача IP-адресов, а также отслеживание информации о внешних сетях и собственных абонентах (в том числе тарификация услуг).

Заметим, что в GPRS-систему заложена хорошая масштабируемость - при появлении новых абонентов оператор может увеличивать число SGSN, а при увеличении суммарного трафика - добавлять в систему новые GGSN. Внутри ядра GPRS-системы (между SGSN и GGSN) данные передаются с помощью специального туннельного протокола GTP (GPRS Tunneling Protocol).

Еще одной составной частью системы GPRS является PCU (Packet Control Unit - устройство контроля пакетной передачи). PCU стыкуется с контроллером базовых станций BSC и отвечает за направление трафика данных непосредственно от BSC к SGSN.

Прежде чем приступить к работе с GPRS, мобильная станция, так же как и в обычном случае передачи голоса, должна зарегистрироваться в системе. Как уже было сказано, регистрацией (а, точнее, "прикреплением" (attachment) к сети) пользователей занимается SGSN. В случае успешного прохождения всех процедур (проверки доступности запрашиваемой услуги и копирования необходимых данных о пользователе из HLR в SGSN) абоненту выдается P-TMSI (Packet Temporary Mobile Subscriber Identity - временный номер мобильного абонента для пакетной передачи данных), аналогичный TMSI, который назначается мобильному телефону для передачи голоса (кстати, если абонентский терминал относится к классу А, то ему при регистрации выделяется как TMSI, так и P-TMSI).

Для быстрой маршрутизации информации к мобильному абоненту GPRS-система нуждается в данных о его месторасположении относительно сети, причем с большей точностью, нежели в случае передачи голосового трафика. Но представьте себе, как возрастет служебный трафик в сотовой сети и расход энергии мобильным аппаратом, если телефон будет информировать систему каждый раз при переходе от одной соты к другой! Чтобы найти разумный компромисс между объемом сигнального трафика в сети GPRS и необходимостью знать с высокой точностью местонахождение абонента принято деление терминалов на три класса:

- IDLE (неработающий). Телефон отключен или находится вне зоны действия сети. Очевидно, что система не отслеживает перемещение подобных абонентов.
- STANDBY (режим ожидания). Аппарат зарегистрирован (прикреплен) в GPRS-системе, но уже долгое время (определяемое специальным таймером) не работает с передачей данных. Местоположение STANDBY-абонентов известно с точностью до RA (Routing Area - область маршрутизации). RA мельче, чем LA (каждая LA разбивается на несколько RA, но, тем не менее, RA крупнее, чем сота, и состоит из нескольких элементарных ячеек).
- READY (готовность). Абонентский терминал зарегистрирован в системе и находится в активной работе. Координаты телефонов, находящихся в режиме READY, известны системе (а, точнее, SGSN) с точностью до соты.

Согласно этой идеологии, терминалы, находящиеся в STANDBY-режиме, при переходе из одного RA в другой посылают SGSN специальный сигнал о смене области маршрутизации (routing area update request). Если новая и старая RA контролируется одним SGSN, то смена RA приводит лишь к корректировке записи в SGSN. Если же абонент переходит в зону действия нового SGSN, то новый SGSN запрашивает у старого информацию о пользователе, а MSC, VLR, HLR и вовлеченные в работу GGSN ставятся в известность о смене SGSN. Когда телефон, работающий с GPRS-системой, перемещается в другую LA, то SGSN отправляет соответствующему VLR сообщение о необходимости смены записи о местонахождении абонента.

Следует отметить такой важный параметр, как QoS (Quality of Service - качество сервиса). Очевидно, что видеоконференция в режиме реального времени и отправка сообщения электронной почты предъявляют разные требования, например, к задержкам на пути пакетов данных. Поэтому в GPRS существует несколько классов QoS, подразделяющихся по необходимому приоритету, надежности, задержкам, пиковым и средним значениям скорости.

GPRS телефоны

Для работы с системой пакетной передачи данных необходимо иметь телефон, совместимый с GPRS. GPRS-терминалы подразделяются на три класса:

- устройства класса А способны одновременно работать как с передачей голоса, так и с передачей данных;
- устройства класса В могут осуществлять либо передачу голоса, либо передачу данных, но не одновременно;
- устройства класса С поддерживают только передачу данных и не могут быть использованы для голосовой связи. Как правило, это такие устройства как GPRS модемы.

Следует заметить, что максимальная скорость передачи данных определяется, в первую очередь, количеством каналов, с которыми одновременно может работать телефон. Один канал обеспечивает передачу данных со скоростью до 13.4 кбит/с. Конфигурация телефона может выглядеть как 4/1, то есть 4 канала на прием и 1 на передачу

ФАЗЫ СТАНДАРТА GSM И ЭВОЛЮЦИЯ SIM-КАРТЫ

Необходимое вступление

Разработка стандарта GSM - первого цифрового стандарта сотовой связи - началась в 1985 году. Развертывание сетей GSM, начавшееся только в 1991 году, предусматривало несколько этапов (фаз) развития. Всего на сегодняшний день зафиксировано 3 технологические фазы (и больше не будет), каждая из которых характеризуется определенным набором телефонных и дополнительных услуг, по которым их, собственно, и различают. Естественно, развитие сотовых сетей GSM потребовало совершенствования SIM-карт - каждая последующая фаза характеризуется большей по сравнению с предыдущей информационной емкостью SIM-карты и большим количеством функций.

Таким образом, вместо того, чтобы писать две статьи - "Фазы стандарта GSM" и "Эволюция SIM-карты" - сведем весь материал в одну и не будем делить неделимое.

Сети стандарта GSM: Фаза 1

Реализация спецификации Фазы 1 началась в 1991 году, полностью завершена в 1993 году. Информационная емкость SIM-карты - 8 Кбайт.

Основные функции:

Входящие и исходящие звонки.

Переадресация вызова (Call forwarding).

Возможность перевода входящих звонков на другой телефонный номер в тех случаях, когда номер занят или абонент не отвечает; когда телефон выключен или находится вне зоны действия сети и т.п. Кроме того, возможна переадресация факсов и компьютерных данных.

Запрет вызова (Call barring).

Запрет на все входящие/исходящие звонки; запрет на исходящие международные звонки; запрет на входящие звонки, за исключением внутрисетевых.

Ожидание вызова (Call waiting).

Эта услуга позволяет принять входящий вызов в тот момент, когда вы с кем-то разговариваете. При этом первый абонент или по-прежнему будет находиться на связи, или разговор с ним может быть завершен.

Удержание вызова (Call Holding).

Эта услуга позволяет, не разрывая связь с одним абонентом, позвонить (или ответить на входящий звонок) другому абоненту.

Блокировка карточки.

Абонент может "закрыть" карточку PIN-кодом (4-8 символов) и таким образом ограничить доступ в сеть с помощью своей SIM-карточки. После ввода трех неправильно набранных PIN-кодов карточка блокируется. Абонент может разблокировать ее самостоятельно, введя PUK-код (PIN Unblocking Key), имеющий длину 8 символов. После десяти неправильно набранных PUK-кодов карточка блокируется окончательно, и в дальнейшем ее уже нельзя использовать.

Выбор сети PLMN (Public Land Mobile Network) - функция роуминга.

SIM-карточка может выбирать для связи доступную в данном месте сеть из списка предпочтительных сетей, с которыми оператор - владелец карточки сети заключил роуминговые соглашения.

Служба коротких сообщений - SMS (Short Message Service).

Позволяет абоненту принимать текстовые сообщения длиной не более 160 символов. Короткое сообщение записывается в память SIM-карточки под определенным номером, откуда оно может быть извлечено в удобное для абонента время. Сообщения транслируются через поддерживаемый оператором центр службы коротких сообщений - SMSC (Short Message Service Center).

Ускоренный набор номеров - ADNs (Abbreviated Dialling Numbers).

SIM-карточка способна хранить в памяти несколько телефонных номеров, набор которых осуществляется нажатием какой-либо одной клавиши на аппарате.

Отправка и прием факсимильных сообщений.

Запрет работы в сетях, с которыми не подписано роуминговое соглашение - FPLMN (Forbidden Public Land Mobile Networks).

Сети стандарта GSM: Фаза 2

Реализация спецификации Фазы 2 началась в 1994 году, полностью завершена в 1997 году.

Информационная емкость SIM-карты - 8 Кбайт.

Фаза 2 поддерживает все функции Фазы 1 и несколько дополнительных функций:

PIN2-код.

Является средством защиты полей данных, к которым доступ пользователя запрещен.

"Совет по оплате" - AoC (Advice of Charge).

Эта функция позволяет абоненту отслеживать стоимость звонка и информирует о количестве потраченных денег. Информация выводится на экран телефона. Абонент может не только узнать стоимость последних звонков, которые были совершены, но и перевести эту сумму из одной валюты в другую, а также запрограммировать карточку для ограничения общего объема потраченных средств. Функция, как правило, активируется оператором в предоплатных схемах обслуживания.

Фиксированный набор номеров - FDNs (Fixed Dialling Numbers).

Позволяет абоненту ввести в память телефона список "разрешенных" номеров и затем передать аппарат другому лицу. Пользователь, получивший телефон, сможет звонить только по тем номерам, которые занесены в этот список.

Отправка коротких сообщений (в Фазе 1 предусмотрен только их прием).

Отображение статуса коротких сообщений.

Функция автоматического набора последнего номера (redial function).

Функция выбора языка меню.

Функция персонализации сообщений.

Позволяет оператору посылать текстовые сообщения (например, о погоде, спорте, дорожных пробках и т. д.) лишь тем абонентам, которые находятся в определенной зоне сотовой сети.

Поддержка нескольких телефонных номеров (для голосовой, цифровой, факсимильной связи).

Повтор последнего набранного номера.

Ввод номеров, состоящих из более чем 20 цифр.

Эта функция важна, например, при предоставлении абонентам дополнительных услуг, таких как телефонный банкинг.

Вывод на дисплей телефона название провайдера услуг.

Определение номера вызывающей линии (Calling Line Identification Presentation).

При входящем звонке на экране высвечивается номер вызывающего абонента.

Антиопределитель номера (Calling Line Identification Restriction).

С помощью этой услуги можно запретить определение собственного номера при соединении с другим абонентом.

Групповой вызов (Multi party).

Режим телеконференции или конференц-связи позволяет объединить до пяти абонентов в группу и вести переговоры между всеми членами группы одновременно.

Создание закрытой группы до десяти абонентов (Closed User Group).

Позволяет создавать группу пользователей, члены которой могут связываться только между собой. Чаще всего к этой услуге прибегают компании, предоставляющие терминалы своим служащим для работы.

Система голосовых сообщений (Voice mail).

Услуга позволяет автоматически переводить входящие звонки на персональный автоответчик (голосовая почта). Пользоваться этим можно только в том случае, если у абонента активизирована услуга "переадресация вызовов".

Сети стандарта GSM: Фаза 2+

Когда началась реализация Фазы 2+ сказать сложно, поскольку спецификации до сих пор нет - новые услуги и функции стандартизируются и внедряются сразу после подготовки и утверждения их технических описаний Европейским институтом стандартизации электросвязи (ETSI). Для тех же, кому важна дата, скажем, что первые описания услуг Фазы 2+ появились в 1997, а реализация их операторами началась в 1998 году

На сегодняшний день количество новых сервисов перевалило за полсотни. Подробно рассматривать их смысла нет, отметим несколько, наиболее интересных и перспективных. В первую очередь это, конечно, SIM Application Toolkit, который позволяет дистанционно обновлять содержимое SIM-карты для изменения или дополнения набора услуг. Кроме того: улучшенное полноскоростное кодирование речи EFR (Enhanced Full Rate) и возможность взаимодействия между системами GSM и DECT

Сама SIM-карта претерпела большие изменения - во-первых, в Фазе 2+ появилась поддержка карточек с пониженным напряжением питания (не 5 В, а 3 В), что весьма неплохо, поскольку позволяет продлить время работы аккумуляторных батарей телефона; во-вторых, информационная емкость карточки увеличилась до 16-32 Кбайт.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

Английские сокращения

A

ACCH (Associated Control Channels) - совмещенный канал управления;
AGCH (Access Grant Channel) - канал разрешенного доступа;
AUC (Authentication Centre) - центре аутентификации;

B

BCCH (Broadcast Control Channel) - канал передачи сигналов управления;
BSC (Base Station Controller) - контроллер базовых станций;
BSS (Base Station System) - оборудование базовой станции;
BTS (Base Transceiver System) – приемо-передающая базовая станция;

C

CCCH (Common Control Channel) - общий канал управления;
CCH (Control Channel) – канал управления и синхронизации;
CEPT (Comite Europeen des Postes et Telecommunications (French: European Committee of the Stations and Telecommunications)) – европейский комитет по связи и телекоммуникациям;
CMIS (Common Management Information Service) – информационная служба управления;
CSPDN (Circuit Switched Public Data Network) - коммутлируемые сети передачи данных общего пользования;

D

DCF (Data Communication Facility) – функции передачи данных;
DCN (Data Communication Network) – сеть передачи данных;
DCS (Digital Cellular System) – цифровая сотовая система связи;
DSI (Data Set Interface) – функциональные блоки передачи данных;
DTE (Data Terminal Equipment) - терминальное оборудование;
DTX (Discontinuous Transmission) - система прерывистой передачи речи;

E

EC (Echo Canceler) – эхоподавитель;
EIR (Equipment Identification Register) - регистр идентификации оборудования;
EGSM (Enhanced GSM) - расширенный частотный диапазон GSM;
EMS (Enhanced Messaging Service) - улучшенная служба сообщений;
ETSI (European Telecommunications Standards Institute) – европейский институт по телекоммуникационным стандартам;

F

FACCH (Fast Associated Control Channel) - быстрый совмещенный канал управления;
FCCN (Frequency Correction Channel) - канал подстройки частоты;

FTAM (File Transfer and Access Management) – служба доступа и управления файловым обменом;

G

GGPRS (Gateway GPRS Support Node) - шлюзовой узел GPRS;

GMSC (Gateway Mobile Switching Center) - межсетевая коммутация подвижной связи;

GP (General Protection) – защитный интервал;

GPRS (General Packet Radio Services) - служба пакетной передачи данных по радиоканалу;

GSM (Global System for Mobile Communications) – глобальная система для подвижной связи;

GSM NM (GSM Network Management) - система сетевого управления;

H

HLR (Home Location Register) - регистр положения;

HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) - сети с высокоскоростной коммутацией данных;

I

IMEI (International Mobile Equipment Identification) - международный идентификационный номер оборудования подвижной станции;

IMSI (International Mobile Subscriber Identity) - международный идентификационный номер подвижного абонента;

ISDN (Integrated Services Digital Network) - цифровые сети с интеграцией служб;

ISO (International Organization for Standardization) – международная организация по стандартизации;

IWF (Interworking Functionality) - функциональный межсетевой стык;

K

Ki (Key Indicato) - индивидуальный ключ аутентификации;

L

LAC (Location Area Code) - географическая зона с идентификационным номером;

LCN (Local Communications Network) – локальная сеть связи;

M

MMS (Multimedia Messaging Service) – стандарт передачи мультимедийных сообщений;

MT (Mobile Terminal) - подвижный терминал;

MTP (Message Transfer Part) - подсистема передачи сообщений;

MS (Mobile Station) – подвижная станция;

MSC (Mobile Switching Centre) - центр коммутации подвижной связи;

MSISDN (Mobile Subscriber ISDN Number) - номер подвижного абонента в сети ISDN;

MSRN (Mobile Subscriber Roaming Number) - номер подвижной станции в роуминге;

N

NE (Network element) – элементы сети;

NF (Number of Frame) – порядковый номер кадра;

NMC (Network Management Center) – центр управления сетью;

O

OMC (Operations and Maintenance Centre) - центр управления и обслуживания;
 OS (Operation system) – операционная система;
 OSI (Open Systems Interconnection) - многоуровневая модель открытых сетей;

P

PCH (Paging Channel) - канал вызова;
 PCM (Pulse-Code Modulation) – импульсно-кодовая модуляция;
 PCN (Personal Communications Network) – персональная система коммуникации;
 PCU (Packet Control Unit) - устройство контроля пакетной передачи;
 PDN (Packet Data Network) - сети передачи данных;
 PLMN (Public Land Mobile Network) - сеть связи с наземными подвижными объектами;
 PSTN (Public Switched Telephone Network) - телефонные сети общего пользования;

R

RACH (Random Access Channel) - канал параллельного доступа;
 RAND (Random) - случайный номер;
 RPE/LTR-LTP (Regular Pulse Excitation/Linear Predictive Coding -Long Term Performance) - речевой кодек с регулярным импульсным возбуждением/долговременным предсказанием и линейным предикативным кодированием с предсказанием;
 RSA (Rivest, Shamir, & Adleman (public key encryption technology)) - алгоритм шифрования с открытым ключом;

S

SACCH (Slow Associated Control Channel) - медленный совмещенный канал управления;
 SCCP (Signaling Connection Control Part) - элементы управления сигнализационными соединениями;
 SCH (Synchronization Channel) - канал синхронизации;
 SDCCCH (Stand-alone Dedicated Control Channel) - индивидуальный канал управления;
 SDCCCH/4 (Stand-alone Dedicated Control Channel) - индивидуальный канал управления, состоит из четырех подканалов;
 SDCCCH/8 (Stand-alone Dedicated Control Channel) - индивидуальный канал управления, состоит из восьми подканалов.
 SID (Silent Indicator Description) – кадр, содержащий информацию о комфортном шуме;
 SFH (Slow Frequency Hopping) - медленное переключение рабочих частот;
 SGSN (Serving GPRS Support Node) - узел поддержки GPRS;
 SIM (Security Identity Module) - модуль подлинности абонента;
 SMS (Short Message Service) – система коротких сообщений;
 SRES (Signed Response) – «подписанный» отклик;
 SS (Signaling System) – система сигнализации;

T

TA (Terminal Adapter – терминальные адаптеры;
 TCE (Transcoder Equipment) – оборудование транскодирования сигналов;
 TCH (Traffic Channel) – канал передачи речи или данных;
 TDMA (Time Division/Demand Multiple Access) - многостанционный доступ с временным разделением каналов;
 TE (Terminal Equipment) - терминальное оборудование;

TFR (Traffic Full Rate) – передача речевых данных с полной скоростью;
THR (Traffic Half Rate) - передача речевых данных с половинной скоростью;
TMN (Telecommunications Management Network) - сетевое управления электросвязью;
TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity) - временный идентификационный номер подвижного абонента;
TUP (Telephone User Part) – подсистема пользователей телефонной сети;

V

VAD (Voice Activity Detector) - детектором активности речи;
VLR (Visitor Location Register) – регистр перемещения;

W

WSF (Workstation Facility) – функциональные блоки рабочей станции;

X

X.25 (CCITT Packet Switching Protocol) – пакетный протокол передачи данных X.25;

Русские сокращения

С

ССПС - сотовые системы подвижной связи;

М

МККТТ - Международный консультативный комитет телеграфной и телефонной связи;