

«ЎЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙЎЛЛАРИ» АЖ
ТОШКЕНТ ТЕМИР ЙЎЛ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ
«Электр алоқа ва радио» кафедраси

«МОБИЛ АЛОҚА ТИЗИМЛАРИ» ФАНИДАН

МАЪРУЗА МАТНЛАРИ

ТУЗУВЧИ: ЗОКИРОВ В.М

ТОШКЕНТ – 2016

Лекция 1

Понятие системы связи подвижной службы общего пользования

Учебные вопросы

1. Принцип построения и частотное планирование ССПС
2. Система AMPS.

Ключевые слова: частотное планирование, территория обслуживания, взаимные влияния, ячейка, подвижные абоненты, коммутационная система, набор частотных каналов, частотная эффективность системы, отношение сигнал/помеха, повышение помехоустойчивого приема.

СИСТЕМЫ СОТОВОЙ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

Принцип построения и частотное планирование ССПС

В соответствии с принципами построения ССПС, территория обслуживания с радиусом R_0 условно разделяется на ячейки, имеющие радиус описанной окружности R (рис. 1). Идеальная форма ячейки - круг, однако для простоты расчета полей и взаимных влияний за основу взят правильный шестиугольник. Реально, из-за рельефа местности, строений и других факторов, ячейка имеет форму неправильного круга.

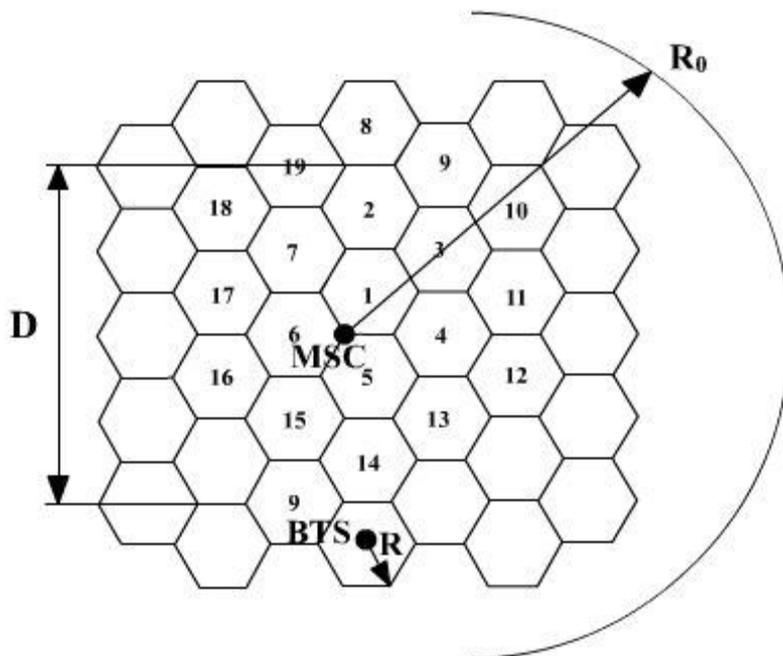


Рис. 1 Территория обслуживания ССПС

Подвижные абоненты, находящиеся в ячейках, обслуживаются BTS, которые представляют свободный частотный канал, каждой MS при поступлении вызова от нее. Все BTS с помощью коммутационной системы могут соединяться друг с другом, а также имеют выход в обычную ТЛФ сеть. Коммутационная система может быть либо сосредоточенной в виде ЦС, либо распределенной, что позволяет снизить первоначальные затраты на этот вид обслуживания. В последнем случае узлы коммутации устанавливаются на BTS. Каждой BTS, оснащенный приемопередающей аппаратурой, предоставляется набор частотных каналов, причем на всех BTS, которые разделены защитным интервалом D , одни и те же каналы

используются повторно - это основной принцип ССПС, который определяет высокую частотную эффективность системы. Смежные BTS, использующие различные частотные каналы, образуют группу из C станций (рис. 2).

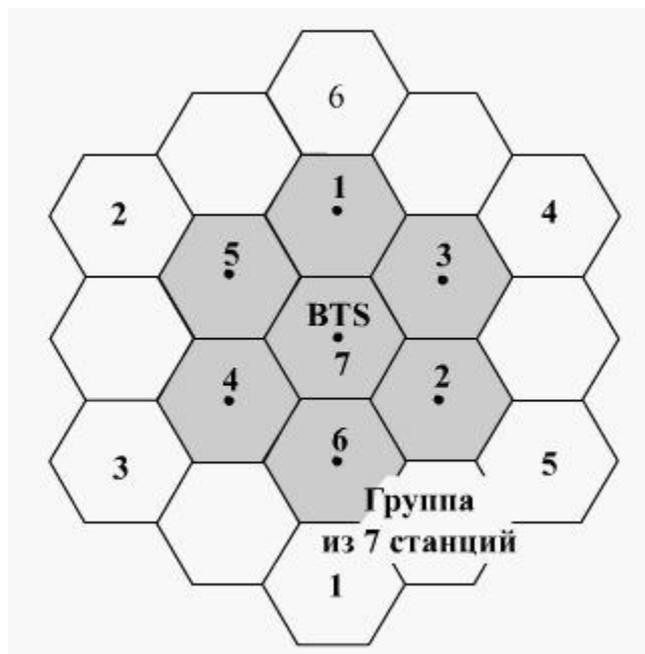


Рис.2.Группа смежных станций.

Опыт эксплуатации и расчеты показывают, что уменьшение R и отношения D/R в ССПС позволяют достичь высокой пропускной способности и частотной эффективности. Однако, чрезмерное уменьшение радиуса ячейки вызывает резкое увеличение числа пересечений условных границ ячеек при передвижении абонентов. В связи с этим возрастает поток данных, требующих обработки, что может привести к перегрузке подсистем управления и коммутации и, как следствие, отказу системы. Кроме того, при малых значениях R могут иметь место отклонения от точного расположения антенны BTS в условиях реальной местности. Расчеты показывают, что при $R = 1,6$ км смещение антенны BTS на четверть радиуса относительно геометрического центра приведет к снижению отношения сигнал/помеха на входе приемника BTS на 10 %.

Величина D/R определяется заданным уровнем взаимных помех, при малых значениях D/R требуется принимать специальные меры, направленные на сохранение высокой помехоустойчивости приема. Одним из методов повышения помехоустойчивого приема является использование направленных антенн. Например, в системе AMPS (США) применение трех - 120° - антенн, вместо ненаправленных (рис. 4б) при заданном отношении сигнал/помеха на входе приемника позволяет снизить частотный параметр до значения $C = 7$ (против $C = 12$, для ненаправленных антенн).

Рис.3.

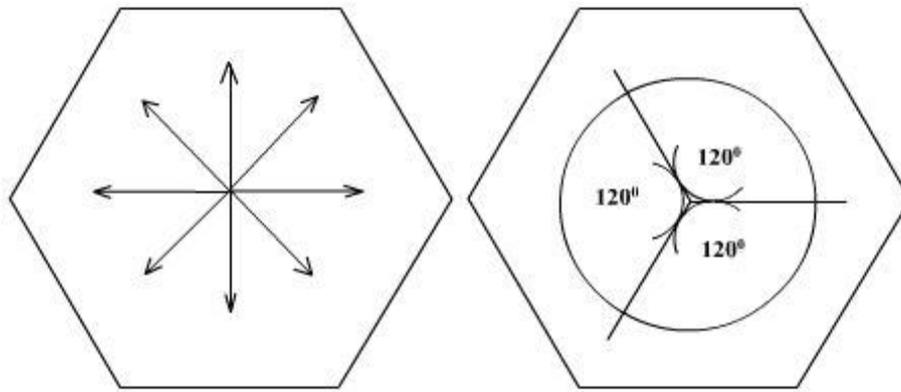


Рис. 3. Система AMPS.

Одним из способов распределения каналов является метод сдвоенной структуры. Согласно наиболее простому правилу этого метода, BTS выделяется набор каналов, имеющих номера: $k, k + 1, k + lC$, где k - номер BTS в группе станций, использующих разные наборы, т.е. $k = 1, 2 \dots C$. Например, при $l = 7$ в ячейках, обозначенных цифрой 3, используются каналы 3, 10, 17, 24 ... и т.д.

В системе с направленными антеннами подавление межсимвольных помех будет еще более эффективным за счет соответствующей пространственной ориентации антенны смежных каналов.

Другие методы подобного частотного планирования (фиксированного), дают примерно тот же результат по обеспечению уровня межсимвольных помех.

Помимо фиксированного метода распределения частотных каналов, известен динамический способ распределения, основное значение которого - повышать эффективность использования каналов и снизить вероятность блокировки вызова, когда каналы данной ячейки все заняты. При этом тем BTS, на которых все каналы заняты, на время сеанса связи предоставляются каналы из соседних ячеек.

Можно так же использовать гибридные методы распределения каналов. В таких системах каждой BTS выделяется фиксированный набор каналов, а так же некоторое число динамически распределенных каналов. При этом построении вероятность блокировки вызова зависит как от имеющейся нагрузки на канал, так и от выбранного соотношения между числом фиксированных и динамических каналов

Важным достоинством динамического и гибридного распределения является то, что они позволяют осуществить выравнивание ТЛФ нагрузки на один канал, если ее плотность не постоянна. При фиксированном распределении это достигается уменьшением радиуса ячейки, а так же путем увеличения числа каналов на BTS в местах с высоким трафиком. По такому принципу осуществляется первоначальный запуск системы, т.е. сначала вводится несколько BTS с крупными ячейками, а затем путем постепенного дробления сотовой решетки система входит в режим максимальной пропускной способности.

При проектировании ССПС важное значение имеет не только изучение вопросов частотного планирования и распределения каналов, но

и исследование распространения УКВ в городских и пригородных зонах. Проведенные многочисленные экспериментальные исследования распространения УКВ в условиях городской и сельской местности, где возможны многократные отражения (многолучевость), показали, что затухание радиоволн существенным образом зависит лишь от высоты h антенны BTS и уменьшается с увеличением последней. Кроме того, мощность сигнала в зависимости от расстояния между антеннами изменяется примерно одинаково.

ССПС присущи также внутрисистемные помехи, обусловленные, с одной стороны, взаимными помехами ячеек с совмещенными каналами, а с другой - наличием межканальных помех. Уровень взаимных помех определяется выбранными параметрами сети C и D, которые при заданной пропускной способности и выделенной полосе частот позволяют определить число мешающих станций. Если общее число BTS не велико, т.е. L не существенно превышает величину C, то в системе может быть всего одна или несколько мешающих станций.

Существуют различные методики расчета внутрисистемных взаимных помех. Результаты расчетов по ним приблизительно одинаковы. Анализ таких расчетов показывает, что для увеличения помехоустойчивости и более эффективного использования спектра целесообразно устанавливать на BTS направленные 120° - антенны. В этом случае каждая BTS имеет трехсекторную антенну, которая располагается в одном из углов шестиугольной ячейки, таким образом, охватывает одновременно три ячейки. Так как на каждую ячейку приходится три сектора от трех BTS, то общее число BTS равно числу ячеек системы. Для худшего случая, когда MS расположена в одном из углов шестиугольной ячейки, при $C = 1$, отношение сигнал/помеха на входе приемника возрастает до величины 1,7 дБ. В общем случае показывается, что направленное излучение является эффективной мерой снижения уровня взаимных помех в ССПС.

Контрольные вопросы

1. Приведите этапы развития и классификацию мобильных систем связи.
2. Приведите типовую структурную схему СПРВ и поясните назначение отдельных узлов.
3. Приведите схему построения и состав оборудования сетей пейджинговой связи и поясните, что является основной службой пейджинговой системы?
4. Какие существуют типы пейджинговых терминалов и приведите их структурные схемы?

Приведите типовую схему построения пейджинговой станции и поясните назначение отдельных её узлов.

Лекция 2

Транкинговые мобильные радиосистемы

Ключевые слова: транкинговая связь, групповая радиосвязь, телетрафик, сайт, антенно-фидерное устройство, базовый радиоретранслятор (БР) и базовый контроллер (БК).

План

1. Принципы организации радиосвязи в транкинговых радиосистемах
2. Структурное построение транкинговых радиосистем

1. Принципы организации радиосвязи в транкинговых радиосистемах

Транкинговые системы в отличие от сотовых систем индивидуальной радиотелефонной связи являются системами групповой радиосвязи и строятся по принципу формирования разговорных групп (РГ) или радиосетей, составляемых из абонентов MS. Разговорные группы (радиосети) формируются из условия общей заинтересованности абонентов в получаемой информации.

Каждой РГ (радиосети) на время разговора выделяется один дуплексный или симплексный радиоканал. Совокупность равнодоступных каналов, выделяемых нескольким РГ (радиосетям), составляет канальную базу (trunk) системы. Для обеспечения связи большому количеству M мобильных радиоабонентов, распределенных по разговорным группам, выделяется ограниченное количество N радиоканалов (рабочих частот). Использование условия $M > N$ основано на статистической неравномерности потока заявок на вызовы даже в часы наибольшей нагрузки (ЧНН) системы.

Принцип организации радиосвязи по радиосетям позволяет получить значительную экономию радиочастотного ресурса при большом количестве радиоабонентов. Это обеспечивает существенное снижение эксплуатационной стоимости транкинговых радиосистем по сравнению с сотовыми системами такой же абонентской емкости.

Другим принципиальным отличием систем транкинговой связи от систем сотовой связи является способ организации телетрафика. В сотовых системах коммутация каналов и управление осуществляется на уровне фиксированной сети единым на всю зону обслуживания (ЗО) центром коммутации подвижной службы (ЦКПС). Базовые станции только ретранслируют сообщения в ЦКПС. В транкинговых же системах эта функция выполняется на радиоуровне (базовым коммутационным оборудованием каждого сайта).

В транкинговых, как и в сотовых системах, реализуется возможность вызова абонента стационарной телефонной сети подвижным радиотелефонным абонентом РГ, а также вызова подвижных абонентов абонентами стационарной телефонной сети. Однако, в отличие от сотовых систем эти функции распространяются только на привилегированных абонентов.

Кроме функций радиотелефонной связи транкинговые системы обеспечивают возможность передачи данных (ПД) и реализацию функций определения координат местонахождения MS на местности.

Организация телетрафика между абонентами в РГ осуществляются базовыми контроллерами, которые принимают вызовы от MS и предоставляют им дуплексные радиоканалы для обеспечения разговоров, то есть радиосвязь в РГ осуществляется через сайтовый радиоретранслятор. Базовые контроллеры

осуществляют также саморегулирование системы и контролируют качество каналов в процессе работы. При больших нагрузках системы и сложной помеховой обстановке коммутация может осуществляться в так называемом динамическом режиме, когда пораженные частоты передачи и приема автоматически заменяются в процессе ведения связи.

2. Структурное построение транкинговых радиосистем

Транкинговые ССПС в зависимости от площади зон обслуживания могут быть односайтовыми и многосайтовыми. Примером многосайтовой транкинговой ССПС может служить система SmartZone, разработанная компанией MOTOROLA (рис. 2.1).

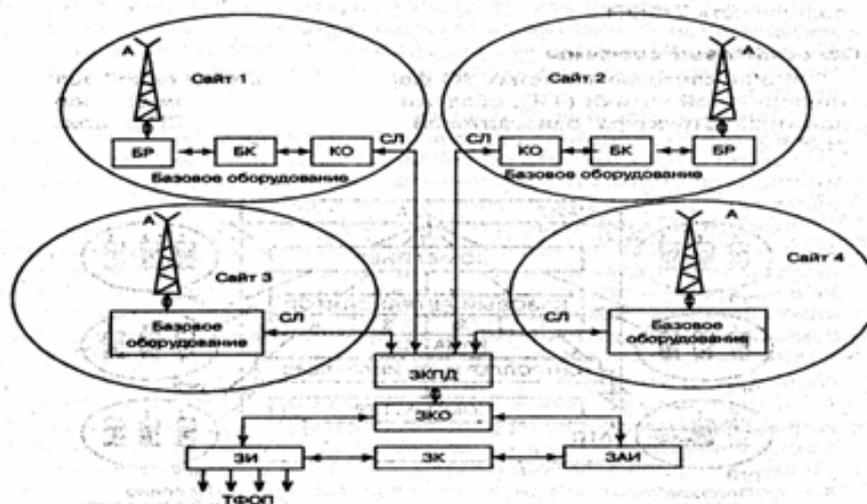


Рис. 2.1. Структура многосайтовой транкинговой ССПС

В многосайтовой системе создается несколькими сайтами, соединенными между собой высокоскоростными каналами через зонный коммутатор передачи данных (ЗКПД). Для этого в состав базового оборудования каждого сайта входит каналобразующее оборудование (КО), обеспечивающее формирование цифровых потоков с другими сайтами. Для организации междусайтовой связи используют выделенные многоканальные соединительные линии. Соединительные линии (СЛ) могут строиться с помощью аппаратуры радиорелейной связи, волоконно-оптических линий и кабельных линий связи.

Системные комплексы базового оборудования сайтов включают также антенно-фидерное устройство (АФУ), базовый радиоретранслятор (БР) и базовый контроллер (БК).

Для передачи информационных потоков в другие зоны используется зонное оборудование, включающее:

- зонное каналобразующее оборудование (ЗКО);
- зонный контроллер (ЗК);
- зонный телефонный интерконнект (ЗТИ);
- зонный аудиокоммутатор (ЗАК).

Таким образом, межзональная система телекоммуникаций позволяет маршрутизировать основные информационные потоки, минуя междугородную сеть ТФОП. **Односайтовые системы**

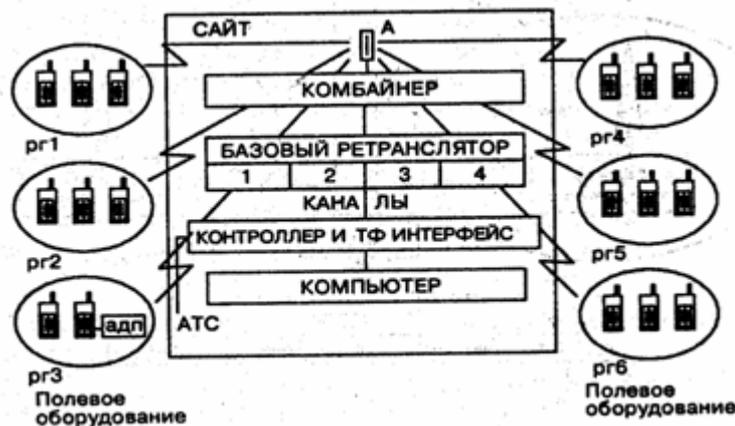


Рис. 2.2. Структура односайтовой транкинговой ССПС

В односайтовых системах 30 формируется в виде одной телекоммуникационной ячейки (ТЯ), обслуживаемой комплектом базового оборудования. Структура односайтовой транкинговой ССПС показан Рис. 2.2. Структура односайтовой транкинговой ССПС

Системный комплект базового оборудования сайта включает следующие функциональные группы:

- базовое оборудование (базовый многоканальный ретранслятор, комбайнерная система, антенно-фидерное устройство, базовый контроллер с телефонным интерконнектом);
- полевое оборудование (комплекс мобильных портативных и бортовых MS и полевых ретрансляторов).

В состав базового оборудования может входить также базовый компьютер сайта. Базовый многоканальный ретранслятор включает несколько независимых трактов передачи и приема, объединенных в блоке каналов в каналные пары. Каждая каналная пара использует свои 1 рабочие частоты передачи и приема, создавая дуплексный радиоканал. Количество каналных пар ретранслятора определяет каналную базу (trunk) сайта.

Антенно-фидерное устройство (АФУ) базового оборудования включает общую приемопередающую антенну (А), фидерную линию и комбайнерную систему. Комбайнерная система обеспечивает развязку трактов передачи блока каналов при их работе на одно АФУ.

Базовый контроллер является центральным процессором сайта, обеспечивающим автоматизацию процессов каналообразования и контроля.

Телефонный интерконнект позволяет подключать базовый контроллер сайта к фиксированной телефонной сети общего пользования (ТФОП), а также к каналообразующему оборудованию (КО) при построении многосайтовой системы. Базовый компьютер сайта выполняет задачи системного менеджера, Он обеспечивает управление конфигурацией системы и пользовательскими функциями абонентов.

Электроснабжение базового оборудования осуществляется от типовой однофазной электросети переменного тока напряжением 220 В (50 Гц).

Антенна сайта устанавливается на опоре с максимально возможной высотой подъема, позволяющей обеспечивать электромагнитное покрытие зоны

обслуживания сайта. Фидер обеспечивает подключение антенны к выходу комбайнерной системы и входам трактов приема блока каналов.

Формирование РГ осуществляется путем выделения каждой из них кодовых последовательностей (адресов) с помощью системного менеджера (базового компьютера).

Программирование элементов полевого оборудования

Системный менеджер обеспечивает также программирование (ионнымсталляцию) элементов полевого оборудования и присваивает адреса привилегированным MS; Он позволяет изменять конфигурацию системы, изменять состав и количество РГ по заявке заказчика. Предусматривается возможность реформирования РГ в динамическом режиме при возникновении чрезвычайных ситуаций управления. Разговорные группы (РГ) в системе могут объединяться в макро группы, включающие различные радиосети.

Многоприоритетные вызовы

В транкинговой системе предусмотрены многоприоритетные вызовы. Контроль за степенью приоритетности осуществляет базовый контроллер. Особым приоритетом обладает кнопка аварийного вызова на MS. Приоритетные абоненты могут вызывать не только требуемых MS в РГ, но также осуществлять вызовы других РГ и их абонентов (системные вызовы).

Процедура вызова

Вызов в системе осуществляется с помощью кнопки РТТ (нажать для разговора), размещаемой на MS. Вызов может быть общим для всей РГ или индивидуальным для отдельной MS. В этом случае абонент предварительно набирает номер вызываемой MS на аппаратуре интерфейса пользователя. Другие MS данной РГ не слышат разговора этой пары. В случае отсутствия свободного разговорного канала абонент после нажатия кнопки РТТ слышит ряд коротких гудков (занято). При этом базовый контроллер автоматически ставит эту MS в очередь и при освобождении канала (даже при отпущенной кнопке РТТ) сообщает тональным сигналом о возможности организации разговора.

При воздействии помех во время разговора базовый контроллер автоматически заменяет выделенный разговорный канал (пораженную рабочую частоту). Такой процесс управления называется динамической перегруппировкой каналов.

Базовый контроллер предусматривает также возможность организации радиосвязи между MS минуя базовый ретранслятор (принцип прямой связи). Это осуществляется путем перестройки MS на каналы не используемые базовым ретранслятором или при выходе его из строя. При этом базовый контроллер передает по каналу управления номер канала прямой связи и MS автоматически перестраиваются на него.

Контрольные вопросы

1. В чем состоят основные архитектурные принципы построения транкинговых систем и перечислите её составляющие и что такое «транкинг»?
2. Приведите обобщенную структурную схему однозоновой транкинговой системы и поясните назначение её составляющих.

3. Как осуществляется в транкинговых системах связи поиск свободного канала?

4. Приведите структурную схему транкинговой системы с распределенной и централизованной межзональной коммутацией;

Приведите структурную схему сети Multi - Net LTR с фиксированным распределением каналов и поясните её работу.

Лекция 3

Принцип действия системы сотовой связи GSM

План лекции

1. Определение системы сотовой связи GSM

2. Характеристики системы сотовой связи GSM

Ключевые слова: система, мобильные коммуникации, кодирование, рабочие частоты, структура кадра, блочное и сверточное кодирование, система синхронизации, частотный сдвиг, замирание сигналов, частотная манипуляция, помехоустойчивость передачи.

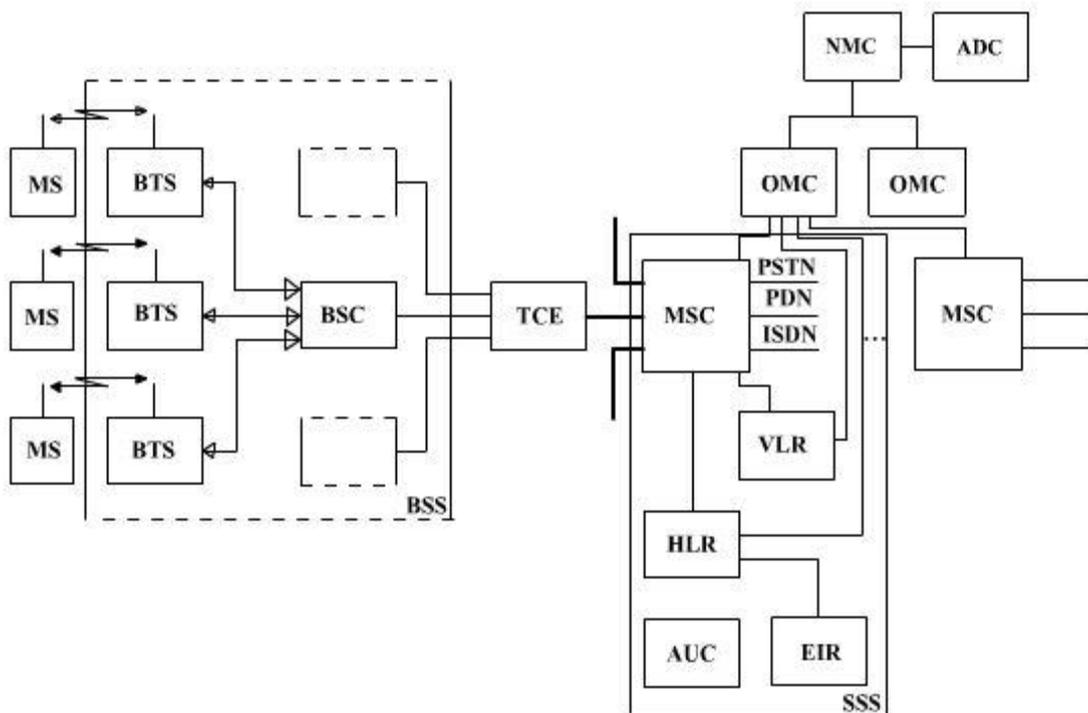
GSM (Global System for Mobile Communications - глобальная система для мобильных коммуникаций)

В соответствии с рекомендациями СЕРТ 1980г., для подвижной связи стандарта GSM выделен спектр частот в диапазоне 862 - 960 МГц. При чем для передатчиков подвижных станций 890 - 915 МГц и передатчиков базовых станций 935 - 960 МГц. В стандарте GSM используется узкополосный МДВР (NB TDMA). В структуре кадра содержится 8 временных позиций на каждой из 124 несущих. Для повышения помехоустойчивости передачи информационного пакета применяется блочное и сверточное кодирование с перемежением. Эффективность кодирования и перемежения при малой скорости перемещения подвижных станций, повышается медленным переключением рабочих частот (SFH) в процессе сеанса связи со скоростью 217 скачков в секунду. В условиях города имеет место многолучевое распространение радиоволн, которые приводят к интерференционным замираниям принимаемых сигналов. Для борьбы с этим явлением используются эквалайзеры, выравнивающие импульсные сигналы со среднеквадратичным отклонением времени задержки до 16 мкс. Используемая система синхронизации позволяет компенсировать абсолютное время задержки сигнала до 233 мкс, что соответствует максимальному радиусу соты, равному 35 км. В стандарте GSM используется гауссовская частотная манипуляция с минимальным частотным сдвигом (GMSK). Обработка разговорного сигнала производится путем прерывистой передачи речи (DTX), при которой передатчик включается только при наличии сигнала, в паузах и в конце разговора передатчик отключается. Для этого используется речевой кодек с регулярным импульсным возбуждением, долговременным предсказанием и линейным предикативным кодированием с предсказанием (RPE/LTR -LTR - кодек). Общая скорость преобразования речевого сигнала - 13 кбит/с. Для обеспечения скрытности связи в стандарте GSM применяется шифрование по алгоритму с открытым ключом (RSA). В общем случае стандарт GSM позволяет создать сеть, представляющей пользователям широкий диапазон услуг с подключением к телефонным сетям общего пользования (PSTN), сетям передачи данных (PDN) и цифровым сетям с интеграцией служб (ISDN). Основные характеристики стандарта GSM

Основные характеристики стандарта GSM

Частота передачи подвижной станции и приема базовой станции, МГц	890 - 915
Частота приема подвижной	935 - 960

станции и передачи базовой станции, МГц	
Дуплексный разнос частот приема и передачи, МГц	45
Скорость передачи сообщений в радиоканале, кбит/с	270, 883
Скорость преобразования речевого кодека, кбит/с	13
Ширина полосы канала связи, кГц	200
Максимальное количество каналов связи	124
Максимальное количество каналов, организуемых в базовой станции	16 - 20
Вид модуляции	GMSK
Индекс модуляции	BT 0,3



Функциональная схема, принятая в стандарте GSM.

Здесь MSC (Mobile Sttion) - 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.

Для сопряжения элементов системы имеется несколько интерфейсов, которые взаимодействуют между собой в соответствии с системой сигнализации МККТТ № 7. MSC, обслуживающий группу сот, аналогичен центру коммутации ISDN и является интерфейсом между фиксированными сетями и подвижной связью. Кроме того, он обеспечивает маршрутизацию вызовов и выполняет функции управления вызовами, а также осуществляет "эстафетную передачу" MS в процессе перемещения ее, из одной соты в другую, с переключением рабочих каналов в соте при появлении помех или неисправностей. В функции MS входит также сбор статистических данных, необходимых для контроля работы и оптимизации сети, а также формирует данные для выписывания счетов, которые направляются в центр расчетов (биллинг - центр). Выполняет процедуры запрета несанкционированного доступа в сеть. MSC также управляет процедурами регистрации местонахождения MS и передачи управления, кроме передачи управления в подсистеме базовых станций (BSS).

Передача вызова позволяет сохранить соединения и обеспечивать введение разговора, когда подвижная станция перемещается из одной зоны обслуживания в другую. В сотах передачу вызова осуществляет BSC, если же вызов осуществляется между двумя сетями управления равными BSC, то первичное управление осуществляет MSC. Кроме того, возможна передача вызова между сетями относящимися к разным MSC.

Для слежения за перемещением MS в центре коммутации предусмотрены регистры положения HLR и перемещения VLR. В HLR храниться та часть информации местоположения MS, по которой центр коммутации может доставить вызов станции, а так же содержит международный идентификационный номер подвижного абонента (IMSI).

По этому номеру в центре аутентификации (AUC) опознается MS. В общем случае HLR представляет собой справочную базу данных постоянных абонентов сети. В ней содержатся опознавательные номера и адреса, параметры подлинности абонентов, состав услуг связи, а так же специальная информация о маршрутизации. Регистрируются данные о роуминге (блуждании) абонента, а так же временный идентификационный номер подвижного абонента (TMSI) в соответствующем VLR.

К данным, содержащимся в HLR, имеют дистанционный доступ все MSC и VLR данной сети и других сетей для обеспечения межсетевого роуминга абонентов.

Контрольные вопросы

1. Что нормирует протокол MPT 1327 и приведите его структуру?
2. Приведите протокол формата кода синхронизации в цифровых системах PMR и PAMR и протоколы используемые в радиointерфейсах подвижной и базовой станций?
3. Приведите основные характеристики стандарта EDACS и EDACS ProtoCall.
4. Приведите и поясните обобщенную модель РПС стандарта APCO - 25 и модель радиointерфейса Um и что он регламентирует?
5. Приведите и поясните окончательную структуру суперкадра стандарта APCO - 25

Лекция 4

План лекции

1. Работа мобильного аппарата и процессы обмена сообщениями

2. Электромагнитной совместимости СССПО

Применение шестиугольной формы ячеек позволяет минимизировать необходимый частотный диапазон, поскольку обеспечивает оптимальное соотношение между величиной S и защитным интервалом. Кроме того, шестиугольная форма наилучшим образом вписывается в круговую диаграмму направленности БС, установленной в центре ячейки.

Остановимся более подробно на вопросе о выборе размеров ячеек (радиусе R). Эти размеры определяют защитный интервал D между ячейками, в которых одни и те же частоты могут быть использованы повторно. Заметим, что величина интервала зависит также от допустимого уровня помех и условий распространения радиоволн. В предположении, что интенсивность нагрузки в пределах всей зоны одинакова, ячейки выбираются одинаковых размеров. При заданном размере зоны обслуживания (радиус R_0) радиус ячейки R определяет также число абонентов N , способных одновременно вести переговоры на всей территории обслуживания. Из этого соотношения также видно, что уменьшение радиуса ячейки позволяет не только повысить частотную эффективность и увеличить пропускную способность системы, но и уменьшить мощность передатчиков и чувствительность приемников БС и АС. Это улучшает условия электромагнитной совместимости СССПО с другими радиоэлектронными средствами и системами и снижает ее стоимость.

С другой стороны, чрезмерное уменьшение радиуса ячеек приводит к значительному увеличению числа пересечений абонентом ПС границ ячеек, что может вызвать перегрузку устройств управления и коммутации системы. Кроме того, возможно увеличение числа случаев возникновения взаимных помех. И, наконец, при малых значениях R в реальных условиях даже незначительное отклонение положения антенны относительно геометрического центра ячейки может вызвать ощутимое уменьшение отношения сигнал/помеха в системе. В связи с этим в реальных условиях при выборе величины R приходится принимать компромиссное решение. Типовые значения радиусов выбираются на основе расчетов и опыта эксплуатации и составляют величину 0,5 - 2,5 км (в Лондоне и Стокгольме). В перспективе в особенности для районов с плотным трафиком эта величина, как полагают, будет уменьшаться.

Исключительно важным вопросом, определяющим в значительной степени основные характеристики ССПР, является распределение частотных каналов между БС. Оно позволяет обеспечить низкий уровень межканальных помех, оказывающих значительное влияние на помехоустойчивость системы. Существуют три способа распределения частотных каналов: фиксированное, динамическое и гибридное.

При фиксированном распределении каждой БС выделяется определенный набор каналов. АС подвижных абонентов при нахождении их в определенной ячейке с помощью ЦС назначается свободный в данный момент времени канал из набора. При перемещении АС в другую ячейку с помощью процедуры эстафетной передачи осуществляется переключение данной АС на

соответствующий свободный канал этой ячейки. Недостатком способа является неэффективное использование частотного спектра, поскольку в реальных условиях центральные ячейки города могут быть перегружены, а периферийные иметь свободные каналы.

При динамическом способе любой из частотных каналов может быть использован любой БС. При этом тем БС, на которых все каналы заняты, предоставляются на время сеанса связи каналы из других ячеек. Это осуществляется с помощью ЭВМ, в памяти которой хранится информация о состоянии каждого канала в зоне обслуживания и всех его изменениях в процессе работы системы, а также о местонахождении абонента ПС. Таким образом, динамическое распределение каналов позволяет увеличить загруженность каналов и тем самым повысить эффективность их использования и снизить вероятность блокировки вызова в случае, когда все каналы данной ячейки заняты. Однако нагрузки на устройства управления системой связи в этом случае возрастают.

При гибридном способе распределения каждой БС выделяется фиксированный набор каналов, а также определенное их число для распределения динамическим способом. Гибридный способ при больших нагрузках позволяет предъявлять менее жесткие требования к управляющим устройствам по сравнению с динамическим, а в области малых значений нагрузки имеет преимущество перед фиксированным, состоящее в более низкой вероятности блокировки вызова. Следует отметить, что наиболее существенное достоинство динамического и гибридного распределений заключается в том, что они обеспечивают выравнивание нагрузки на канал. При фиксированном распределении это осуществляется путем увеличения числа каналов, предоставляемых БС в местах с плотным трафиком, а также уменьшением радиуса ячеек.

Необходимость многофункционального управления в ССсПО имеет первостепенное значение для реализации возможности наиболее эффективного использования выделенной полосы радиочастот. Многократное использование частот затрудняется из-за сильного изменения уровня сигнала по мере движения АС в пределах зоны обслуживания, обусловленного многолучевым распространением сигнала, а также экранирующим и поглощающим воздействием местных объектов. Управление необходимо осуществлять таким образом, чтобы в сильно меняющихся условиях прохождения радиосигналов непрерывно осуществлялась надежная связь. Как отмечалось выше, с этой целью ЦС осуществляет функции управления эстафетной передачей АС по мере пересечения абонентом ПС границ ячеек и снижения качества сигнала ниже установленного заранее порогового уровня. Для оценки качества сигнала по разговорному каналу постоянно передается пилот-сигнал и измеряется соотношение сигнал/шум по мощности или сигнал/помеха с помощью специальных измерительных приемников. При уменьшении величины до значений ниже порогового уровня, что может обуславливаться выходом АС из зоны действия БС, замираниями сигнала, а также рядом других причин, ЦС выбирает зону с максимальной величиной и переключает АС на новый канал (осуществляет эстафетную передачу).

Для реализации процедуры управления и обмена служебной информацией между БС и АС на группу разговорных каналов выделяется специальный канал управления. В свободном режиме АС постоянно настроена на частоту этого канала. Обмен соответствующей информацией в звене БС-ЦС производится по специальному проводному каналу, также выделенному на группу разговорных каналов.

Характерной особенностью процесса коммутации, осуществляемой в ССсПО, является то, что абонент находится в движении и может оказаться в зоне обслуживания любой БС. В связи с этим для установления соединения с находящейся в движении АС необходимо иметь информацию о местонахождении абонента. При этом согласно рекомендациям МККТТ координаты АС должны определяться с точностью до зоны или группы зон. Эта процедура должна осуществляться таким образом, чтобы обеспечивалось своевременное обновление данных о местоположении АС и был максимально облегчен поиск АС при изменении зоны обслуживания. Результаты регистрации местоположения АС хранятся в специальном регистре для записи местоположения. При анализе и расчете зон действия БС и решении ряда других задач существенную роль играет учет особенностей распространения радиоволн УКВ- и СВЧ-диапазонов в городских и пригородных условиях. К ним относятся, прежде всего, многолучевое распространение, вызываемое случайными и многократными отражениями от зданий и других объектов городской застройки, а также рассеиванием радиоволн этими объектами. В результате суммирования различных лучей на приемной стороне радиолинии возникают случайные амплитудные и фазовые флуктуации, вызывающие явления замирания сигнала. Распределение огибающей такого сигнала подчиняется закону Рэлея, а величина замираний относительно среднего уровня составляет 40 дБ. Одним из основных путей борьбы с замиранием является использование методов разнесенного приема. Эти методы предполагают наличие нескольких разделенных трактов передачи с независимыми замираниями, по которым передается одно и то же сообщение. Средние уровни сигналов, передаваемых по каждому тракту, должны быть также примерно одинаковы. При соответствующем комбинировании сигналов, поступающих из трактов передачи, формируется результирующий сигнал, имеющий гораздо меньшую глубину замирания и обеспечивающий соответственно большую надежность передачи.

В последнее время в этих же целях начинает применяться медленная псевдошумовая перестройка рабочей частоты.

Контрольные вопросы

1. Назначение и из каких устройств состоит сеть стандарта TETRA?
2. В каких режимах может функционировать и какими способами могут организовываться каналы для передачи сообщений в стандарте TETRA?
3. В каких режимах могут работать службы речевой связи и как может организовываться ПД?
4. Приведите вариант построения сети национального или регионального уровней и дайте пояснение.
5. Приведите структуру гипокadra для радиointерфейса стандарта TETRA V + D.

Лекция 5

Распространение сигнала в свободном пространстве

План лекции

1. Передача сигнала в системе радиосвязи

2. Коэффициент усиления антенны

Передача сигнала в системе радиосвязи основана на преобразовании генерируемого передатчиком электрического сигнала в электромагнитные волны, распространении волн в пространстве и обратном преобразовании в электрические сигналы на стороне приема. Свойства канала подвижной связи зависят от множества факторов, в первую очередь от параметров используемых антенн, свойств физической среды, в которой распространяются радиоволны, особенностей электронных цепей, участвующих в передаче и приеме сигнала, а также от скоростей перемещения подвижных станций. Чтобы упростить рассмотрение свойств канала подвижной связи, мы вначале разберем идеальный случай - распространение сигнала в свободном пространстве. Прежде всего, введем основные термины, касающиеся антенн.

Рассмотрим теоретический случай, когда антенна излучает сигнал определенной мощности одинаково во всех направлениях. Такая антенна называется изотропной. Это идеальное устройство, которое практически невозможно реализовать. Однако оно служит эталоном для других типов антенн. Если мы нарисуем вокруг изотропной антенны сферу заданного радиуса, то во всех точках поверхности этой сферы электромагнитное поле, индуцируемое антенной, будет одинаково. Реальные антенны фокусируют излучаемую энергию в определенных направлениях.

Отметим, что излучаемая мощность может быть выражена в виде произведения средней и величины полного телесного угла. Средняя плотность излучения может быть интерпретирована как плотность потока энергии изотропной антенны, которая излучает ту же самую суммарную мощность, что и заданная антенна. Отношение плотности потока энергии к средней ППЭ (плотности потока энергии) называется коэффициентом направленного действия (КНД) антенны. Его максимальное значение называется направленностью антенны. Термин направленность означает, что плотность излучения в направлении максимального излучения в D раз больше, чем плотность излучения изотропной антенны той же суммарной мощности, что и данная антенна.

В реальной антенне излучаемая мощность представляет собой только часть подаваемой на ее вход мощности. Часть мощности рассеивается и преобразуется в тепло. Таким образом, антенна характеризуется энергетической эффективностью. Коэффициент усиления антенны обычно применяется при определении эквивалентной изотропно излучаемой мощности (ЭИИМ, англ. Effective Isotropic Radiated Power - EIRP). Эквивалентная изотропная излучаемая мощность определяется как мощность, которую необходимо подать на изотропную антенну для того, чтобы получить в точке приема точно такое же поле, которое будет получено в ней при помощи антенны с коэффициентом усиления G , на вход которой подана мощность P .

Другой тип эталонной антенны - полуволновый симметричный вибратор. Если сравним мощность сигнала от антенны с коэффициентом усиления G с таковой от полуволнового вибратора, то определим так называемую эквивалентную излучаемую мощность (ЭИМ, англ. Effective Radiated Power - ERP). Коэффициент усиления полуволнового вибратора относительно изотропной антенны равен 1,64, что соответствует 2,15 дБ. Поэтому эквивалентная излучаемая мощность заданной антенны будет на 2,15 дБ меньше, чем ее эквивалентная изотропная излучаемая мощность. В зависимости от принятого типа эталонной антенны, единицы измерения коэффициента усиления антенны обозначаются: дБи - для изотропной антенны или дБд - для полуволнового вибратора.

Рассмотрим передающую антенну, которая излучает мощность P , в свободное пространство. Пусть коэффициент усиления этой антенны в заданном направлении равен G . Приемная антенна, которая направлена на передающую антенну и расположена от нее на указанном расстоянии, "собирает" лишь часть излучаемой мощности. Эта принимаемая мощность зависит от эффективной площади антенны. Коэффициент усиления приемной антенны G и ее эффективная площадь зависят от геометрических свойств антенны и длины волны принимаемого сигнала.

Из теории цифровых систем связи известно, что основным критерием производительности системы связи считается частота появления ошибок. При передаче данных по каналу с аддитивным гауссовским шумом частота появления ошибок зависит от отношения мощности сигнала к шуму, а также типа используемого приемника. Как правило, частота (вероятность) появления ошибок является функцией энергии сигнала, приходящейся на один бит, отнесенной к спектральной плотности мощности белого гауссовского шума. Аддитивный белый гауссовский шум - это модель наблюдаемого на входе приемника теплового шума, поскольку спектральная плотность мощности этого шума остается постоянной в очень широком диапазоне частот.

Контрольные вопросы

1. Перечислите цифровые стандарты транкинговой радиосвязи и приведите основные характеристики.
2. Что понимается под эксплуатационно - техническими и организационно - экономическими критериям?
 1. Дайте понятия критерия «дальность связи», «оперативность связи» и «безопасность и спектральная эффективность связи».
 2. Какой набор услуг обеспечивают стандарты цифровой транкинговой радиосвязи.
 3. Какие перспективы развития систем цифровых транкинговых стандартов в мире?

Лекция 6

Формирования зон обслуживания и частотное планирование в системах мобильной связи

Ключевые слова: стандарт E-GSM (Extended – GSM), многосотовые системы, каналы трафика.

План

1. Распределение частот
2. Физические и логические каналы
3. Радиоинтерфейс стандарта GSM

1. Распределение частот

Здесь речь пойдет об организации передачи информации пользователя и сигналов управления по радиоканалам.

В соответствии с рекомендацией СЕРТ 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). Таким образом организуется дуплексный разнос частот на передачу и прием в 45 МГц. Каналы передачи от базовых станций к подвижным называют прямыми каналами (Forward) (или еще называют - линия вниз - Up link (Up)). Каналы передачи от ПС к БС – обратные каналы (Reverse) (или линия вверх - Down link (DI)). Во всех системах сотовой связи более высокочастотный диапазон используется для передачи от БС к ПС.

Разница крайних частот на прием и передачу составляет 25 МГц. Эту полосу частот методом FDMA разделяют на частотные каналы по 200 кГц. Таким образом, в полосе 25 МГц получается 125 частотных каналов, которые нумеруются от 0 до 124. Нулевой частотный канал не используется, его оставляют как защитный интервал для устранения влияния работы других систем связи работающих вблизи этих частот. Остается 124 частотных канала, которые и используются в стандарте GSM. Для организации многостанционного доступа каждый частотный канал в 200 кГц методами TDMA разделяется на 8 временных слотов с нумерацией от 0 до 7, т.е. производится временное уплотнение частотных каналов. Итого получается, что в отведенном диапазоне 25 МГц могут одновременно вести связь 992 пользователя. Эта величина и составляет емкость сотовой системы стандарта GSM. Поскольку все пользователи одновременно не ведут связи, то это позволяет увеличить число пользователей в системе (емкость) значительно выше 992. Естественно это приводит к возникновению блокировки. Практически во всех видах многопользовательской связи практикуется использование системы с блокировкой и системы сотовой связи не исключение. Более того, как правило, в одной системе даже не используют всю полосу в 25 МГц. А отдельным базовым станциям выделяют только от одного до 16-ти частотных каналов!

В стандарте E-GSM (Extended – GSM) предусмотрено выделение дополнительных частотных полос по 10 МГц на прием и передачу. Эти полосы вводятся ниже 890 и 935 МГц соответственно. Это дает дополнительно 50

дуплексных каналов. Нумерация этих дополнительных каналов ведется от 974 до 1023, не накладываясь на ранее принятую нумерацию частотных каналов. Вдобавок, нулевой канал возвращен для использования, а роль защитного интервала теперь играет 974-й канал на частоте 880 – 880,2 МГц.

Емкость системы увеличивают дроблением ячеек (при одновременном уменьшении используемой мощности излучения) в местах с высокой плотностью пользователей. В многосотовых системах используют принцип повторного использования частот и/или секторное обслуживание или комбинации этих способов.

2. Физические и логические каналы

Итак, каждый пользователь получает свой временной интервал – слот в частотном канале. Именно слоты образуют физический канал. Восемь слотов образуют кадр (фрейм), в одном фрейме восемь физических каналов. Итак, физический канал (ФК) – это временной слот с определенным номером в последовательности кадров радиointерфейса. С помощью временной синхронизации каждый пользователь может работать во время сеанса связи только в своем слоте. Для борьбы с замираниями в стандарте GSM используют скачки по частоте (277 раз в секунду меняется частота несущей строго синхронно для всех пользователей), но всегда сохраняется позиция слота каждого пользователя относительно других пользователей и всегда сохраняется дуплексный разнос 45 МГц частот приема и передачи.

Как во всякой многоканальной системе помимо информации пользователя (голос или данные) – трафика, в системах сотовой связи необходимо передавать для управления множество дополнительных сигналов (синхронизация по времени и частоте, сигналы вызова различные запросы и подтверждения и многое другое).

По своей структуре и назначению эти сигналы отличаются от сигналов трафика. Отвлекаясь от физической природы сигналов, принято говорить, что в физических каналах образуются логические каналы. Их подразделяют на два типа: каналы трафика (передача речи и/или данных пользователя) и каналы управления. В системах сотовой связи (ССС) принято классифицировать каналы следующим образом.

Таблица 1

Признак	Обозначение	Название канала
Направление связи	F	Прямой (Forward)
	R	Обратный (Reverse)
Тип канала	L	Логический (Logical)
	P	Физический (Physical)
Назначение канала	A	Доступ (Access)
	P	Вызывной (Paging)
	S	Сигнализации (Signaling)
	T	Трафика (Traffic)
	C	Управления (Control)
Способ организации связи	A	Совмещенный (Associated)
	B	Широковещательный (Broadcast)

	C	Общий (Common)
	D	Выделенный (Dedicated)
	SD	Автономный (Stand-alone)
Вспомогательные каналы	A	Вспомогательный (Auxiliary)
	PI	Пилот – сигнал(Pilot)
	S или SYNC	Синхроканал (Synchronization)

В практике описания структуры радиointерфейса взаимодействия различных узлов сотовой системы связи принято обозначать каналы аббревиатурами.

Каналы трафика: TCH / FS; TCH / HS

Каналы управления: BCCH (состоит из FCCH и SCH); CCCH (состоит из PCN, RACH и AGCH; SDCCCH; ACCH (состоит из FACCH и SACCH).

Каналы трафика (Traffic Channels) делятся на полноскоростные (22,8 кбит/с) – TCH / FS (Full Speech) с полноскоростным кодированием речи и полускоростные (11,5 кбит/с) – TCH / HS (Half Speech). Также предусмотрены каналы трафика для передачи данных со скоростью 2,4 кбит/с, 4,8 и 9,6 кбит/с (TCH/F2.4, TCH/F4.8, TCH/9.6).

Каналы управления CCH делятся на 4 типа:

- ◆ вещательные BCCH (Broadcast Control Channels);
- ◆ общие CCCH (Common Control Channels);
- ◆ выделенные закрепленные SDCCCH (Standalone Dedicated Control Channels);
- ◆ совмещенные (ассоциированные) ACCH (Associated Control Channels).

Каналы BCCH предназначены для передачи информации от БС к ПС в вещательном режиме, т.е. без адресования к конкретной ПС. В число вещательных каналов управления входят:

- канал коррекции частоты FCCH (Frequency Correction Channel) – для подстройки частоты ПС под соответствующую частоту БС;

канал синхронизации SCH - для цикловой синхронизации ПС;

канал общей информации, не имеющий отдельного наименования.

Общие каналы управления CCCH включают:

канал вызова PCN, используемый для вызова ПС со стороны БС;

канал разрешения доступа AGCH (Access Grant Channel) для назначения закрепленного канала управления, которое также передается от БС на ПС;

канал случайного доступа RACH (Random Access Channel) – для выхода с ПС на БС с запросом о назначении выделенного канала управления.

При передаче информации по общим каналам управления прием информации не сопровождается подтверждением.

Выделенные закрепленные каналы управления SDCCCH – автономные каналы управления, используемые для сигнализации в процессе установления соединения до назначения пользовательского канала, например, для аутентификации и регистрации.

Совмещенные каналы управления ACCH, также используемые для передачи информации управления в обоих направлениях, включают в себя:

SACCH (Slow Associated Control Channel) (A) – медленный совмещенный (присоединенный) канал управления, который совмещается с каналом трафика (т.е. передается совместно с каналом трафика). Этот канал управления передается в 13-м кадре мультикадра канала трафика. SACCH может быть совмещен также с каналом SDCCH. В обоих случаях SACCH используется для передачи сравнительно редкой информации, например, результаты измерения уровня сигнала своей и смежных сот, сигналы для регулировки уровня мощности ПС, временная синхронизация.

FACCH (Fast Associated Control Channel) (A') – быстрый совмещенный канал управления. Он совмещается с каналом трафика, заменяя в соответствующем слоте информацию речи. Причем, эта замена помечается скрытым флажком (поле S).

Канал FACCH используется, если в процессе обмена пользовательской информацией необходимо передать объем информации больше, чем может обеспечить канал SACCH. В этом случае вместо 20 мс речевой информации передается, например, информация необходимая для переключения вызова. Прерывание в разговоре незначительно. При этом абоненту повторно передается информация предыдущего цикла.

Логические каналы коррекции частоты – F (FCCH), временной синхронизации – S (SCH), вещательный – B (BCCH) и общие – C (AGCH / PCN) имеют направление передачи от БС к ПС, т.е. прямой канал, а общий канал случайного доступа – R (RACH) от ПС к БС (обратный канал). Выделенный индивидуальный сигнальный – D (SDCCH), медленный совмещенный – A (SACCH) и быстрый совмещенный – A (FACCH) являются двусторонними. При этом каналы управления типа F, S и B имеют конфигурацию «точка-многоточие» и их достаточно иметь по одному каналу в каждой соте. Требуемое число логических каналов управления типов C, R, D, A зависит от нагрузки в системе, создаваемой ПС в каждой соте. В зависимости от создаваемой нагрузки для организации логических каналов управления используется один или более физических каналов.

В отличие от дуплексных каналов – трафика и совмещенных каналов управления, размещаемых в каналах трафика эфирного интерфейса, симплексные каналы BCCH и SCCH размещаются в нулевом слоте кадров эфирного интерфейса на так называемых несущих BCCH, выделенных в данной соте. Чтобы передать информацию этих каналов управления необходимо 51 фрейм, что и составляет 51-фреймовый мультикадр. В последнем, 51-м фрейме нулевой слот остается свободным (I - idle). В течении его длительности ПС производит измерения уровня сигналов своей и смежных сот. Первые 50 фреймов делятся на 5 блоков по 10 кадров. В начале каждого блока передается сообщение канала FCCH (структура слота – интервал подстройки частоты), далее идет сообщение канала SCH (структура слота – интервал синхронизации по времени). Затем в первом блоке передается сообщения канала BCCH и четыре сообщения канала AGCH или канала PCN, а в остальных четырех блоках все восемь сообщений отводятся под канал AGCH или PCN. Сообщения логических каналов управления в большинстве случаев кодируются со значительной избыточностью с целью защиты от ошибок при передаче.

Сообщения в обратном канале, т.е. сообщения RACH могут быть переданы в нулевом слоте каждого фрейма в пределах 51-ти фреймового мультикадра. Структура 51- фреймового мультикадра каналов управления прямого и обратного каналов приведена на рис. 1. В обратном канале мультикадр не разбивается на блоки. Так как длительность одного фрейма 4,615 мс, то длительность 51-го фреймового мультикадра равна $4,615 * 51 = 235$ мс, т.е. сообщения RACH (R) передаются ПС-ей 235 раз в мс.

Информация быстрого совмещенного канала (FACCH) передается в каналах трафика совместно с информацией пользователя. Логические каналы A (FACCH) и D (SDCCH) являются двусторонними и для их организации используется первый слот радиоканала. Для обеспечения требуемого качества обслуживания вызовов достаточно иметь в каждой соте по 8 логических каналов D со скоростью передачи 1,94 кбит/с и такое же количество совмещенных с ними каналов A со скоростью передачи в два раза ниже (0,97 кбит/с). В одном мультикадре (51 фрейм) передают информацию D-типа для 8 каналов (это занимает $8 * 4 = 32$ фрейма) и информацию A-типа для первых 4-х каналов. Следовательно, чтобы передать информацию A- для всех 8-ми каналов необходимо использовать два мультикадра по 51-му фрейму. За это время информация D-типа передастся дважды. Порядок размещения каналов этого типа показана на рис. 2. Логические каналы прямого и обратного направлений смещены во времени друг относительно друга. Это необходимо для того, чтобы ПС успевала сформировать свой ответ на сообщение БС.

Логические каналы трафика организуются следующим образом. Нулевой и первый слоты радиоканала уже заняты под логические каналы управления. Остаются только слоты со второго по седьмой. Их и отводят под каналы трафика. Каждый канал трафика должен иметь медленный ассоциированный совмещенный канал A со скоростью передачи 950 бит/с, который используется, например, для регулировки мощности ПС в процессе обмена пользовательской информацией. Кроме того, ПС требуется выделить время для реализации процедуры измерения уровня сигнала от своей и смежных сот. Учитывая это при размещении пользовательских логических каналов организуется мультикадр из 26 кадров. В полноскоростном режиме 13-й мультикадра используется для размещения логического канала управления A, а 26-й кадр остается свободным (он отводится для для такого же канала управления типа A при полускоростном режиме). Остальные 24 кадра предназначены для размещения одного пользовательского канала трафика со скоростью передачи 22,8 кбит/с ($24 * 114$ бит за 120 мс).

В полускоростном режиме передается информация двух пользователей. Их каналы передается поочередно через кадр. Каналы управления A передаются для одного в 13-м кадре, а для другого в 26-м.

3. Радиоинтерфейс стандарта GSM

Передача каналов трафика и каналов управления по радиоэфиру организуется TDMA –кадрами (фреймами), которые имеют длительность 4,615 мс. Каждый кадр состоит из восьми слот по 577 мкс. Из кадров составляются мультикадры.

Мультикадр канала трафика (длительностью 120 мс) состоит из 26 кадров. В 24-х передается информация пользователя (кадры 1-12 и 14-25), в

кадре 13 передается информация медленного совмещенного канала SACCH, а кадр 16-й оставлен свободным (зарезервирован для передачи второго сегмента канала SACCH при полускоростном кодировании).

Мультикадры каналов управления имеют длительность 235 мс и состоят из 51-го фрейма.

Но и мультикадры не позволяют передать всю необходимую для работы системы информацию. Поэтому мультикадры каналов трафика и каналов управления еще объединяют в суперкадры. Чтобы суперкадры каналов трафика и каналов управления имели одинаковую длительность в суперкадр объединяют 51 мультикадр канала трафика или 26 мультикадров канала управления. Длительность суперкадра в обоих случаях 6,12 с (1326 кадров).

2048 суперкадров образуют один гиперкадр длительностью 3ч 28 мин 53 с 760 мс. В гиперкадре 2 715 648 кадров. Номер кадра в пределах гиперкадра используется в процессе шифрования передаваемой информации.

Кадр канала трафика и канала управления имеют одинаковую длительность 4,615 мс, но они имеют различную структуру и разное информационное содержание. В кадре содержится 8 слотов, длительность каждого слота 0,577 мс.

При передаче разговорного канала используется так называемый нормальный интервал (нормальная пачка) (Normal Burst) длительностью 0,577 мс, что составляет 156,25 бит. Таким образом длительность одного бита в стандарте GSM составляет $0,577 : 156,25 = 3,693$ мкс.

Структура радиоинтерфейса приведена на рис.4 Следует весьма внимательно изучить структуру слотов и кадров и, обязательно сопоставить с материалом лекции №3 для лучшего освоения процедур обмена информацией между ПС и БС.

Гиперкадр (2 048 суперкадров; 2 715 648 кадров; 3 ч. 28 мин 53,760 с)

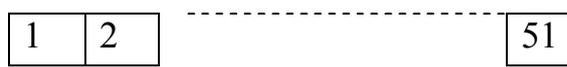
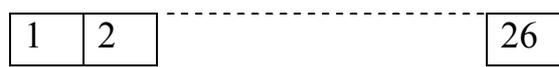


Суперкадр (51 мультикадр канала трафика; 26 мультикадров канала управления; 1 326 кадров; 6,12 с)



Рис. 1

Мультикадр канала трафика (26 кадров; 120 мс) Мультикадр канала управления (51 кадр; 235 мс)



Кадр канала трафика Кадр канала управления

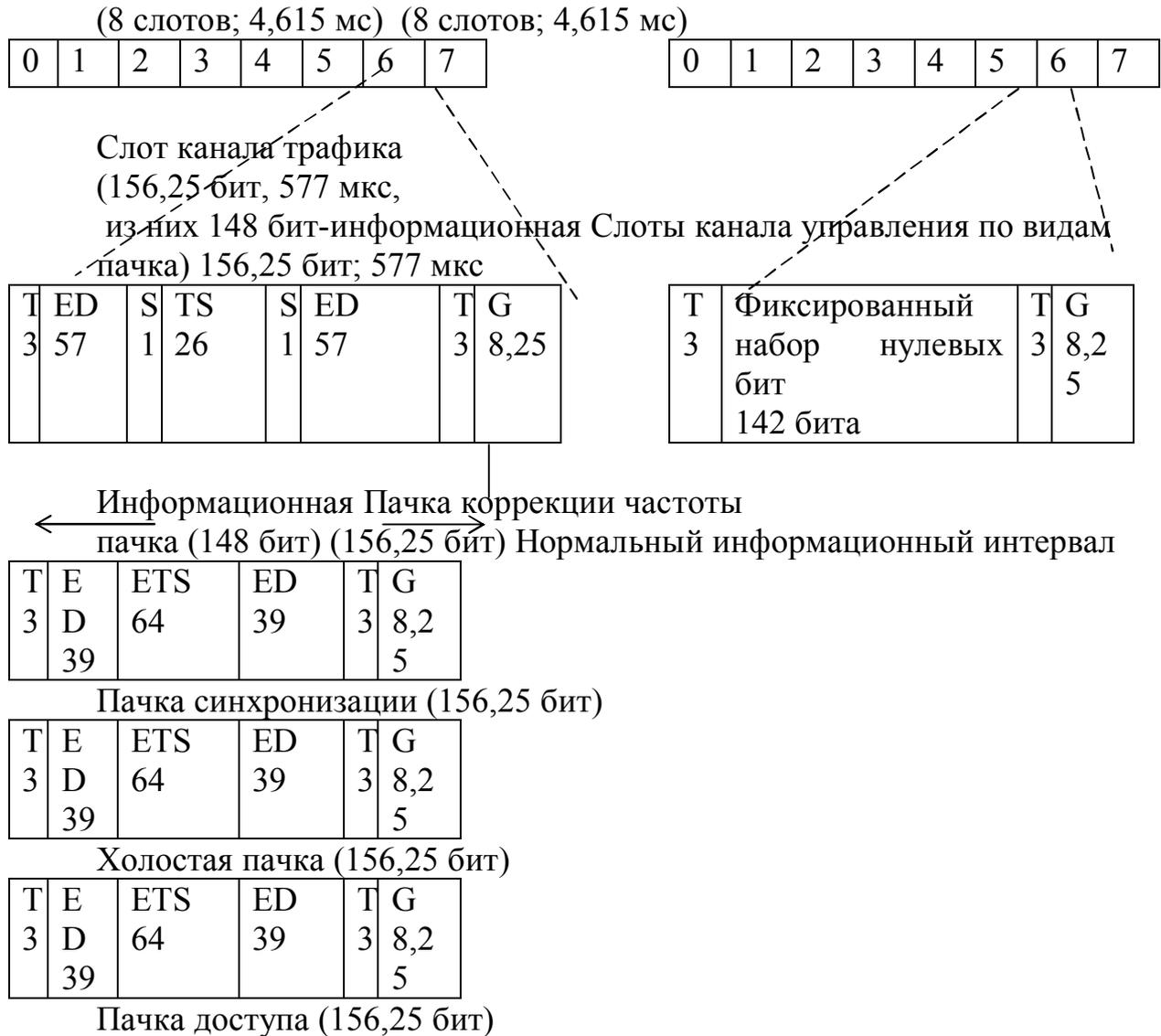


Рис. 2 - Структура эфирного интерфейса системы GSM

Контрольные вопросы

1. Перечислите наиболее известные аналоговые и цифровые стандарты ССПС.
2. Как осуществляется частотное распределение в ССПС?
3. Как обеспечивается повышение помехоустойчивости приема сигнала в ССПС?
4. Приведите основные характеристики стандартов систем с макросотовой и микросотовой топологией сетей.
5. Что понимается под интеллектуальными антенными системами в ССПС?

Лекция 7

Упрощённое планирование классической системы сотовой связи

Аутентификация пользователя - позволяет выяснить, знает ли пользователь АС свой персональный идентификатор. Процедура инициируется БС в начале вызова и может быть активизирована во время сеанса связи. После того, как пользователь вручную наберет свой персональный идентификатор UPI (User Personal Identity), и в АС с его помощью будет вычислен аутентификационный ключ К, происходит процедура, аналогичная последовательности действий при аутентификации АС.

Аутентификационный ключ - во всех описанных процедурах аутентификационный ответ вычисляется по аутентификационному запросу и ключу аутентификации К в соответствии со стандартным алгоритмом (DSAA-DECT Standard Authentication Algorithm) или любым другим алгоритмом, отвечающим требованиям безопасности связи. Алгоритм DSAA является конфиденциальной информацией и поставляется по контракту с ETSI. Использование другого алгоритма будет ограничивать возможности абонентских станций, так как возникнут трудности при роуминге в сетях общего пользования DECT.

Аутентификационный ключ К является производной от одной из двух величин или их комбинаций, приведенных ниже.

1. Абонентский аутентификационный ключ UAK (User Authentication Key) длиной до 128 бит. UAK является уникальной величиной, содержащейся в регистрационных данных пользователя. Он хранится в ПЗУ абонентской станции или в карточке DAM (DECT Authentication Module).
2. Аутентификационный код АС (Authentication Code) длиной 16-32 бита. Он может храниться в ПЗУ абонентской станции или вводиться вручную, когда это требуется для проведения процедуры аутентификации.

Необходимо отметить, что нет принципиальной разницы между параметрами UAK и АС. Последний обычно используется в тех случаях, когда требуется довольно частая смена аутентификационного ключа.

Персональный идентификатор пользователя UPI (User Personal Identity) длиной 16-32 бита. UPI не записывается в устройства памяти абонентской станции, а вводится вручную, когда это требуется для проведения процедуры аутентификации. Идентификатор UPI всегда используется вместе с ключом UAK.

Шифрование данных - обеспечивает криптографическую защиту пользовательских данных и управляющей информации, передаваемых по радиоканалам между БС и АС.

В АС и БС используется общий ключ шифрования СК (Cipher Key), на основе которого формируется шифрующая последовательность KSS (Key Stream

Segments), накладываемая на поток данных на передающей стороне и снимаемая на приемной. KSS вычисляется в соответствии со стандартным алгоритмом шифрования DCS (DECT Standard Cipher) или любым другим алгоритмом, отвечающим требованиям криптографической стойкости. Алгоритм DCS является конфиденциальной информацией и поставляется по контракту с ETSI.

В зависимости от условий применения систем DECT могут использоваться ключи шифрования двух типов: вычисляемый – DCK (Derivation Cipher Key) - и статический – SCK (Static Cipher Key). Статические ключи SCK вводятся вручную абонентом, а вычисляемые DCK обновляются в начале каждой процедуры аутентификации и являются производной от аутентификационного ключа K. В ПЗУ абонентской станции может храниться до 8 ключей.

Статический ключ обычно используется в домашних системах связи. В этом случае SCK является уникальным для каждой пары "абонентская /базовая станция", формирующей домашнюю систему связи. Рекомендуются менять SCK один раз в 31 день (период повторения номеров кадров), иначе риск раскрытия информации существенно возрастает.

В Европе DECT является обязательным стандартом, частотный диапазон DECT во всех странах-участницах Европейской конференции администраций почт и электросвязи (СЕРТ) зарезервирован исключительно для систем поддерживающих этот стандарт.

Емкость (показатель, учитывающий напряженность абонентского трафика, ширину используемого частотного диапазона и площадь покрытия, в Эрланг/МГц/км²) систем DECT выше, чем у других цифровых систем мобильной связи и составляет 500 Эрланг/МГц/км² (этот показатель для систем на базе стандартов GSM и DCS-1800 равен соответственно 10 и 100), другими словами, такая пропускная способность позволяет одновременно вести 10 000 разговоров на 1 квадратном километре .

Система RLL.

Использование радио в качестве альтернативы медному кабелю для доступа к сети обретает все большую популярность. Первые системы, основанные на сотовой технологии, начали эксплуатироваться в начале 90-х годов. Сегодня всем очевидны преимущества этого вида связи в отношении скорости подключения абонентов, а также низкой стоимости установки и функционирования соответствующих систем. Похоже, в ближайшее время системы местной радиосвязи (Radio in the local loop - RLL) получат широкое распространение.

Системы RLL привлекательны как для относительно давно действующих операторов кабельных сетей, так и для новых конкурирующих с ними компаний, которые предоставляют услуги сетей связи.

Там, где кабельные сети не получили большого распространения, системы RLL могут быть использованы для подключения к глобальным сетям большого числа новых абонентов за значительно более короткое время по сравнению со временем, необходимым для развертывания кабельной сети. Но в то же время местная радиосвязь может играть значительную роль и в местах с развитой

кабельной инфраструктурой связи. Давно действующие операторы кабельных сетей могут использовать системы RLL для предоставления своим абонентам дополнительных линий передачи данных, например для факсимильной или модемной связи, без наращивания кабельной системы связи.

Конкурирующие с ними новые поставщики услуг сетей связи также могли бы использовать технологию RLL для подключения абонентов. Основное преимущество здесь в том, что оператору нет необходимости знать, где будут находиться его клиенты. Недавно появившийся оператор может ожидать, что, скажем, 10-15% абонентов телефонных сетей, находящихся на данной территории, перейдут на новое обслуживание, однако точно определить их он не в состоянии. Используя технологию RLL, оператор способен минимизировать предварительные затраты на обеспечение обслуживания потенциальных абонентов. Весомая часть сетевой инфраструктуры может быть установлена (и оплачена) при подключении абонента к сети. В этой ситуации система RLL - наиболее экономичное средство, обеспечивающее обслуживание абонентов.

Системы RLL, соответствующие стандарту DECT, оптимизированы для городских и пригородных территорий, где плотность абонентов довольно высока. При использовании направленных антенн (на обоих концах радиоканала) эффективная дальность действия базовой станции увеличивается до 5 км. Узел доступа DECT (базовая станция RLL) содержит некоторое число направленных антенн обычно расположенных таким образом, чтобы охватить все направления (в горизонтальной плоскости). Вместо бесшнуровых телефонов абоненты системы RLL применяют стационарные устройства доступа, которые оснащены направленными антеннами, наведенными на ближайший узел доступа DECT. К стационарному устройству доступа могут быть подключены телефоны, факсимильные аппараты, модемы и другие средства.

Недавно ETSI были определены дополнения к стандарту DECT, включающие увеличенную преамбулу и улучшенный механизм синхронизации, благодаря которым повысится стабильность параметров сигналов DECT при их распространении на большие расстояния и при отражениях. Эти дополнения призваны сделать стандарт DECT более подходящим для систем связи, работающих вне помещений, включая средства RLL.

В условиях средней и большой плотности абонентов системы RLL, соответствующие стандарту DECT, становятся более экономически выгодными, чем сотовые. "Критической" точкой здесь является плотность 20 абонентов на 1 кв. км. Одна из причин этого кроется в формате TDMA, использованном в DECT, который позволяет одному радиопередатчику поддерживать одновременно до 12 соединений. Такого не предусматривает ни одна другая цифровая сотовая или бесшнуровая технология связи.

В целом можно сказать, что системы RLL, соответствующие стандарту DECT, лучше других подходят для работы в условиях средней или высокой плотности абонентов - либо в городах, либо в сельской местности, где число абонентов может быть и невелико, однако плотность их размещения довольно высока. Эти системы подойдут также абонентам, которые сейчас или в

будущем захотят использовать линии связи для передачи данных или для работы с сетью ISDN.

Система WLL.

Для операторов, предоставляющих услуги связи особый интерес представляет использование DECT в беспроводных местных сетях связи (Wireless Local Loop - WLL). Речь идет об организации «последней мили» подключения абонентов к телекоммуникационным сетям общего пользования. Такое решение может быть использовано как в городских условиях, так и в поселках и деревнях. При этом, для полноценного использования возможностей DECT, желательно наличие мест с достаточно высокой плотностью абонентов. Для WLL-систем не всегда удобно подключать устройства доступа в проводном варианте.

Важным свойством WLL-систем является малое время развертывания. Это, в частности, связано с тем, что отпадает необходимость в рытье траншей, укладывании кабеля, а также внутренней разводке телефонных проводов в здании.

Лекция 8

Распределение каналов с сотах

Разрабатывавшийся для беспроводных УАТС, DECT оказался подходящим и для домашних, а также местных локальных телефонных систем. Стандарт поддерживает также различные службы передачи данных и обеспечивает взаимодействие с сетью связи фактически любого другого типа.

Системы DECT работают в частотном диапазоне 1880-1900 МГц, который разбит на десять частотных каналов, и, следовательно, являются мультислотными (МС). В каждом частотном канале данные передаются в 24 циклически повторяющихся временных интервалах или тайм-слотах (множественный доступ с разделением времени - TDMA). В первой половине этих тайм-слотов осуществляется передача информации от базовой станции к портативным устройствам, а во второй половине, в обратном направлении (дуплекс с разделением времени - TDD)(рис.1). Система DECT, таким образом, может быть определена как МС/TDMA/TDD. Каждый из речевых каналов использует пару тайм-слотов, что означает возможность применения 120 (10 несущих частот x 12 тайм-слотов) речевых каналов .

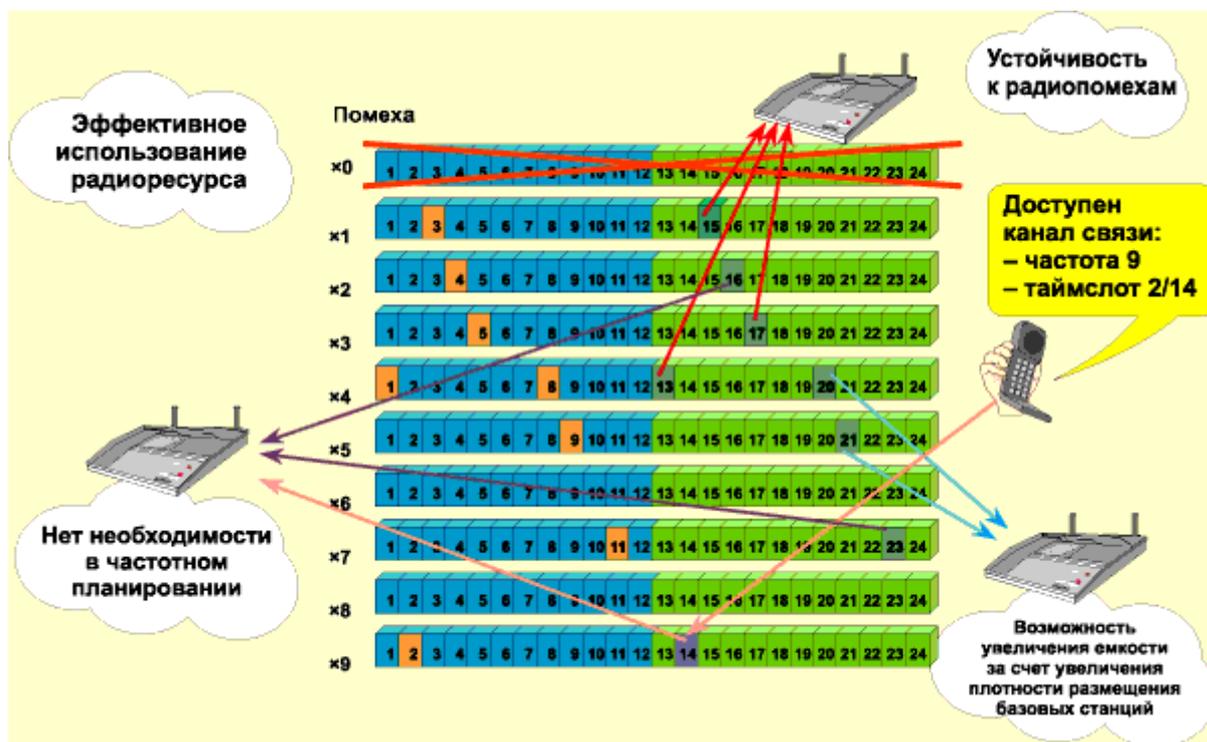


Рис.1 Разнесение частот и каналов в стандарте DECT.

Механизм выбора каналов, известный как непрерывный динамический выбор канала (Continuous Dynamic Channel Selection - CDCS), позволяет системам функционировать "бок о бок" при отсутствии координирования их работы. Суть этого механизма заключается в том, что каналы выбираются динамически из всего набора каналов по таким показателям, как качество прохождения сигнала и уровень помех. Причем канал не закрепляется за соединением на все время, он может меняться по мере необходимости. Происходит это следующим образом:

Каждая БС непрерывно сканирует приемные таймслоты всех 120 каналов, измеряет уровень принятого сигнала (RSSI — Received Signal Strength Indicator) и выбирает канал с минимальным уровнем (свободный канал без помех). В этом канале БС излучает служебную информацию, которая, в числе прочих, содержит данные:

- для синхронизации АС;
- об идентификаторе системы;
- о возможностях системы;
- о свободных каналах;
- пейджинговую.

Анализируя эту информацию, АС находит свою БС и прописывается к ней. При выходе из зоны действия одной БС происходит поиск следующей. Таким образом, АС всегда прописан к той или иной БС своей или дружественной системы. Далее АС синхронно с БС начинает непрерывно сканировать все 120 приемных таймслотов и измерять силу сигнала в каждом из них. Номера каналов с наименьшими RSSI заносятся в память. Одновременно в памяти находятся не менее двух таких каналов.

При необходимости организации исходящей связи АС направляет запрос БС, в которой она в данный момент прописана, предлагая установить связь в одном из свободных, с точки зрения АС, каналов. Если этот канал отвергается БС, то АС предлагает следующий из списка свободных. После согласия БС на установление соединения по одному из предложенных каналов происходит обмен сигнализационной и другой служебной информацией, а затем установление соединения и разговор.

Организация входящей связи осуществляется аналогичным образом. АС непрерывно анализирует "пейджинговое" сообщение на наличие «своего» входящего вызова. После распознавания входящего вызова АС посылает запрос на установление связи в одном из свободных каналов. Таким образом, выбор канала для установления соединения происходит динамически и только по инициативе и под управлением АС.

Любое из портативных устройств стандарта DECT в принципе имеет доступ к любому каналу (как к частотному, так и к временному). Когда необходимо установить соединение, портативное устройство связи DECT выбирает канал, обеспечивающий наиболее качественную связь. После того как соединение установлено, данное устройство продолжает анализировать диапазон, и если обнаруживается канал, гарантирующий лучшее качество связи, то переключает соединение на него.

Если в процессе соединения новый канал запрашивается у той же БС, то переход называется "intercell handover", а если у другой БС — то "intracell handover". Этот механизм называется непрерывным динамическим распределением каналов (CDCA).

Хендовер в DECT системе происходит мягким способом. Это значит, что во время хендовса между АС и системой одновременно работают два канала: «старый» и «новый». В какой-то момент времени информация между АС и системой передается одновременно по обоим каналам. Только после успешного перехода на «новый» канал происходит деактивация «старого». Надо отметить,

что хэндовер происходит не только при ухудшении качества связи или при разрыве соединения, но и в том случае, когда АС находит лучший с его точки зрения канал. Таким образом, для соединения всегда используется лучший свободный канал

Благодаря применению CDCS в системах DECT не требуется планирования частот: решение этой проблемы, фактически, перекладывается на портативное устройство связи. Данное обстоятельство делает установку систем простой процедурой, а также позволяет увеличивать общее число каналов путем простого добавления, где это необходимо, новых базовых станций.

Хэндовер в DECT – это механизм ухода от каналов, подверженных воздействию помех, или каналов с низким уровнем сигнала. Однако хэндовер происходит недостаточно быстро, чтобы противодействовать ситуациям быстрого замирания. Для борьбы с быстрыми интерференционными замираниям (БИЗ) стандартом DECT предусматривается механизм пространственного разнесенного приема. БИЗ возникают в результате интерференции нескольких лучей в точку приема, которая перемещается относительно БС. В результате чего меняется разность хода между этими лучами и, как следствие этого, уровень суммарного сигнала претерпевает колебания, которые могут достигать 30 и более дБ. При использовании двух пространственно разнесенных антенн разность хода лучей от каждой из них в точке приема будет различной. В офисных и WLL системах к каждой БС подключаются две коммутируемые пространственно разнесенные в горизонтальной плоскости антенны, причем разнос антенн в офисных системах приблизительно равен λ (длине волны), а в WLL системах – 10λ . Поэтому эффективность этого метода в офисных системах сказывается при малых удалениях. В системах WLL АС стационарны и причина замираний заключается в воздействии эффекта рефракции на разность хода прямого и отраженного лучей. Из теории известно, что при разносе антенн на 10λ и более суммарные сигналы, принимаемые каждой из антенн практически не коррелированы. Переключение антенн и выбор рабочего канала происходит под управлением АС.

Стандарт DECT предусматривает ряд функций защиты, включая шифрование радиосигнала и аутентификацию портативных устройств связи. Система идентификации устройств DECT позволяет одному и тому же устройству связи осуществлять доступ к нескольким различным системам (например, к базовой станции обычного домашнего телефона, УАТС и к системе общего доступа), а также одной базовой станции обеспечивать доступ к различным системам связи. При подобной организации несколько служб могут совместно использовать одну и ту же инфраструктуру связи, что весьма привлекательно с экономической точки зрения.

Перечень штатных услуг и процедур по обеспечению безопасности в

системах стандарта DECT включает в себя:

- прописку АС;
- аутентификацию АС;

- аутентификацию БС;
- взаимную аутентификацию АС и БС;
- аутентификацию пользователя;
- шифрование данных

Прописка – это процесс, благодаря которому система допускает конкретный АС к обслуживанию. Оператор сети или сервис-провайдер обеспечивает пользователя АС секретным ключом прописки (PIN-кодом), который должен быть введен как в БС, так и в АС до начала процедуры прописки. До того, как трубка инициирует процедуру фактической прописки, она должна также знать идентификатор БС, в которую она должна прописаться (из соображений защищенности процедура прописки может быть организована даже для системы с одной БС). Время проведения процедуры обычно ограничено, и ключ прописки может быть применен только один раз, это делается специально для того, чтобы минимизировать риск несанкционированного использования.

Прописка в DECT может осуществляться “по эфиру”, после установления радиосвязи с двух сторон происходит верификация того, что используется один и тот же ключ прописки. Происходит обмен идентификационной информацией, и обе стороны просчитывают секретный аутентификационный ключ, который используется для аутентификации при каждом установлении связи. Секретный ключ аутентификации не передается по эфиру. АС может быть прописан на нескольких базовых станциях. При каждом сеансе прописки, АС просчитывает новый ключ аутентификации, привязанный к сети, в которую он прописывается. Новые ключи и новая информация идентификации сети добавляются к списку, хранящемуся в АС, который используется в процессе соединения. Трубки могут подключиться только к той сети, в которую у них есть права доступа (информация идентификации сети содержится в списке).

В процессе аутентификации любого уровня используется криптографическая процедура "запрос-ответ", позволяющая выяснить, известен ли проверяемой стороне аутентификационный ключ.

Аутентификация АС - позволяет предотвратить её неправомерное использование (например, с целью избежать оплаты услуг) или исключить возможность подключения похищенной или незарегистрированной АС.

Аутентификация происходит по инициативе БС при каждой попытке установления соединения (входящего и исходящего), а также во время сеанса связи. Сначала БС формирует и передает запрос, содержащий некоторый постоянный или сравнительно редко меняющийся параметр (64 бита), и случайное число (64 бита), сгенерированное для данной сессии.

Затем в БС и АС по одинаковым алгоритмам с использованием аутентификационного ключа К вычисляется так называемый аутентификационный ответ (32 бита). Этот вычисленный (ожидаемый) ответ в БС сравнивается с принятым от АС, и при совпадении результатов считается, что аутентификация АС прошла успешно.

Аутентификация БС - исключает возможность неправомерного использования станции. С помощью этой процедуры обеспечивается защита служебной информации (например, данных о пользователе), хранящейся в АС и обновляемой по команде с БС. Кроме того, блокируется угроза

перенаправления вызовов абонентов и пользовательских данных с целью их перехвата. Алгоритм аутентификации БС аналогичен последовательности действий при аутентификации АС.

Взаимная аутентификация может осуществляться двумя способами:

- При прямом методе последовательно проводятся две процедуры аутентификации АС и БС;
- Косвенный метод в одном случае подразумевает комбинацию двух процедур - аутентификации АС и шифрования данных (поскольку для шифрования информации необходимо знание аутентификационного ключа K), а в другом - шифрование данных с использованием статического ключа SCK (Static Cipher Key), известного обеим станциям.

Лекция 9

Методы повышения ёмкости и качества обслуживания систем соевой связи

Аппаратура для подключения абонентов с использованием оптического кабеля получила широкое распространение в странах Европы и США. Преимущества такого решения очевидны: высокие надежность, качество передачи, а также пропускная способность, следовательно, практически нелимитированная скорость по интерфейсу пользователя. К сожалению, данное решение имеет и недостатки. Во-первых, время, необходимое для прокладки кабеля и получения всех необходимых разрешений может быть довольно значительным, что снижает темпы окупаемости капиталовложений. Во-вторых, применение оптоволоконной сети может быть экономически оправданно лишь при подключении большого числа сконцентрированных в одном месте, например в районах массовой застройки или в офисных зданиях, абонентов. В районах, где плотность абонентов невысока, ресурсы оптического кабеля используются лишь на 5—10%, поэтому экономически выгоднее уплотнить существующую кабельную сеть или использовать радиодоступ.

Сейчас оптоволоконно широко применяется вместо многожильных телефонных кабелей на участке между телефонным коммутатором (АТС) и удаленным концентратором, к которому подключаются, например, телефоны, установленные в квартирах многоэтажного дома или нескольких домов. Аппаратура, реализующая мультиплексирование/демультиплексирование линий индивидуального подключения абонентов, получила название Digital Loop Carrier (DLC), что можно перевести как «цифровая система концентрации телефонных линий». Производят такие системы в США, Западной Европе, Азии (AT&T, SAT, Siemens и др.). Несколько предприятий готовятся к выпуску DLC и в России.

По своей архитектуре оборудование DLC представляет собой мультиплексор на базе временного разделения каналов с различными пользовательскими интерфейсами и линейным интерфейсом для непосредственного подключения к оптоволоконной сети. Таким образом, обеспечивается объединение множества абонентских линий в один высокоскоростной цифровой поток, поступающий на АТС (узел сети) по оптическому кабелю.

Набор пользовательских интерфейсов как правило включает в себя аналоговый абонентский двухпроводной интерфейс (обычный телефонный), аналоговый интерфейс с сигнализацией E&M, цифровой интерфейс (V.24 или V.35), интерфейс ISDN.

Станционные интерфейсы предусматривают подключение к аналоговым АТС (по абонентскому двухпроводному стыку или интерфейсу E&M), цифровым АТС (по стыку E1 с сигнализацией V.51 или стыку E3 с сигнализацией V.52). Естественно, предусматривается и подключение по интерфейсу ISDN и цифровому интерфейсу V.24/V.35 (для подключения к сети передачи данных).

Линейные интерфейсы современной аппаратуры DLC можно разбить на несколько групп.

Оптический интерфейс необходим для непосредственного подключения к оптическим волокном (линейная скорость обычно в пределах от 34 до 155 Мбит/с). Например, в системе NATEKS 1100E скорость составляет 49,152 Мбит/с, прием и передача ведутся раздельно по двум волокнам, длина волны лазерного излучателя 1310 нм.

Электрический интерфейс — от E1 (2 Мбит/с) до E3 (34 Мбит/с) - позволяет подключаться к высокоскоростным сетям, обеспечивающим прозрачную передачу цифровых потоков (например, к сети SDH). Электрический интерфейс также позволяет подключать аппаратуру через тракты HDSL или радиорелейные линии, а на небольших расстояниях (до 1 км по E1) соединять элементы системы непосредственно.

Контрольные вопросы

1. Как обеспечивается персональная и широкополосная спутниковая связь?
2. Многостанционный доступ в ИСЗ.
3. Особенности бортового оборудование спутниковых систем связи.
4. Особенности оборудования ЗС спутниковых систем связи.
 1. Поясните систему Aloha.
 2. Поясните, что понимается под прозрачными ретрансляторами.
 3. Поясните, что понимается под комбинированными и регенеративными ретрансляторами.
8. Особенности ЗС при фиксированной связи.
9. Особенности ЗС при подвижная связи.
10. Как производится энергетический расчет в спутниковых системах связи.
11. Принципы организации связи и орбиты ИСЗ.
12. Особенности систем связи через ИСЗ и выбор диапазона рабочих частот.
13. Качественные показатели и энергетический расчет спутниковых систем связи.
14. Многостанционный доступ в ИСЗ.
15. Особенности оборудование спутниковых систем связи.
16. Поясните принципы построения спутниковых систем персональной радиосвязи.
17. Приведите структуру построения спутниковых систем персональной связи.
18. Приведите обобщенную структурную схему спутника-ретранслятора.
19. Поясните работу наземного, пользовательского сегмента и какие задачи выполняют центра запуска КА, управление системой и связью, шлюзовые станции.
20. Поясните работу низкоорбитальных среднеорбитальных и геостационарных системы спутниковой связи.

Литература

1. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. М.: Эко-Трендз Ко, 1997.-238 с.
2. Андрианов В.И., Соколов А.В. Средства мобильной связи. ВНВ- Санкт- Петербург, 1998.- 256 с.
3. Невдяев Л. CDMA: IS-95. Сети, 2000, № 3
4. Невдяев Л. Стандарты 3G. Сети, 2000, № 6
5. Ибраимов Р.Р. Мобильные системы связи. Учеб. пос., ТУИТ, 2004.
6. Спутниковая связь и вещание. /Под общ.ред. Л.Я.Кантора. М.: Радио и связь, 1997
7. Аболиц А. Персональная спутниковая связь. PC Week/RE, 1997.
8. Невдяев Л. Спутниковые системы. <http://www.osp.ru/>
- 9.Замарин А.И. и др.Спутниковые сети VSAT. Информация и космос № 3.2004.
- 10.Овчинников А.М. Сравнение стандартов цифровой транкинговой радиосвязи.
st.ess.ru/publications/articles/ovchinkv2/ovchkv2.htm Литература
1. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. М.: Эко-Трендз Ко, 1997.-238 с.
2. Андрианов В.И., Соколов А.В. Средства мобильной связи. ВНВ- Санкт- Петербург, 1998.- 256 с.
3. Невдяев Л. CDMA: IS-95. Сети, 2000, № 3
4. Невдяев Л. Стандарты 3G. Сети, 2000, № 6
5. Ибраимов Р.Р. Мобильные системы связи. Учеб. пос., ТУИТ, 2004.
6. Спутниковая связь и вещание. /Под общ.ред. Л.Я.Кантора. М.: Радио и связь, 1997
7. Аболиц А. Персональная спутниковая связь. PC Week/RE, 1997.
8. Невдяев Л. Спутниковые системы. <http://www.osp.ru/>