

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
"Харьковский авиационный институт"

А.А. Зеленский, В.Ф. Солодовник

СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ

Часть 2

Учебное пособие

Харьков "ХАИ" 2002

УДК 621.396

Системы радиосвязи / А.А. Зеленский, В.Ф. Солодовник. – Учеб. пособие. Ч. 2. - Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т "Харьк. авиац. ин-т", 2002. – 63 с.

Приведены описания функционирующих и перспективных сотовых систем подвижной радиосвязи. Рассмотрены возможности, основные технические показатели, структурные схемы и принципы действия таких систем.

Для студентов и специалистов, изучающих, эксплуатирующих и разрабатывающих сотовые системы подвижной радиосвязи.

Ил. 26. Табл. 8. Библиогр.: 10 назв.

Р е ц е н з е н т ы: д-р техн. наук., проф. И.В. Кулемин,
канд. техн. наук, доц. Е.А. Милькевич

© Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.
Жуковского

"Харьковский авиационный институт", 2002

1. Классификация наземных средств радиосвязи

Радиосредства наземной радиосвязи можно систематизировать следующим образом:

1. По наличию базовых станций (БС):

- децентрализованные (связь абонентской станции с абонентской станцией без БС);
- централизованные (связь абонентской станции с абонентской станцией через БС).

2. По территориальному признаку:

- радиальные однозоновые;
- радиальные многозоновые;
- магистральные многозоновые;
- сотовые (всегда многозоновые).

3. По назначению БС:

- БС–ретранслятор;
- БС–телефонный интерфейс – коммутатор;
- БС–узел связи.

4. По типу каналов связи:

- радиосредства с закрепленными каналами связи;
- радиосредства с равнодоступными каналами связи.

5. По взаимосвязи БС:

- с независимыми БС;
- со связанными БС (выделенными, коммутируемыми, радиорелейными, оптоволоконными и другими линиями связи).

6. По месту установки системного контроллера:

- с централизованным управлением;
- с управлением со стороны абонентской станции;
- с комбинированным управлением.

7. По виду радиосвязи:

- симплексные (прием и передача на одной частоте);
- полудуплексные (прием и передача поочередно на разных частотах);
- дуплексные (прием и передача одновременно на разных частотах).

8. По способу выделения канала управления:

- с выделенным каналом управления;

- с совмещенными речевым каналом и каналом управления (с их временным или частотным разделением).

9. По способу кодирования служебных сигналов:

- однотоновые;
- двухтоновые;
- пятитоновые;
- цифровые.

10. По типу радиосистемы:

- системы сотовой подвижной радиосвязи (ССПР);
- профессиональные системы подвижной радиосвязи (ПСПР);
- микросотовые системы беспроводной телефонии (МСБТ);
- системы беспроводного абонентского доступа (СБАД);
- системы персонального радиовызова (СПР).

ССПР и ПСПР применяются для мобильной связи подвижных абонентов. МСБТ и СБАД обслуживают стационарных абонентов. Отличительной особенностью СПР является односторонняя связь (абонент городской автоматической телефонной станции – базовая станция СПР – абонент).

ССПР, или сотовые системы, которые являются предметом настоящего пособия, имеют следующие основные отличительные особенности:

- территориальное разделение зон радиосвязи в виде сот;
- повторение частот каналов в отдаленных зонах;
- пригодность для подвижной связи мобильных абонентов.

ССПР впервые были запущены в эксплуатацию в конце 70-х – начале 80-х годов в скандинавских странах (NMT-450) и США (AMPS). Сотовый принцип топологии сети с повторным использованием частот во многом решил проблему дефицита частотного ресурса и в настоящее время является основным в создаваемых системах подвижной связи общего пользования. Стандартизация в области ССПР привела к тому, что на смену девяти отдельным аналоговым стандартам сотовой связи первого поколения пришли три цифровых стандарта второго поколения (GSM, D-AMPS, JDC), а GSM признан "глобальным".

В настоящее время в СНГ развиваются ССПР трех стандартов сотовой связи – NMT-900, GSM и AMPS, два из которых NMT-900 и GSM приняты в качестве федеральных. Стандарт AMPS и его цифровой вариант D-AMPS ориентированы на региональное использование.

По прогнозам экспертов в странах СНГ к 2003 году количество радиотелефонов сотовых систем подвижной радиосвязи сравняется с количеством кабельных телефонов. Стоимости услуг сотовой и кабельной телефонной связи должны стать примерно равными между собой к 2010 году (потому, что стоимость услуг ССПР снижается, а кабельной сети – остается постоянной или растет).

2. Общие сведения о ССПР

2.1. Хронология развития ССПР

Первая система радиотелефонной связи, предлагавшая услуги всем желающим, начала свое функционирование в 1946 г. в городе Сент-Луис (США). В радиотелефонах, применявшихся в этой системе, использовались обычные фиксированные каналы. Если канал связи был занят, то абонент вручную переключался на другой свободный канал. Аппаратура была громоздкой и неудобной в использовании.

Начиная с 40-х годов ученые и инженеры разных стран пытались решить проблему ограниченности частотного ресурса. В середине 40-х годов исследовательский центр Bell Laboratories американской компании AT&T предложил идею разбиения всей обслуживаемой территории на небольшие участки, которые стали называться сотами (от англ. Cell – ячейка, клеточка, сота). Каждая сота должна была обслуживаться передатчиком с ограниченным радиусом действия и фиксированной частотой. Это позволило бы без всяких взаимных помех использовать ту же самую частоту повторно в другой ячейке (cote). Так появились ССПР.

С развитием техники системы радиотелефонной связи совершенствовались: уменьшались габариты устройств, осваивались новые частотные диапазоны, улучшалось базовое и коммутационное оборудование. В настоящее время функционируют ССПР трех поколений (рис. 2.1).

Еще в конце 70-х годов начались работы по созданию единого стандарта сотовой связи для пяти североевропейских стран – Швеции, Финляндии, Исландии, Дании и Норвегии, который получил название NMT-450 (Nordic Mobile Telephone) и был предназначен для работы в диапазоне 450 МГц.

Впервые система сотовой связи стандарта NMT-450 вступила в эксплуатацию в Саудовской Аравии в 1981 г. На базе этого

стандарта в 1985 г. был разработан стандарт NMT-900 диапазона 900 МГц, который позволил расширить функциональные возможности системы и значительно увеличить абонентскую емкость системы.

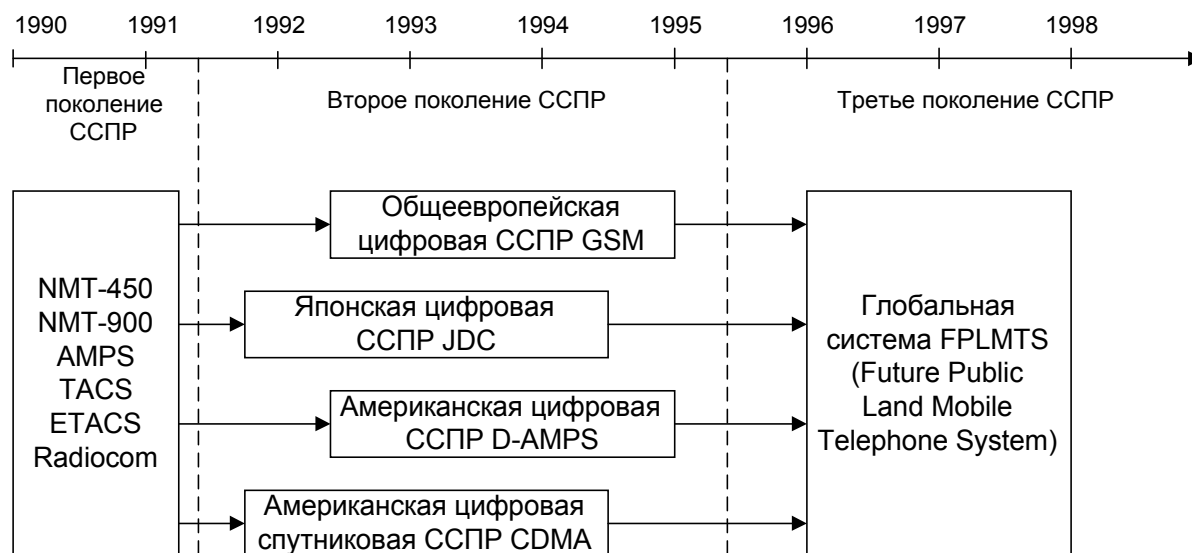


Рис. 2.1

В 1983 г. в США, в районе Чикаго, после ряда успешных полевых испытаний вступила в коммерческую эксплуатацию сеть стандарта AMPS (Advanced Mobile Phone Service). Этот стандарт был разработан в исследовательском центре Bell Laboratories.

В 1985 г. в Великобритании был принят в качестве национального стандарт TACS (Total Access Communications System), разработанный на основе американского стандарта AMPS. В 1987 г. в связи с резким увеличением в Лондоне числа абонентов сотовой связи была расширена рабочая полоса частот. Новая версия этого стандарта сотовой связи получила название ETACS (Enhanced TACS). Во Франции, в отличие от других европейских стран, в 1985 г. был принят стандарт Radiocom-2000. С 1986 г. в скандинавских странах начали применять стандарт NMT-900.

Все вышеперечисленные стандарты являются аналоговыми и относятся к первому поколению систем сотовой связи. Аналоговыми эти системы называются потому, что в них используется аналоговый способ передачи информации с помощью обычной частотной или фазовой модуляции, как и в обычных радиостанциях. Этот способ имеет ряд существенных недостатков: возможность прослушивания разговоров другими абонентами, отсутствие эффективных методов борьбы с замираниями сигналов под влиянием окружающего ландшафта и зданий или вследствие передвижения абонентов.

Использование новейших технологий и научных открытий в области связи и обработки сигналов позволило подойти к концу 80-х годов к новому этапу развития систем сотовой связи – созданию систем второго поколения, основанных на цифровых методах обработки сигналов.

В целях разработки единого европейского стандарта цифровой сотовой связи для выделенного диапазона 900 МГц в 1982 г. Европейская конференция администраций почт и электросвязи (CEPT) – организация, объединяющая администрации связи 26 стран, создала специальную группу Groupe Special Mobile (GSM) и дала название новому стандарту. Позднее, в связи с широким распространением этого стандарта во всем мире, GSM стали расшифровывать также, как Global System for Mobile Communications. Результатом работы этой группы стали опубликованные в 1990 г. требования к системе сотовой связи стандарта GSM, в котором используются самые современные разработки ведущих научно-технических центров. К ним, в частности, относятся временное разделение каналов, шифрование сообщений и защита данных абонента, использование блочного и сверхточного кодирования, новый вид модуляции – GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying).

В 1992 г. в Германии вступила в коммерческую эксплуатацию первая система сотовой связи стандарта GSM.

Не отставала от Европы и Америка, провозгласившая свою концепцию “Услуги персональной связи” – PCS (Personal Communication Services). Этот стандарт стал более известен под аббревиатурой D-AMPS, или ADC. В отличие от Европы, в США не были выделены новые частотные диапазоны, поэтому система должна была работать в полосе частот, общей с обычным AMPS.

Одновременно американская компания Qualcomm начала активную разработку нового стандарта сотовой связи, основанного на технологии шумоподобных сигналов и кодовом разделении каналов, – CDMA (Code Division Multiple Access).

В 1993 г. в США после ряда успешных испытаний Промышленная ассоциация в области связи TIA приняла стандарт CDMA как внутренний стандарт цифровой сотовой связи, назвав его IS-95. В сентябре 1995 г. в Гонконге была открыта коммерческая эксплуатация первой сети стандарта IS-95.

В развитии сотовой связи от Европы и США не отставала и Япония. В этой стране был разработан собственный стандарт сотовой связи JDC (Japanese Digital Cellular), близкий по своим

показателям к американскому стандарту D-AMPS. Стандарт JDC был утвержден в 1991 г. Министерством почт и связи Японии.

В Санкт-Петербурге, а затем и в Москве появились системы стандарта NMT-4501 (усовершенствованный стандарт NMT-450).

По сравнению с аналоговыми системами первого поколения цифровые ССПР второго поколения обеспечивают повышенное качество связи, а также взаимодействие с цифровыми сетями с интеграцией служб (ISDN) и пакетной передачи данных (PDN) и целый ряд дополнительных услуг.

Стандарт GSM предоставляет ряд услуг, которые не реализованы в аналоговых стандартах сотовой связи, в том числе:

- использование интеллектуальных SIM-карт для доступа к каналу и услугам связи;
- закрытый для подслушивания радиointерфейс;
- шифрование передаваемых сообщений;
- аутентификация абонента и идентификация абонентского оборудования по криптографическим алгоритмам;
- использование служб коротких сообщений, передаваемых по каналам сигнализации;
- автоматический роуминг абонентов различных сетей (международный и национальный).

Дальнейшее развитие сотовой подвижной связи (см. рис. 2.1) осуществляется в рамках создания проектов систем третьего поколения, которые будут отличаться унифицированной системой радиодоступа, объединяющей существующие ССПР, МСБД и СБАД. Кроме этого, отличительной особенностью систем третьего поколения (табл. 2.1, 2.2) является межсетевой роуминг с спутниковыми системами радиосвязи (ССР) “Иридиум”, “Globalstar”, “Inmarsat-P” и др., т.е. они фактически входят в состав этих ССПР.

ССПР третьего поколения будут иметь архитектуру единой сети для связи абонентов в различных условиях, включая движущийся транспорт, жилые помещения, офисы и т.д. В Европе такая концепция, получившая название UMTS (универсальная система подвижной связи), предусматривает объединение функциональных возможностей существующих цифровых систем связи в единую систему третьего поколения FPLMTS (Future Public Land Mobile Telephone System).

Таблица 2.1

Характеристика	AMPS	TACS (ETACS)	NMT-450
Диапазон частот, МГц	825-845 870-890	935-950 (917-933) 890-905 (872-888)	453-457.5 463-467,5
Радиус ячейки, км	2-20	2-20	2-45
Число каналов подвижной станции	666	600 (640)	180
Число каналов базовой станции	96	144	32
Мощность передатчика базовой станции, Вт	45	50	50
Ширина полосы частот канала, кГц	30	25	25
Время переключения канала на границе ячейки, мс	250	290	1250
Максимальная девиация частоты в канале управления, кГц	8	6,4	3,5
Максимальная девиация частоты в речевом канале, кГц	12	9,5	5
Минимальное отношение сигнал/шум, дБ	10	10	15

Таблица 2.2

Характеристика	GSM (DCS1800)	D-AMPS (ADC)	JDC	CDMA
Метод доступа	TDMA	TDMA	TDMA	CDMA
Количество речевых каналов на несущую	8	3	3	32
Рабочий диапазон частот, МГц	890 - 915 935 - 960	890 - 915 824 - 840 869 - 894 810 - 826	940 - 956 1429 - 1441	1447 - 1489 1501 - 1513 824 - 840 869 - 894
Разнос каналов, кГц	200	30	25	1250
Эквивалентная полоса частот на один разговорный канал, кГц	25	10	8,3	–
Вид модуляции	0,3 GMSK	n/4 DQPSK	n/4 DQPSK	QPSK
Скорость передачи информации, Кбит/с	270	48	42	–
Скорость преобразования речи, Кбит/с	13	8	11,2 (5,6)	–
Алгоритм преобразования речи	RPE-LTR	VSELP	VSELP	–
Радиус соты, км	0,5 - 35	0,5 - 20	0,5 - 20	0,5 - 25

Работы по созданию международной системы подвижной связи общего пользования FPLMTS ведутся Международным союзом электросвязи. Для нее определен диапазон частот 1 – 3 ГГц, в котором будут выделены полосы шириной 60 МГц для стационарных станций и 170 МГц – для подвижных станций. Испытания наземных компонентов системы проведены в 2000 году, а ввод спутниковой подсистемы FPLMTS в полосах частот 1980 – 2010 МГц и 2170 – 2200 МГц – в 2010 году.

2.2. Территориальная организация ССПР

Для ССПР, в которых зона обслуживания делится на ячейки (соты), характерно то, что в них обеспечивается сотовый принцип распределения частот по территории обслуживания (территориально-частотная организация), и они предназначены для оснащения радиосвязью большого числа подвижных абонентов с выходом в телефонную сеть общего пользования.

Разделить обслуживаемую территорию на ячейки (соты) можно двумя способами, основанными на следующем:

- использование статистических характеристик распространения сигналов в системах связи;
- измерение или расчет параметров распространения сигнала для конкретного района.

При реализации *первого способа* вся обслуживаемая территория разделяется на одинаковые по форме зоны, и с помощью закона статистической радиофизики определяются их допустимые размеры и расстояния до других зон, в пределах которых выполняются условия допустимого взаимного влияния. Для оптимального разделения территории на соты, т.е. без перекрытия или пропусков участков, могут быть использованы только три геометрические фигуры: треугольник, квадрат и шестиугольник. Наиболее подходящей фигурой является шестиугольник, так как при установке в его центре антенны с круговой диаграммой направленности будет обеспечен радиодоступ почти ко всем участкам соты. При использовании рассмотренного способа интервал между зонами, в которых используются одинаковые рабочие каналы, обычно получается больше требуемого для поддержания взаимных помех на допустимом уровне.

Более приемлем *второй способ* разделения на зоны. В этом случае тщательно измеряют или рассчитывают параметры системы для определения минимального числа базовых станций, обеспечивающих удовлетворительное обслуживание абонентов по всей территории, определяют оптимальное место расположения базовой станции с учетом рельефа местности, рассматривают возможность использования направленных антенн, пассивных ретрансляторов и смежных центральных станций в момент пиковой нагрузки и т.д. Каждая из ячеек обслуживается своим передатчиком с невысокой выходной мощностью и ограниченным числом каналов связи. Это позволяет без помех использовать повторно частоты каналов этого передатчика в другой ячейке, удаленной на значительное расстояние.

Теоретически такие передатчики можно использовать и в соседних ячейках. Но на практике зоны обслуживания сот могут перекрываться под действием различных факторов, например, вследствие изменения условий распространения радиоволн. Поэтому в соседних ячейках используют различные частоты.

2.3. Частотная организация ССПР

Пример построения сот при использовании трех наборов частот (F_1 , F_2 , F_3 – наборы частот базовых станций) представлен на рис. 2.2.

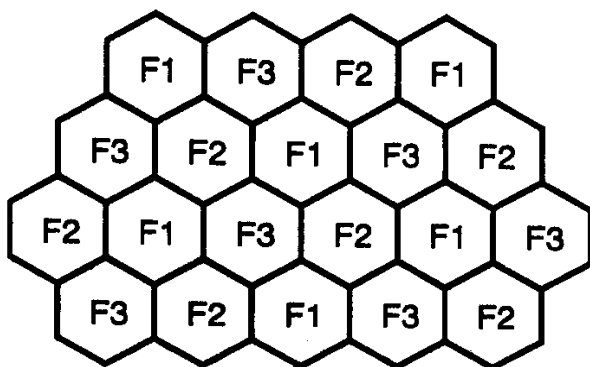


Рис. 2.2

Группа сот с различными наборами частот называется кластером. На рис. 2.2, например, размерность кластера C равна трем. В существующих ССПР размерность кластера – от трех до пятнадцати.

Смежные базовые станции образуют кластерную группу станций. Если каждой базовой станции выделяется T каналов с шириной полосы каждого F , то общая ширина полосы, занимаемая кластерной группой станций и, следовательно, ССПР в целом, составит $F_c = F \cdot T \cdot C$.

Если $T = 1$, т.е. в соте находится один среднестатистический абонент, то $F_c = F_{cmin} = F \cdot C$. Таким образом, величина C определяет минимально возможное число каналов в системе, поэтому ее часто называют частотным параметром системы, или коэффициентом повторения частот.

Уменьшение радиуса ячейки позволяет не только повысить эффективность использования выделенной полосы частот и увеличить абонентскую емкость системы, но и уменьшить мощность передатчиков и чувствительность приемников базовых и подвижных станций. Это, в свою очередь, улучшает условия электромагнитной совместимости средств сотовой связи с другими радиоэлектронными средствами и системами.

Таким образом, радиус ячейки R следует уменьшать до оптимальной величины R_{min} , при которой в сайте находится один среднестатистический абонент. Поскольку наименьший кластер $C = 3$, то минимально возможная полоса ССПР $F_{cmin} = 3F$.

2.4. Способы борьбы с системными помехами ССПР

Системные помехи абонентской станции – это помехи от других абонентских и базовых станций ССПР.

Первый способ борьбы с системными помехами заложен территориально-частотной организацией ССПР, поскольку базовые станции с одинаковыми наборами частот разнесены территориально.

Вторым способом снижения уровня системных помех может быть использование направленных секторных антенн с узкими диаграммами направленности. В секторе такой направленной антенны сигнал излучается преимущественно в одну сторону, а уровень излучения в противоположном направлении сокращается до минимума. Деление сот на секторы позволяет чаще применять частоты в сотах повторно.

Общеизвестный и наиболее широко используемый способ повторного использования частот в организованных таким образом сотах основан на применении трехсекторных антенн для каждой базовой станции и трех соседних базовых станций с формированием ими девяти групп частот (рис. 2.3). В этом случае используются антенны с шириной диаграммы направленности 120° , размерность кластера $C = 3$, количество наборов частот $N = 3$, количество частот одного сайта $T = N \cdot T_{наб} = 3T_{наб}$, и при минимальном количестве $T_{наб} = 1$ каналов набора ширина полосы ССПР $F_c = F_{cmin} = 3 \cdot 3 \cdot F$, т.е. в три раза шире, чем при использовании антенн с круговой диаграммой направленности.

Высокую эффективность использования полосы частот и наибольшее число абонентов сети, работающих в этой полосе, обеспечивает способ повторения частот фирмы Motorola (рис. 2.4). В этом случае используются антенны с шириной диаграммы направленности 60° , размерность кластера

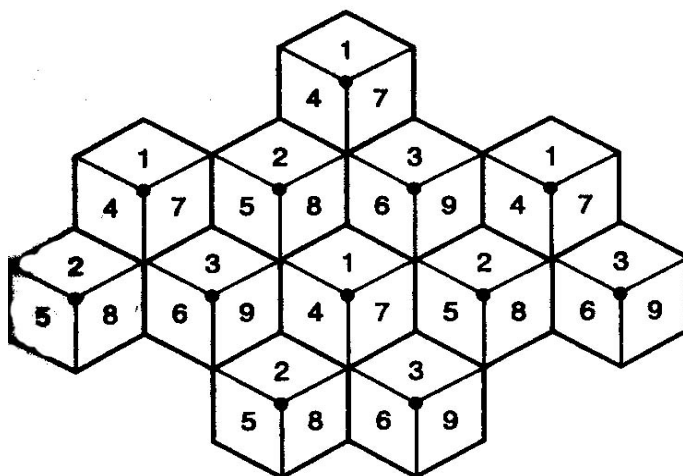


Рис. 2.3

$C = 4$, количество наборов частот $N = 6$, количество частот одного сайта $T = N \cdot T_{наб} = 6T_{наб}$, и при минимальном количестве $T_{наб} = 1$ каналов набора ширина полосы ССПР $F_c = F_{cmin} = 4 \cdot 6 \cdot F$, т.е. в восемь раз шире, чем при использовании односекторных антенн.

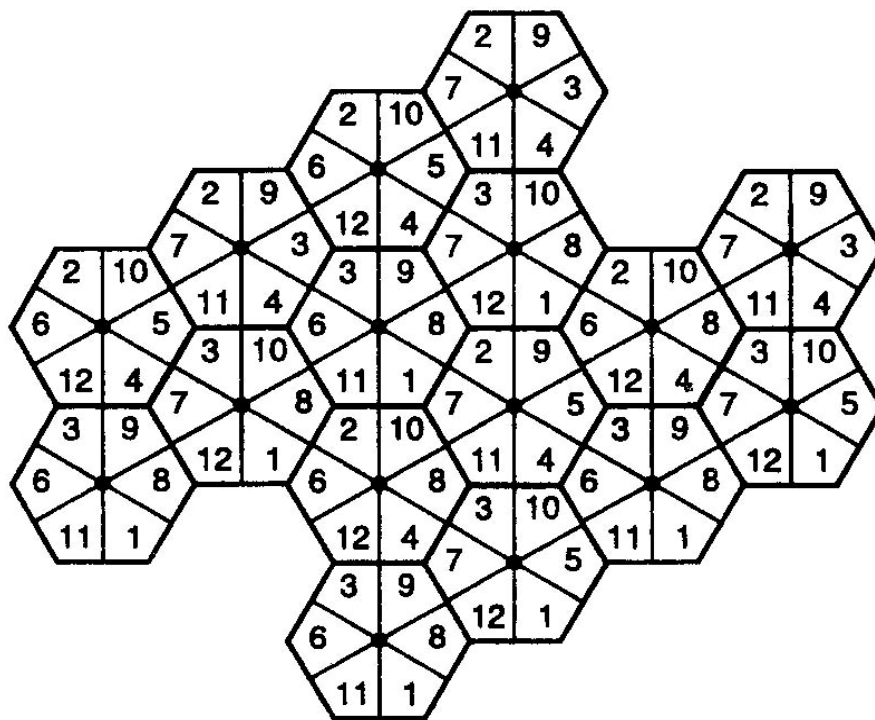


Рис. 2.4

Оба примера (см. рис. 2.3, 2.4) использования многосекторных антенн показывают, что обеспечиваемое при этом снижение уровня системных помех достигается за счет расширения полосы рабочих частот ССПР.

Третий способ [2] снижения системных помех направлен на исключение попадания в полосу абонентской станции комбинационных (интерференционных) помех третьего порядка, формируемых на нелинейностях входных каскадов абонентской станции при приеме нескольких колебаний от других абонентских или базовых станций ССПР.

Поскольку в ССПР обеспечивается постоянный шаг сетки используемых каналов, то для всех каналов передаваемого и принимаемого сигналов достаточно рассмотреть любой из них. Тогда частоту и номер канала радиосвязи в полосе частот всей системы можно определить по формуле

$$f_x = f_o + C_i \Delta f, \quad (2.1)$$

где f_x – частота радиоканала; f_o – основная частота, которая на Δf меньше самой нижней частоты во всей полосе системы; C_i – номер канала радиосвязи.

Если требуется для произвольной радиозоны количество n каналов радиосвязи распределить по типу зубьев гребенки от центра

количества каналов во всей системе Mr , то связь между номером канала и интервалами между каналами определяется соотношением

$$d_{ix} = C_x - C_i = \sum_{m=i}^{x-1} d_{m,m+1}. \quad (2.2)$$

Выразим частоты каналов радиосвязи, на которых имеется взаимная модуляция из-за нелинейного взаимодействия третьего порядка, а также номера этих каналов и интервалы между каналами:

$$f_A = f_i + f_j - f_k; C_A - C_i = C_j - C_k; d_{iA} = d_{jk}. \quad (2.3)$$

Полное число каналов радиосвязи M_c , которое занимает группа каналов радиосвязи, используемых в одной и той же радиозоне, выражается как

$$M_c = C_n - C_1 + 1 = \sum_{i=1}^{n-1} d_{i,i+1} + 1, \quad (2.4)$$

где C_n – номер канала, соответствующего верхней частоте в группе каналов радиосвязи; C_1 – номер канала, соответствующего нижней частоте в группе каналов радиосвязи.

Соотношение (2.4) можно еще записать так:

$$M_c = (n - 1) \cdot (n^2 - 2n + a)/4, \quad (2.5)$$

где $a = 4$ при четном n и $a = 3$ при нечетном n .

Так, например, при $n = 5$ рабочих каналах нужно иметь $M_c = 18$ частотных каналов и общую полосу частот в $\beta = M_c/n = 3,6$ раза превышающую полосу только рабочих частот.

Если учитывается одна радиозона, то чем меньше величина β , тем более эффективно использование частотного диапазона.

2.5. Основные процедуры ССПР

В ССПР к основным процедурам относят: эстафетную передачу канала, роуминг, автоматическое установление входящего, исходящего вызовов и др.

Несмотря на разнообразие стандартов сотовой связи, алгоритмы их функционирования, независимо от имеющихся особенностей, в основном сходны. Для абонента практически нет никакой разницы, в каком стандарте осуществляется связь. Если ему

нужно позвонить, то он просто нажимает клавишу на своем радиотелефоне, что соответствует снятию трубки обычного телефона. Когда же радиотелефон находится в режиме ожидания (состояние “трубка положена”), его приемное устройство постоянно сканирует все каналы системы или только управляющие каналы. Для вызова соответствующего абонента всеми базовыми станциями сотовой системы связи по управляющим каналам передается сигнал вызова. Сотовый телефон вызываемого абонента при получении этого сигнала отвечает по одному из свободных каналов управления. Базовые станции, принявшие ответный сигнал, передают информацию о его параметрах в центр коммутации, который, в свою очередь, переключает разговор на ту базовую станцию, где зафиксирован максимальный уровень сигнала сотового радиотелефона вызываемого абонента.

Во время набора номера радиотелефон занимает один из свободных каналов, в котором уровень сигнала базовой станции в данный момент максимален. По мере удаления абонента от базовой станции или в связи с ухудшением условий распространения радиоволн уровень сигнала уменьшается, что ведет к ухудшению качества связи. Улучшение качества связи достигается путем автоматического переключения абонента на другой канал связи. Это происходит следующим образом. Специальная процедура, называемая передачей управления вызовом, или эстафетной передачей канала (в иностранной технической литературе – handover, или handoff), позволяет переключить разговор на свободный канал другой базовой станции, в зоне действия которой оказался абонент.

Процедура передачи управления вызовом изображена на рис. 2.5, на котором MSC – центр коммутации и управления ССПР, BS – базовые станции, MS – абонентские станции. В ССПР такая процедура осуществляется при снижении качества связи из-за влияния помех или возникновении неисправностей коммутационного оборудования. Для контроля этих ситуаций базовая станция снабжена специальным приемником, периодически измеряющим уровень сигнала сотового телефона разговаривающего абонента и сравнивающим его с допустимым пределом. Если уровень сигнала меньше этого предела, то информация об этом автоматически передается в центр коммутации по служебному каналу связи. Центр коммутации выдает команду об измерении уровня сигнала сотового радиотелефона абонента на ближайšie к нему базовые станции.

После получения информации от базовых станций об уровне этого сигнала центр коммутации переключает радиотелефон на ту из них, где уровень сигнала оказался наибольшим.

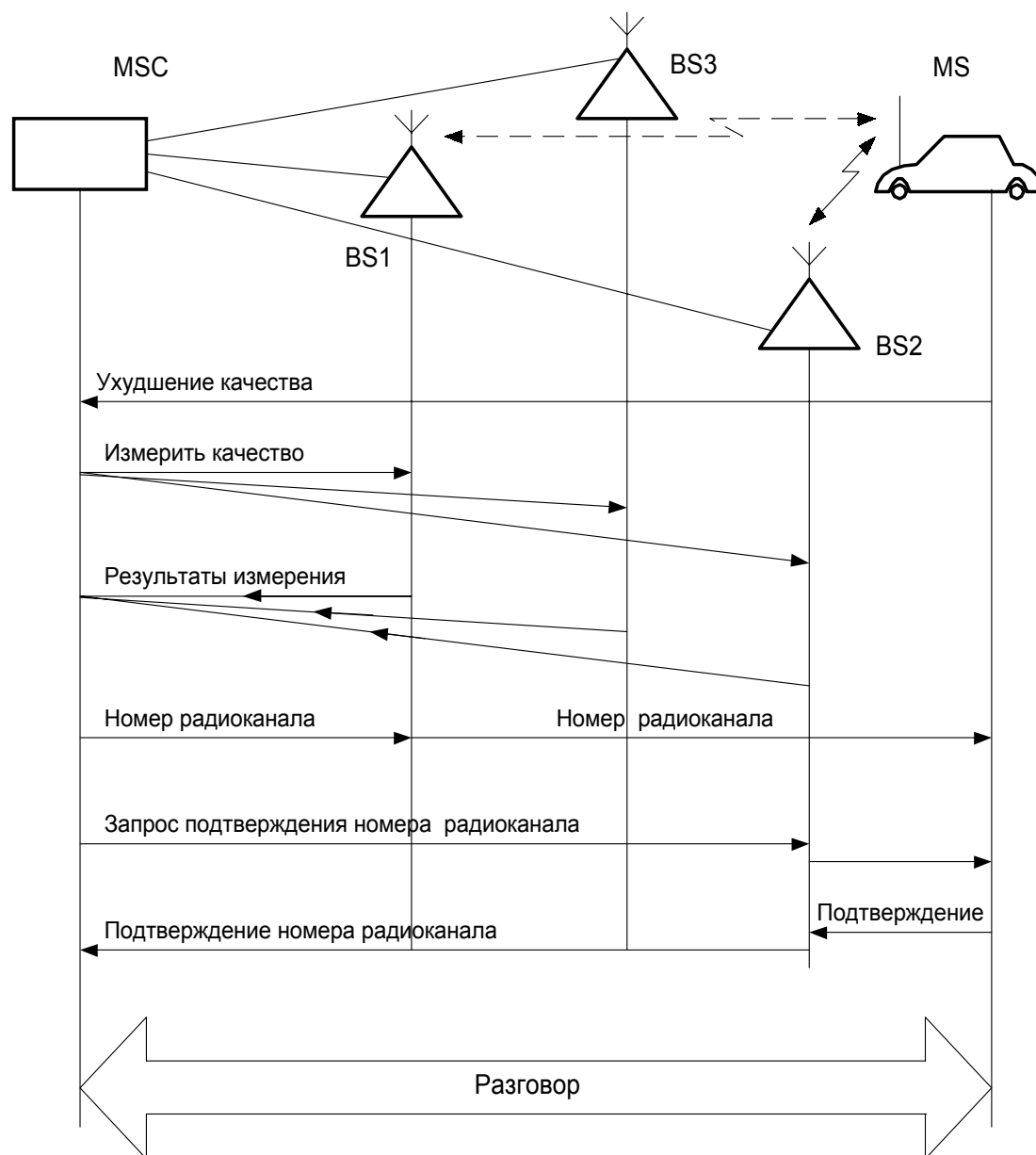


Рис. 2.5

Иногда возникает ситуация, когда поток заявок на обслуживание, поступающий от абонентов сотовой сети, превышает количество каналов, имеющих на всех близко расположенных базовых станциях. Это происходит тогда, когда все каналы станций заняты обслуживанием абонентов и нет ни одного свободного, и поступает очередная заявка на обслуживание от подвижного абонента. В этом случае как временная мера (до освобождения одного из каналов) используется принцип эстафетной передачи внутри соты. При этом происходит поочередное переключение каналов в пределах одной и той же базовой станции для обеспечения связью всех абонентов.

Одна из важных услуг сети сотовой связи – предоставление возможности использования одного и того же радиотелефона при поездке в другой город, область или даже страну, причем сотовая сеть позволяет не только самому абоненту звонить из другого города или страны, но и получать звонки от тех, кто не успел застать его дома. В сотовой радиосвязи такая возможность называется роуминг (от англ. roam – скитаться, блуждать).

Различают три вида роуминга:

- автоматический (именно с этой формой за рубежом обычно и связывают понятие роуминга), т.е. предоставление абоненту возможности выйти на связь в любое время в любом месте;

- полуавтоматический, когда абоненту для пользования данной услугой в каком-либо регионе необходимо предварительно поставить об этом в известность своего оператора;

- ручной, по сути, простой обмен одного радиотелефона на другой, подключенный к сотовой системе другого оператора.

Для обеспечения автоматического и полуавтоматического роуминга необходимо выполнение трех условий:

- наличие в требуемых регионах сотовых систем стандарта, совместимого со стандартом компании, у которой был приобретен радиотелефон;

- наличие соответствующих организационных и экономических соглашений о роуминговом обслуживании абонентов для взаиморасчетов между операторами сетей;

- наличие каналов связи между системами, обеспечивающих передачу звуковой и другой информации для роуминговых абонентов.

При перемещении абонента в другую сеть ее центр коммутации запрашивает информацию в первоначальной сети и при наличии подтверждения полномочий абонента регистрирует его. Данные о местоположении абонента постоянно обновляются в центре коммутации первоначальной сети, и все поступающие туда вызовы автоматически переадресовываются в ту сеть, где в данный момент находится абонент.

Процедура установления входящего вызова проиллюстрирована на рис. 2.6.

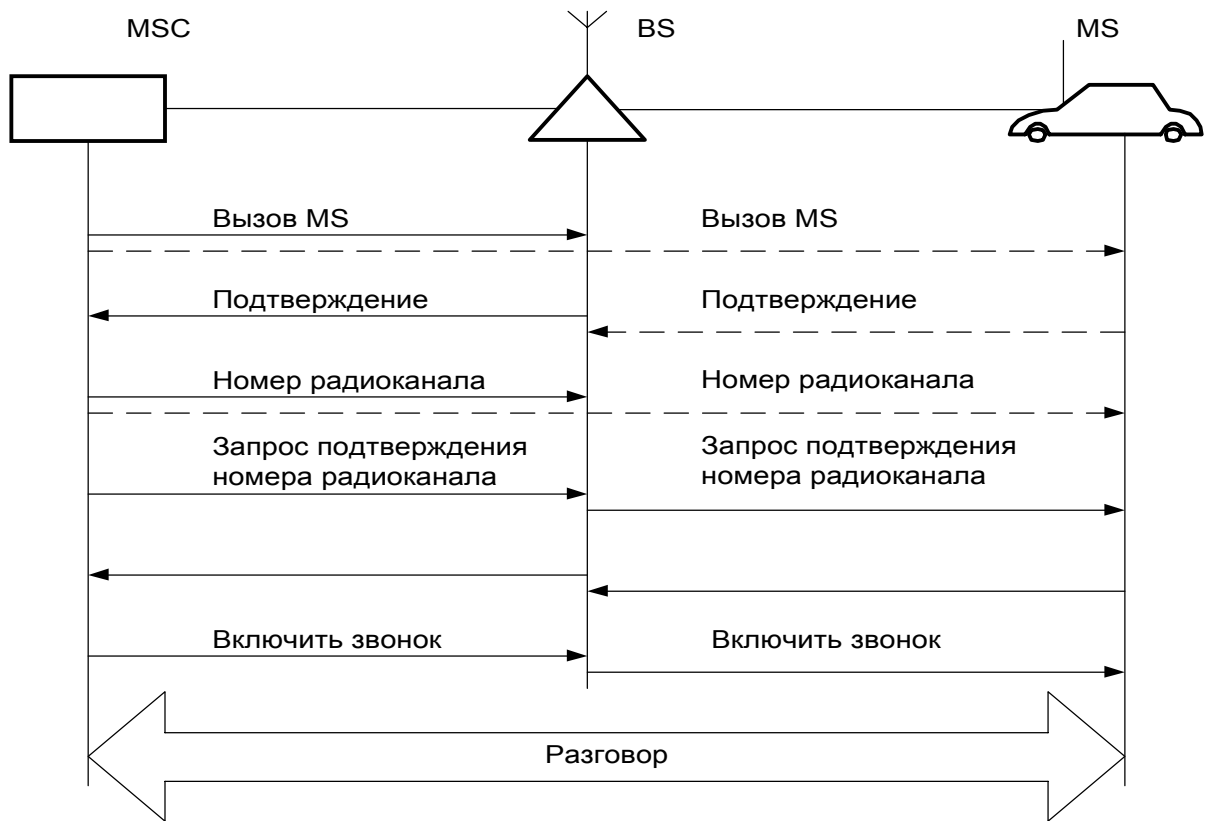


Рис. 2.6

3. ССПР стандарта NMT

Структура ССПР NMT показана на рис. 3.1.

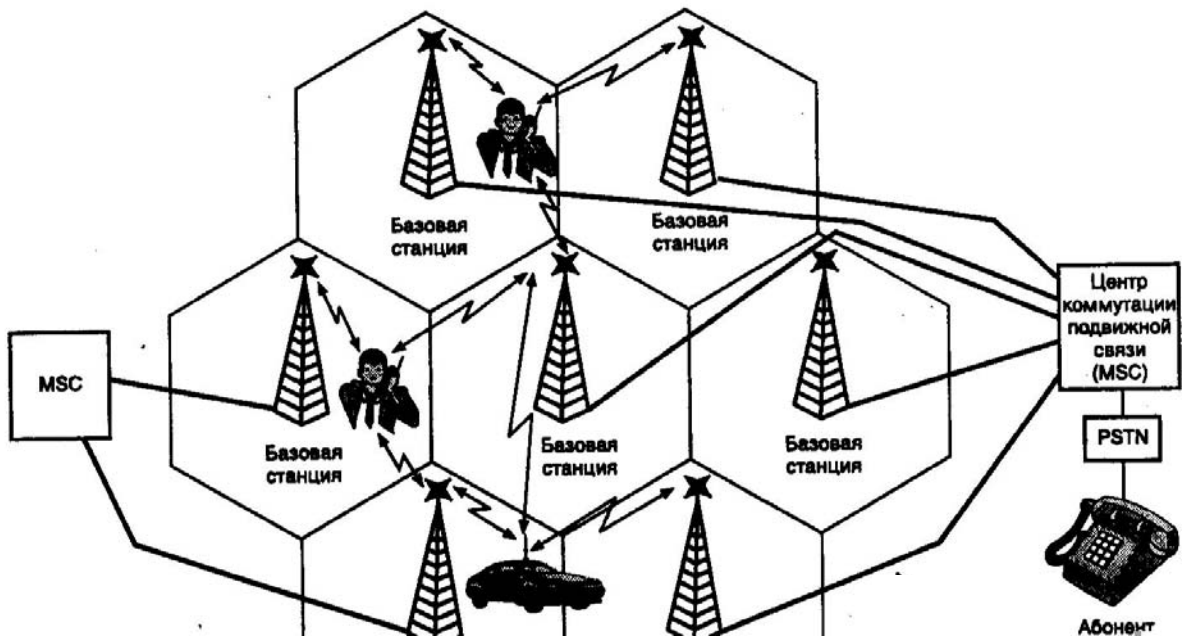


Рис. 3.1

Каждая из сот обслуживается многоканальным приемопередатчиком, называемым базовой станцией. Она служит своеобразным интерфейсом между сотовым телефоном и центром коммутации подвижной связи, где роль проводов обычной телефонной сети выполняют радиоканалы.

Число каналов базовой станции кратно 8. Один из каналов является управляющим (control channel), по нему передаются служебные цифровые сигналы. В некоторых ситуациях он может называться также каналом вызова (calling channel). На этом канале происходит непосредственное установление соединения при вызове подвижного абонента сети, а сам разговор начинается только после того, как будет найден свободный в данный момент канал и произойдет переключение на него. Однако при определенных обстоятельствах канал вызова может использоваться для ведения разговора, когда на базовой станции все каналы связи заняты.

Любой из каналов сотовой связи представляет собой пару частот для дуплексной связи, т.е. частоты базовой и подвижной станций разнесены. Это делается для того, чтобы улучшить фильтрацию сигналов и исключить взаимное влияние передатчика на приемник одного и того же устройства при их одновременной работе.

Все базовые станции соединены с центром коммутации подвижной связи (коммутатором) по выделенным проводным или радиорелейным каналам связи.

Центр коммутации подвижной связи (MSC) – это автоматическая телефонная станция системы сотовой связи, обеспечивающая все функции управления сетью. Она осуществляет постоянное слежение за подвижными станциями, организует их эстафетную передачу, в процессе которой достигается непрерывность связи при перемещении подвижной станции из соты в соту, и переключение рабочих каналов в соте при появлении помех или неисправностей, а также производит соединение подвижного абонента с абонентом телефонной сети.

В служебных сигналах контрольного канала промаркированы:

- канал вызова каждой базовой станции;
- один или несколько свободных каналов;
- зоны обслуживания;
- страна, в которой находится подвижная станция;
- номера каналов.

Все служебные сигналы являются цифровыми и передаются со скоростью 1200/1800 бит/с FFSK модуляцией (Fast Frequency Shift Keying). Принцип формирования FFSK сигнала показан на рис. 3.2.

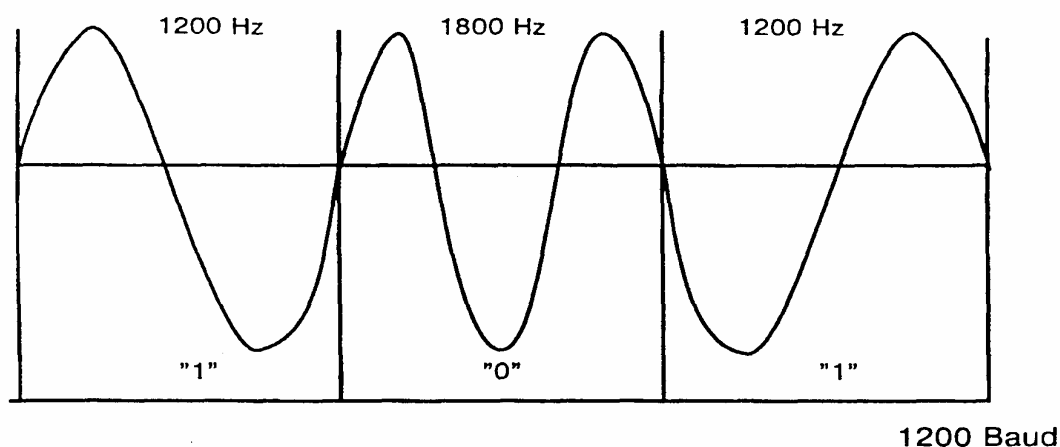


Рис. 3.2

Рабочие частоты находятся в двух полосах: 453 – 457,5 МГц и 463 – 467,5 МГц, которые используются для радиосвязи между подвижной и базовой, а также между базовой и подвижной станциями соответственно.

Дуплексный разнос каналов приема и передачи в стандарте NMT-450 равен 10 МГц, частотный разнос соседних каналов – 25 или 20 кГц.

Так как общее число радиочастот, имеющих в наличии в системе, ограничено, то для того, чтобы увеличить емкость системы связи предусматривается формирование малых зон связи ("малые ячейки") в густонаселенных районах. При этом увеличивается вероятность достижения границы зоны обслуживания базовой станции к другой, управляемой тем же радиотелефонным коммутатором.

Выходная мощность передатчиков всех подвижных станций автоматически уменьшается по команде радиотелефонного коммутатора, когда станция входит в зону "малой ячейки". Эта же процедура используется для того, чтобы уменьшить помехи в случае, когда подвижные станции находятся близко от базовых станций с обычными зонами обслуживания.

Принципы построения сотовых систем радиосвязи стандартов NMT-450 и NMT-900 практически совпадают. Обе системы сотовой связи базируются на спецификации стандарта NMT-450. Основные отличия более совершенного стандарта NMT-900 первоначально

были связаны с введением в состав абонентского оборудования малогабаритной носимой станции, совершенствованием управления и развитием услуг связи [1, 2].

На рис. 3.3 приведены частотные планы стандартов NMT-450 и NMT-900 [3], а в табл. 3.1 представлены их основные характеристики.

Рис. 3.3

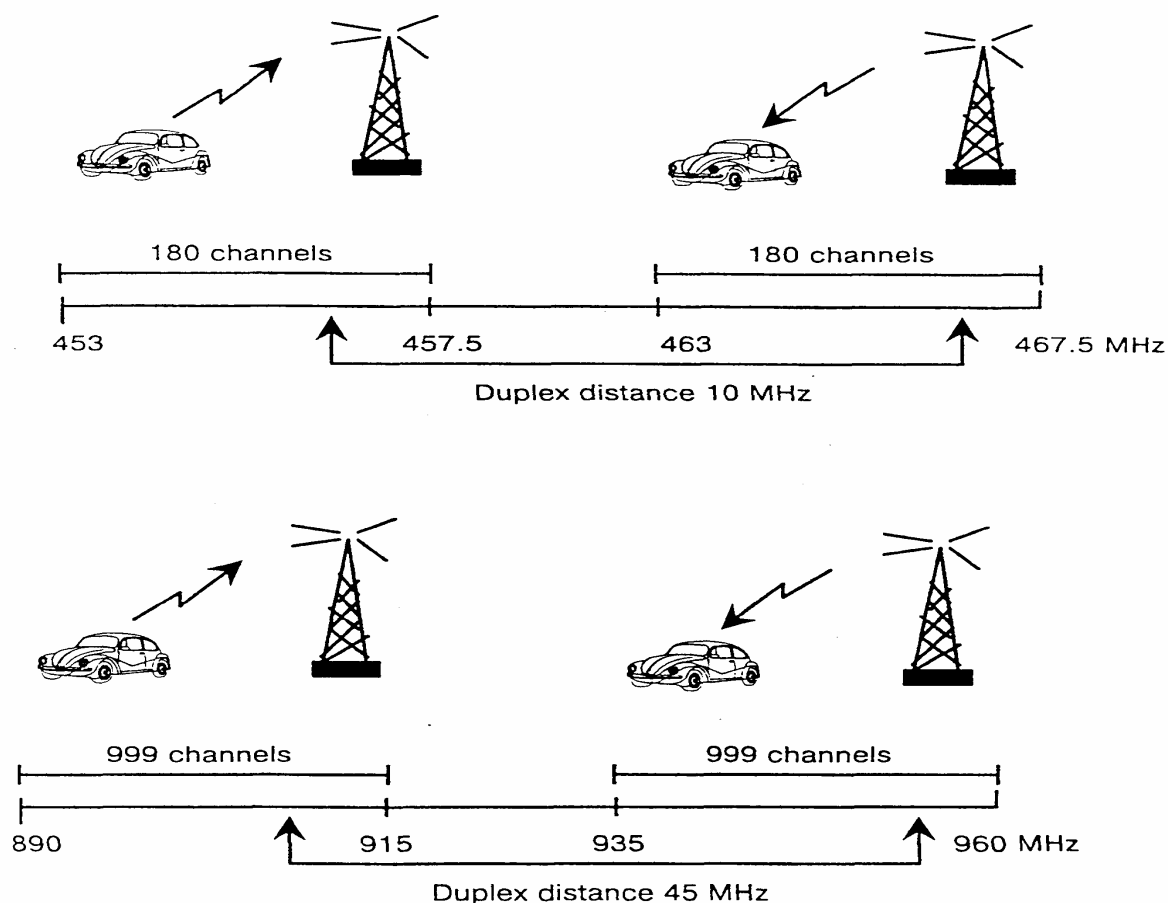


Таблица 3.1

Наименования параметров	NMT-450	NMT-900
Полоса частот:		
- для передачи подвижной станцией	453 - 457,5 МГц	890 - 915 МГц
- для приема подвижной станцией	463 - 467,5 МГц	935 - 960 МГц
Частотный разнос каналов	25 (20) кГц	25 кГц (12,5 с перемежением)
Дуплексный разнос каналов приема и передачи	10 МГц	45 МГц
Количество каналов	180 (225)	999 (1999 с перемежением)
Радиус соты	15 - 40 км	2 - 20 км
Мощность передатчика базовой станции	50 Вт	25 Вт
Мощность передатчика подвижной станции	15 Вт 1,5 Вт 0,15 Вт	6 Вт 1 Вт 0,1 Вт

В настоящее время стандарт NMT-450 доработан и его характеристики доведены до уровня стандарта NMT-900. Новая версия получила обозначение NMT-450J. В ней обеспечены увеличенная производительность, наличие и более качественная работа носимых абонентских станций.

Кроме передачи речевых сообщений на местном, междугородном и международном уровнях ССПР стандартов NMT-450J и NMT-900 предоставляют абонентам широкий набор услуг:

- позволяют отправить телефаксы;
- обеспечивают доступ к различным базам данных при скорости передачи данных 4,8 кбит/с;
- дают возможность переадресовывать вызов на другой номер, ограничивают продолжительность разговоров, конференц-связи трех абонентов, организовывать пользовательские группы с сокращенным набором номера;
- защищают доступ к сети с помощью системы SIS идентификации абонента (Subscriber Identification Security), при этом идентификация абонентской станции осуществляется по специальному ключу, записанному в подвижную станцию, и этот же ключ содержится в регистре идентификации, установленном в центре коммутации.

4. ССПР стандарта AMPS

Принципы построения и общие характеристики

Общая структура ССПР стандарта AMPS аналогична структуре NMT, но имеет некоторые отличия. В системе применяются базовые станции с антеннами, имеющими ширину диаграммы направленности 120°, которые устанавливаются в углах ячеек. Базовые станции подключены к центрам коммутации с помощью проводных линий, по которым передаются речевые сигналы и служебная информация.

В системе сотовой связи стандарта AMPS используется принцип разносенного приема сообщений, поэтому базовые станции содержат по две антенны и соответствующие полосовые фильтры. Приемник – двухканальный, с двойным преобразованием частоты в каждом канале. Блок контроля выполняет функции диагностики состояния станции. Для принятия решения о переключении каналов в системе осуществляется периодический контроль качества каждого из них путем измерения интенсивности принимаемого

сигнала (напряженности поля) с помощью специального приемника. Информация об уровне сигнала в контролируемом канале передается в центр коммутации подвижной связи, где производится сравнение принятой информации с аналогичными данными соседних базовых станций и в случае необходимости принимается решение о переключении абонента на другую базовую станцию. Подвижная станция состоит из трех блоков: приемопередатчика с синтезатором частоты на 666 каналов, блока управления, состоящего из клавиатуры и панели индикации, и логического блока.

Система работает в диапазоне 825 – 890 МГц и имеет 666 дуплексных каналов при ширине полосы частот каждого канала 30 кГц. Мощность передатчика базовой станции составляет 45 Вт, автомобильной станции – 12 Вт, переносного аппарата – 1 Вт.

Организация каналов управления

В рассматриваемой системе используются прямой и обратный каналы управления. Информация по прямому каналу управления в направлении от базовой станции к подвижной передается со скоростью 8 кбит/с непрерывным потоком, который при отсутствии информации для подвижной станции содержит лишь контрольный текст. Это является необходимым условием функционирования системы, так как в свободном состоянии приемное устройство подвижной станции сканирует каналы управления, выбирая канал с наиболее высоким уровнем сигнала. Для передачи служебной информации в каналах управления используются сообщения стандартных форматов.

В прямом канале управления сообщения стандартных форматов используются для передачи следующих сведений:

- о состоянии соответствующего обратного канала управления (“свободно/занято”);
- об информационных данных (слова А) для четных номеров абонентов;
- об информационных данных (слова В) для нечетных номеров абонентов.

Достоверность принимаемой информации увеличивается благодаря многократной ее передаче (пять повторов), что особенно важно для каналов, подверженных замираниям и интерференции сигналов. Для обеспечения необходимой достоверности информационные слова кодируются и объединяются с разрядами коррекции ошибок. В приемнике осуществляется мажоритарное

накопление последовательностей по соответствующим правилам принятия решения (3 из 5).

Информационные слова – это сложные пакеты информации, разделенные на группы или на отдельные разряды, каждый из которых определяет параметры системы, цифру в набираемом номере и т.п. Более точное содержание формата слова зависит от типа сообщения, а длина полного информационного слова может составлять 463 бита.

Установление входящего вызова

Процедура установления входящего вызова в системах стандарта AMPS в общем виде рассмотрена в подразд. 2.5. Более детально эта процедура выполняется следующим образом.

Если в центр коммутации подвижной связи поступает заявка на установление связи с подвижным абонентом от абонента телефонной сети общего пользования или другого подвижного абонента, т.е. заявка на входящий вызов, то он по проводному каналу передачи данных дает команду всем базовым станциям, находящимся в зоне обслуживания, вызвать необходимого подвижного абонента. Этот вызов по каналу управления транслируется на подвижную станцию, которая, получив его, проверяет возможность доступа в обратный канал управления с помощью флага “свободно/занято”, имеющегося в принятом сообщении. Если обратный канал управления свободен, то абонентская станция выдает в центр коммутации подвижной связи через базовую станцию подтверждающее сообщение, которое содержит личный номер подвижного абонента.

Центр коммутации, приняв это сообщение, анализирует поступившую информацию, определяет номер базовой станции, обслуживающей в данный момент времени вызываемого абонента, и тем самым – его местоположение. Затем он выбирает свободный разговорный канал на данной базовой станции BTS и занимает его, указывая в информационной части сигнала управления, что этот канал в состоянии “занято”. Процедура входящего вызова происходит в течение 1 – 4 мс, что совсем не заметно для пользователя. Реализация такой процедуры позволяет снизить до минимума вероятность конфликтной ситуации при занятии канала управления несколькими абонентами одновременно.

После выполнения процедуры установления свободного канала связи и его занятия из центра коммутации по разговорному каналу посылается повторный вызов на базовую станцию с указанием

номера выделенного радиоканала и номера специального сигнала SAT (Supervisory Audio Tone). В качестве сигнала SAT в одной ячейке системы сотовой связи может использоваться сигнал одной из трех тональных частот: 5970, 6000 или 6030 Гц, который необходим для контроля исполнения команд и качества связи в разговорном канале.

Получив информацию от центра коммутации, абонентская станция перестраивается на частоту свободного разговорного канала и по нему ретранслирует выделенный сигнал SAT. При его распознавании на базовой станции принимается решение о готовности дуплексного радиоканала “базовая станция – абонент”, о чем сообщается в центр коммутации соответствующим сигналом.

Далее производится коммутация наземной телефонной линии между центром MSC и базовой станцией, радиоканала – между станцией BTS и подвижной станцией MS, которая соответствующей командой приводится в готовность.

Если абонент свободен, то от него по назначенному разговорному каналу на базовую станцию передается тональный сигнал ST (Signalling Tone) частотой 8 кГц, который прерывается при снятии трубки абонентского аппарата. По сигналу ST базовая станция сообщает в центр коммутации о готовности абонентского терминала, и центр MSC посылает абоненту сигнал вызова.

При прерывании сигнала ST центр коммутации подключает весь разговорный тракт, передает в канал сигнал SAT и следит за результатами контроля качества связи. По завершении разговора от абонентского терминала передается сигнал ST и сигнал о перестройке на частоту канала управления, поэтому базовая станция сообщает в центр коммутации подвижной связи об окончании сеанса связи, после чего коммутационное оборудование освобождается.

Сигнал SAT постоянно передается в канале связи во время разговора. В том случае, если обнаружено прерывание этого сигнала, абонентская станция включает таймер и, если сигнал SAT не будет обнаружен по истечении определенного времени, переключается на частоту канала управления. На этом сеанс связи заканчивается.

Следует отметить, что в отличие от алгоритма входящего вызова системы NMT в данном алгоритме контроль достоверности принимаемых сообщений частично перенесен на блок управления абонентской станции. Например, с его помощью определяется соответствие между принятым номером разговорного канала и

номером канала управления, который обслуживает данную группу разговорных каналов.

Организация управления при исходящем вызове

Исходящий от подвижного абонента вызов может быть предназначен как для абонента телефонной сети общего пользования, так и для другого подвижного абонента системы сотовой связи. Для производства исходящего вызова пользователь набирает на радиотелефоне номер вызываемого абонента; этот номер передается на базовую станцию и далее транслируется в центр коммутации по каналу передачи данных. После анализа информации и выделения свободного разговорного канала в действующих системах сотовой связи организуется тестирование состояния каналов, устанавливается соединение и в сторону вызываемого абонента посылается вызов. При ответе абонента подключается весь разговорный тракт.

В системах сотовой связи стандарта AMPS управление при исходящем вызове основано на применении сигналов SAT и ST. Как и в системе стандарта NMT, номер вызываемого абонента записывается в запоминающее устройство абонентской станции, которая затем проверяет состояние обратного канала управления на занятость, т. е. определяет возможность доступа в прямой канал управления.

Получив доступ, абонентская станция передает исходящий вызов, в котором содержатся номера вызывающего и вызываемого абонентов. Базовая станция транслирует исходящее сообщение по каналу передачи данных в центр коммутации, где осуществляется проверка на несанкционированный доступ вызывающего абонента к данной сети. Если абонент имеет право доступа, то центр коммутации инициирует в течение 1 – 4 мс состояние “занято” обратного канала управления, выделяет свободный разговорный канал и передает сигнал SAT. Одновременно с этим устанавливается соединение с вызываемым абонентом и ему передается вызов. Получив номера разговорного канала и сигнала SAT, вызывающая станция настраивается на частоту разговорного канала и передает по нему через базовую станцию в центр коммутации подвижной связи соответствующий сигнал SAT, после получения которого осуществляется проверка разговорного тракта MSC–BTS–MS. Далее центр коммутации ожидает ответа вызываемого абонента, при снятии им трубки подключает разговорный тракт и ведет контроль качества речи.

Организация эстафетной передачи абонента

В системах стандарта AMPS протокол обмена сообщениями в режиме эстафетной передачи канала (абонента) подобен протоколу систем стандарта NMT и отличается лишь тем, что контроль над качеством передачи ведется с помощью сигнала SAT. В процессе эстафетной передачи абонента от одной базовой станции к другой аппаратура подвижного абонента уведомляется о номере сигнала SAT специальным сообщением.

По мере приближения подвижной станции к границе ячейки величина отношения сигнал/шум уменьшается. Поэтому базовая станция BTS1 может выдать в центр коммутации сигнал “ухудшение качества”, по которому центр коммутации идентифицирует шесть ближайших к абоненту базовых станций и дает им команду измерить уровень сигнала SAT1 в данном радиоканале. Центр коммутации сравнивает полученные результаты и выбирает новую ячейку с более высоким уровнем сигнала, например ячейку 2, в базовую станцию которой передается номер нового разговорного канала и номер SAT2. Это сообщение транслируется на подвижную станцию в разговорном канале, по которому ведется сеанс связи. Подтверждением получения информации является кратковременное (на 50 мс) прерывание сигнала SAT2, зафиксировав которое, BTS1 посылает сигнал исполнения на центр коммутации. В новом разговорном канале абонентский терминал передает в центр коммутации сигнал готовности, последний производит соответствующую перекоммутацию каналов, освобождая базовую станцию BTS1, и подключает новый разговорный тракт. Контроль качества передачи ведется по сигналу SAT2, дискретная информация передается в разговорном канале методом бланкирования, при котором речевые сигналы прерываются. Вся процедура эстафетной передачи занимает около 250 мс, поэтому для абонента момент переключения незаметен.

5. Цифровые ССПР стандарта GSM

5.1. Структура ССПР GSM

Функциональное построение и интерфейсы, принятые в стандарте GSM, иллюстрируются структурной схемой (рис. 5.1), на которой MSC (Mobile Switching Centre) – центр коммутации подвижной связи; HLR – регистр положения; VLR – регистр

перемещения; EIR (Equipment Identification Register) – регистр идентификации оборудования; AUC – центр аутентификации; BSS (Base Station System) – оборудование базовой станции; BSC (Base Station Controller) – контроллер базовой станции; BTS (Base Station Transmitter) – приемопередатчик базовой станции; OMC (Operations and Maintenance Centre) – центр управления и технического обслуживания; NMC (National Maintenance Centre) – центр управления сетью; MS (Mobile Stations) – подвижные станции.

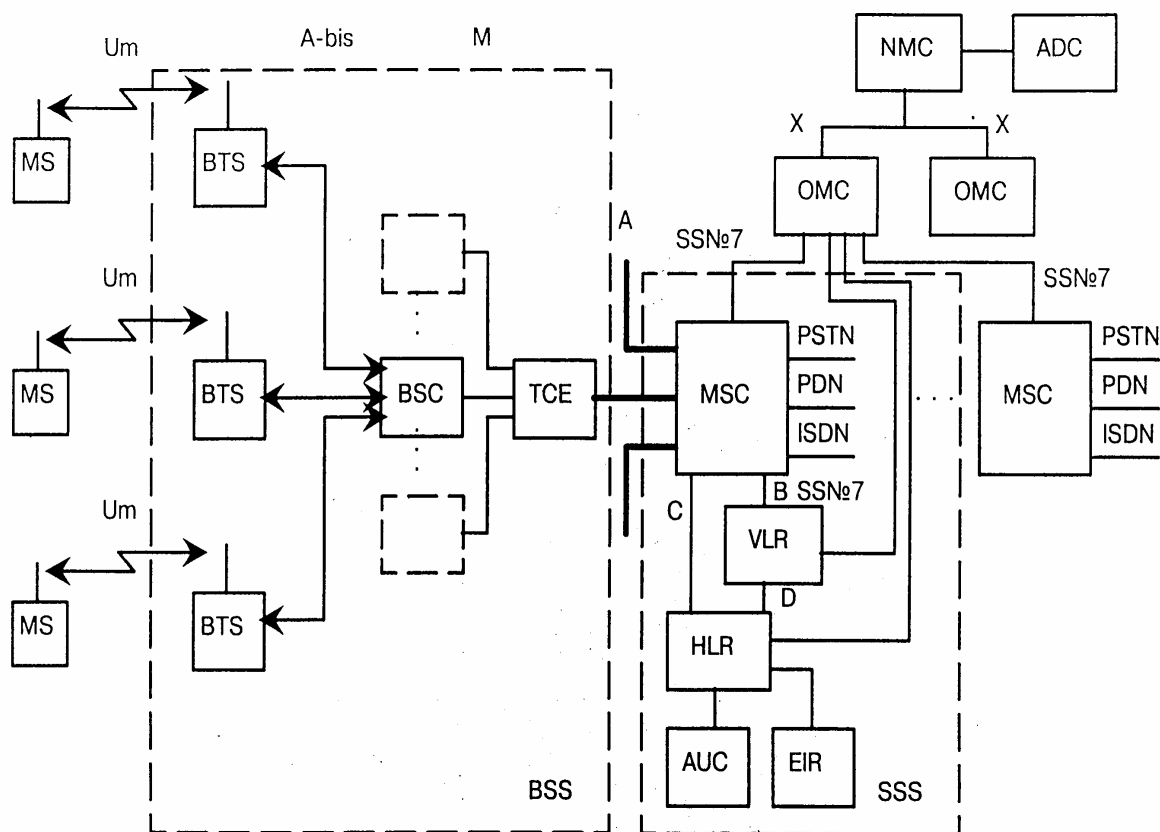


Рис. 5.1

Центр коммутации подвижной связи выполняет следующие задачи:

- 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);
- обеспечивает маршрутизацию вызовов и функции управления вызовами;

– кроме функций обычной ISDN станции выполняет функции коммутации радиоканалов (к ним относится и "эстафетная передача") и переключает рабочие каналы в соте при появлении помех или неисправностях;

– формирует данные, необходимые для выписки счетов за предоставленные сетью услуги связи, накапливает данные по состоявшимся разговорам и передает их в центр расчетов (биллинг-центр);

– составляет статистические данные, необходимые для контроля работы и оптимизации сети;

– поддерживает процедуры безопасности, применяемые для управления доступами к радиоканалам;

– регистрирует местоположения подвижных станций, что необходимо для обеспечения доставки вызова перемещающимся подвижным абонентам от абонентов телефонной сети общего пользования или других подвижных абонентов.

Центр коммутации для осуществления постоянного слежения за подвижными станциями использует регистры положения HLR и перемещения VLR (рис. 5.2, 5.3).

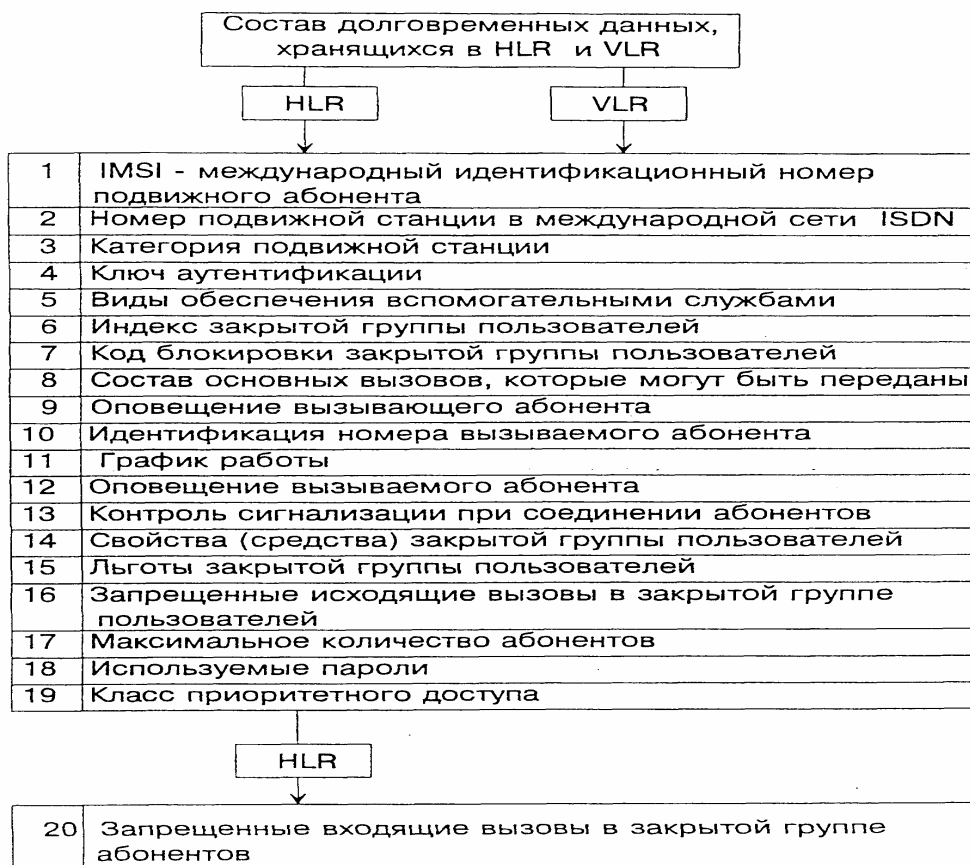


Рис. 5.2

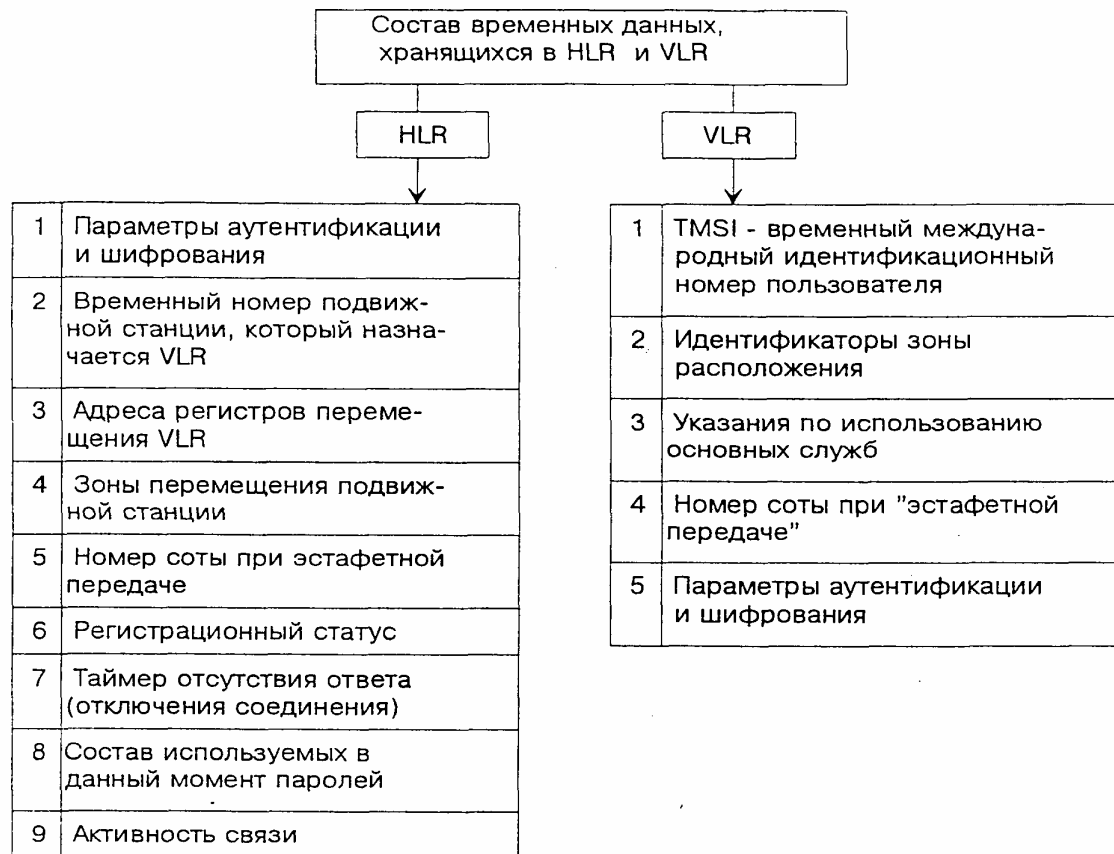


Рис. 5.3

Регистр HLR содержит международный идентификационный номер подвижного абонента (IMSI). Он используется для опознавания подвижной станции в центре аутентификации AUC.

Практически HLR и VLR представляют 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 абонента, включая данные о временном идентификационном номере подвижного абонента (TMSI) и соответствующем VLR.

С помощью VLR 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 сбоя 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.

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 доступ последнего 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.

Каждый подвижный абонент на время пользования системой связи получает стандартный модуль подлинности абонента (SIM), который содержит международный идентификационный номер (IMSI), свой индивидуальный ключ аутентификации и алгоритм аутентификации.

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.

Регистр идентификации оборудования EIR 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:

- белого списка, содержащего номера IMEI, о которых есть сведения о том, что они закреплены за санкционированными подвижными станциями;

- черного списка, содержащего номера IMEI подвижных станций, которые украдены или которым отказано в обслуживании по другой причине;

- серого списка, содержащего 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.

Центр эксплуатации и технического обслуживания является центральным элементом сети GSM, который обеспечивает контроль и управление другими компонентами сети и контроль качества ее работы. OMC соединяется с другими компонентами сети GSM по каналам пакетной передачи протокола X25. Функция эффективного управления включает в себя сбор статистических данных о нагрузке от компонентов сети GSM, записи их в дисковые файлы и вывод на дисплей для визуального анализа. OMC обеспечивает управление изменениями программного обеспечения и базами данных о конфигурации элементов сети. Загрузка программного обеспечения в память может производиться из OMC в другие элементы сети или из них в OMC.

Центр управления сетью NMC позволяет обеспечивать рациональное иерархическое управление сетью GSM. Он обеспечивает эксплуатацию и техническое обслуживание на уровне всей сети, поддерживаемой центрами OMC, которые отвечают за управление региональными сетями.

Оборудование базовой станции BSS состоит из контроллера базовой станции BSC и приемо-передающих устройств базовых станций BTS. Контроллер базовой станции может управлять несколькими приемо-передающими блоками. BSS обеспечивает следующие функции:

- управляет распределением радиоканалов;
- контролирует соединения;
- регулирует их очередность;
- обеспечивает режим работы с прыгающей частотой;
- осуществляет модуляцию и демодуляцию сигналов;
- проводит кодирование и декодирование сообщений и речи;
- обеспечивает 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.

Транскодер TCE обеспечивает преобразование выходных сигналов канала передачи речи и данных MSC (со скоростью 64 кбит/с) к виду, соответствующему радиоинтерфейсу GSM.

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

При проектировании цифровых сотовых систем подвижной связи стандарта GSM рассматриваются интерфейсы трех видов для осуществления следующих соединений:

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

Все существующие внутренние интерфейсы сетей GSM показаны на структурной схеме (см. рис. 5.1).

Соединение с PSTN

Соединение с телефонной сетью общего пользования осуществляется MSC по линии связи 2 Мбит/с в соответствии с системой сигнализации SS№7.

Соединение с ISDN

Для соединения с создаваемыми сетями ISDN предусматриваются четыре линии связи 2 Мбит/с, поддерживаемые системой сигнализации SS№7.

Соединение с существующей сетью NMT-450

Центр коммутации подвижной связи соединяется с сетью NMT-450 через четыре стандартные линии связи 2 Мбит/с и системы сигнализации SS№7.

Соединения с международными сетями GSM

Соединения к общеевропейским сетям GSM 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.

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 местоположения в другую. 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 (C-интерфейс) используется для обеспечения взаимодействия между MSC и HLR. MSC может послать 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 (D-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 и переприсваивая ей номера в процессе блуждания, посылает все необходимые данные для обеспечения обслуживания подвижной станции.

Интерфейс между MSC (E-интерфейс) обеспечивает взаимодействие между разными MSC при осуществлении процедуры эстафетной передачи абонента.

Интерфейс между BSG и BTS (A-bis интерфейс) служит для связи BSC с BTS и определен Рекомендациями ETSI 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 (O-интерфейс) предназначен для связи BSC с OMC, используется в сетях с пакетной коммутацией X25.

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

Интерфейс между MS и BTS (Um-радио интерфейс) определен в сериях 04 и 05 Рекомендаций ETSI.

Соединение сети с ОМС может обеспечиваться системой сигнализации SSN⁷ или сетевым протоколом X25. Сеть X25 может соединяться с объединенными сетями или с PSDN в открытом или замкнутом режимах.

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 сети пакетной передачи данных общего пользования (PSPDN), например Datex-P;

- синхронный дуплексный доступ к сети пакетной передачи данных со стандартными скоростями 2400 - 9600 бит/с [1,2].

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 ожидается, что большинство абонентов будет использовать услуги GSM в деловых целях, особое внимание уделяется аспектам безопасности и качеству предоставляемых услуг.

Структурная схема служб связи в GSM PLMN показана на рис. 5.4, где 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) – функциональный межсетевой стык. К передаче данных относится и новый вид службы, используемый в GSM, – передача коротких сообщений (передача служебных буквенно-цифровых сообщений для отдельных групп пользователей).

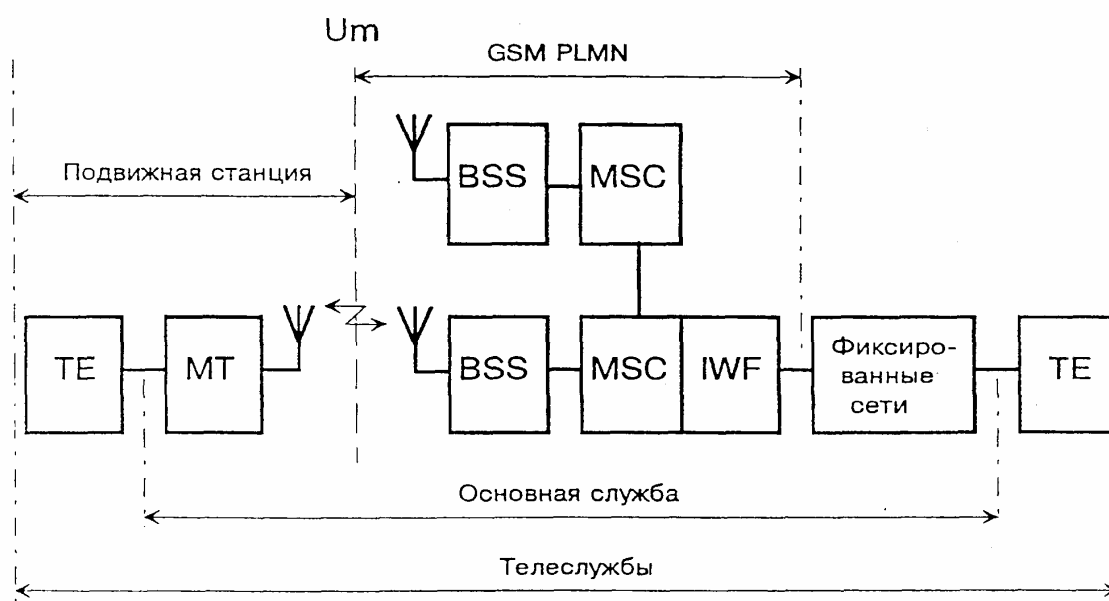


Рис. 5.4

Схемы (см. рис. 5.1, 5.4) сетей связи и совокупность интерфейсов стандарта GSM обеспечивают высокие параметры передачи сообщений, совместимость с существующими и перспективными информационными сетями, предоставляют абонентам широкий спектр услуг цифровой связи.

5.2. Организация каналов ССПР GSM

Каждая частотная несущая содержит восемь физических каналов, размещенных в восьми 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 (TCH) и каналы управления для передачи сигналов управления и синхронизации (CCH).

Состав и назначение логических каналов приведены на рис. 5.5.

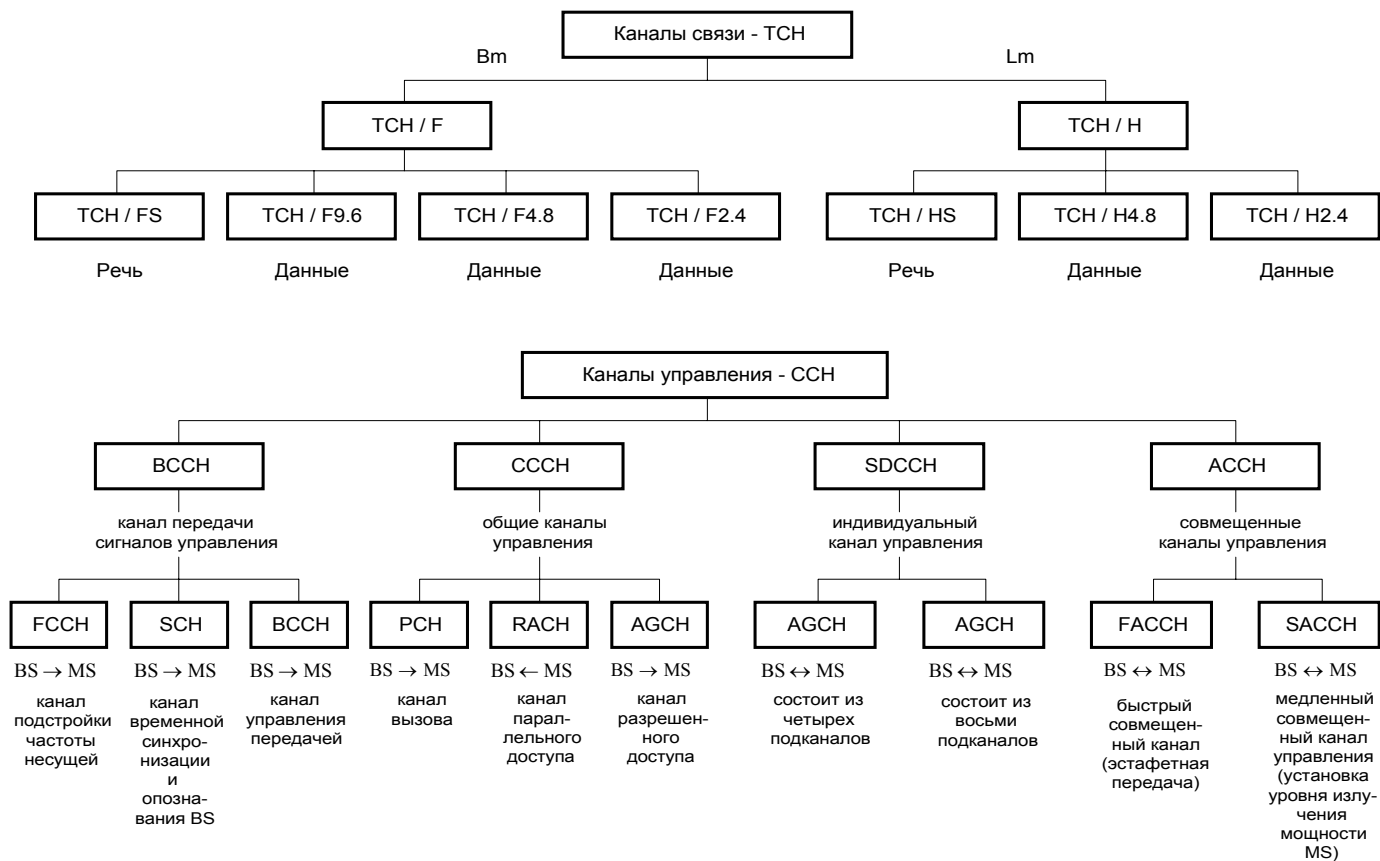


Рис. 5.5

Структура логических каналов связи

В стандарте GSM различают логические каналы связи двух основных видов:

- TCH/F (Full Rate Traffic Channel) - канал передачи сообщений с полной скоростью 22,8 кбит/с (другое обозначение Bm);
- TCH/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:

- TCH/FS (Full Rate Traffic Channel for Speech) - канал для передачи речи с полной скоростью;
- TCH/HS (Half Rate Traffic Channel for Speech) - канал для передачи речи с половинной скоростью;
- 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;
- CH/H 2,4 (Half Rate Traffic Channel for 9,6 kbit/s User Data) - канал передачи данных с половинной скоростью 2,4 кбит/с.

Структура логических каналов управления

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.

Различают два вида АСЧН:

– 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.

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 скоростями с медленным совмещенным каналом управления SACCH показано на рис. 5.6, где а – организация полноскоростного канала связи (TCH); б – организация полускоростного канала связи (TCH); Т, т – TDMA-кадр для передачи TCH; А, а – TDMA-кадр для передачи SACCH/Т; “-“ – пустой TDMA-кадр.

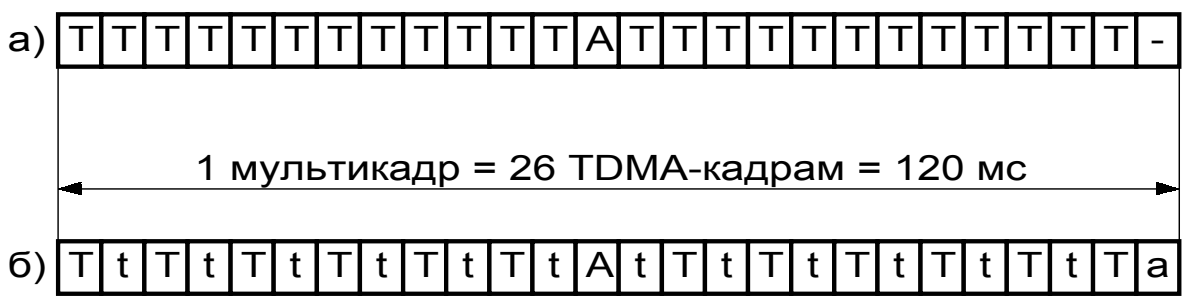


Рис. 5.6

В полноскоростном 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.

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 полноскоростном канале связи только один TDMA-кадр (114 бит) при скорости передачи по SACCH каналу 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. 5.6 за время 26-кадрового мультикадра (в одном физическом канале) может передаваться два полускоростных канала TCH, каждый по 12 TDMA-кадров (T и t). Пустой 26-й TDMA-кадр в полноскоростном канале TCH отводится для канала SACCH во втором полускоростном канале TCH. Для каждого полускоростного канала TCH скорость передачи составляет 11,4 кбит/с; полная скорость передачи в объединенном полускоростном канале TCH/SACCH остается прежней - 24,7 кбит/с.

Отображение логических каналов на физические осуществляется посредством цифрового кодирования и шифрования передаваемых сообщений.

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

- блочное – для быстрого обнаружения ошибок при приеме;
- сверхточное – для исправления одиночных ошибок;
- перемежение – для преобразования пакетов ошибок в одиночные.

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

5.3. Основные показатели и модуляция сигналов ССПР GSM

Стандарт GSM разработан для создания ССПС в следующих полосах частот: 890 – 915 МГц – для передачи подвижными станциями (линия "вверх"), 935 – 960 МГц – для передачи базовыми станциями (линия "вниз") [1, 3].

Каждая из полос, выделенных для сетей GSM, разделяется на частотные каналы. Разнос каналов составляет 200 кГц, что позволяет организовать в сетях GSM 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.

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

В стандарте GSM применяется спектрально-эффективная гауссовская частотная манипуляция с минимальным частотным сдвигом (GMSK). Манипуляция называется "гауссовской" потому, что последовательность информационных бит до модулятора (рис. 5.7) проходит через фильтр нижних частот с характеристикой Гаусса, что дает значительное уменьшение полосы частот излучаемого радиосигнала [2, 3].

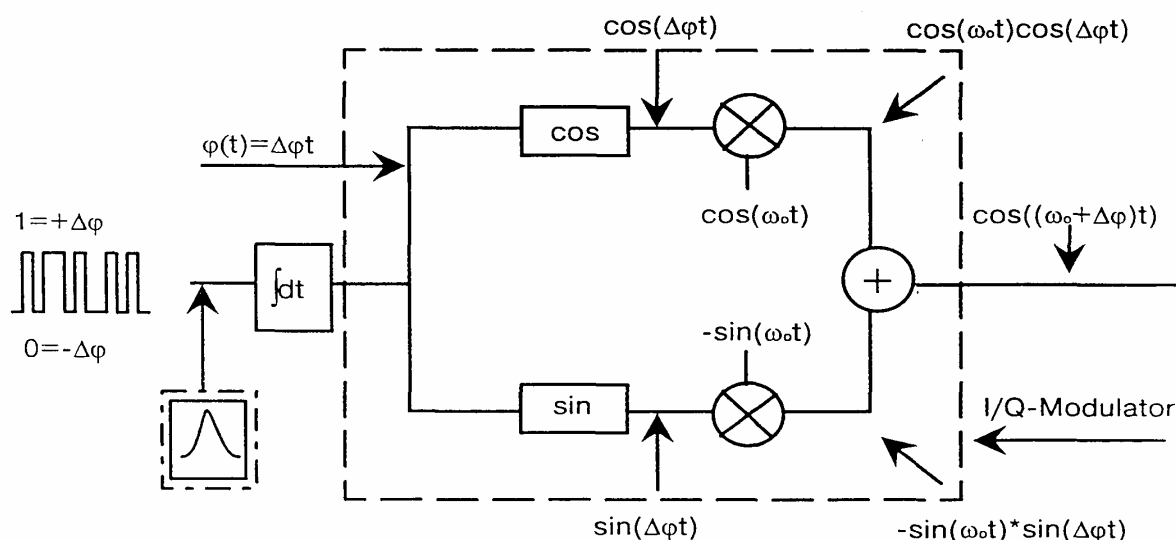


Рис. 5.7

Такой модулятор представляет схему однополосного модулятора фазокомпенсационного типа.

Модуляцию GMSK отличают следующие свойства, более предпочтительные 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.

Диаграммы, иллюстрирующие формирование GMSK сигнала, показаны на рис. 5.8.

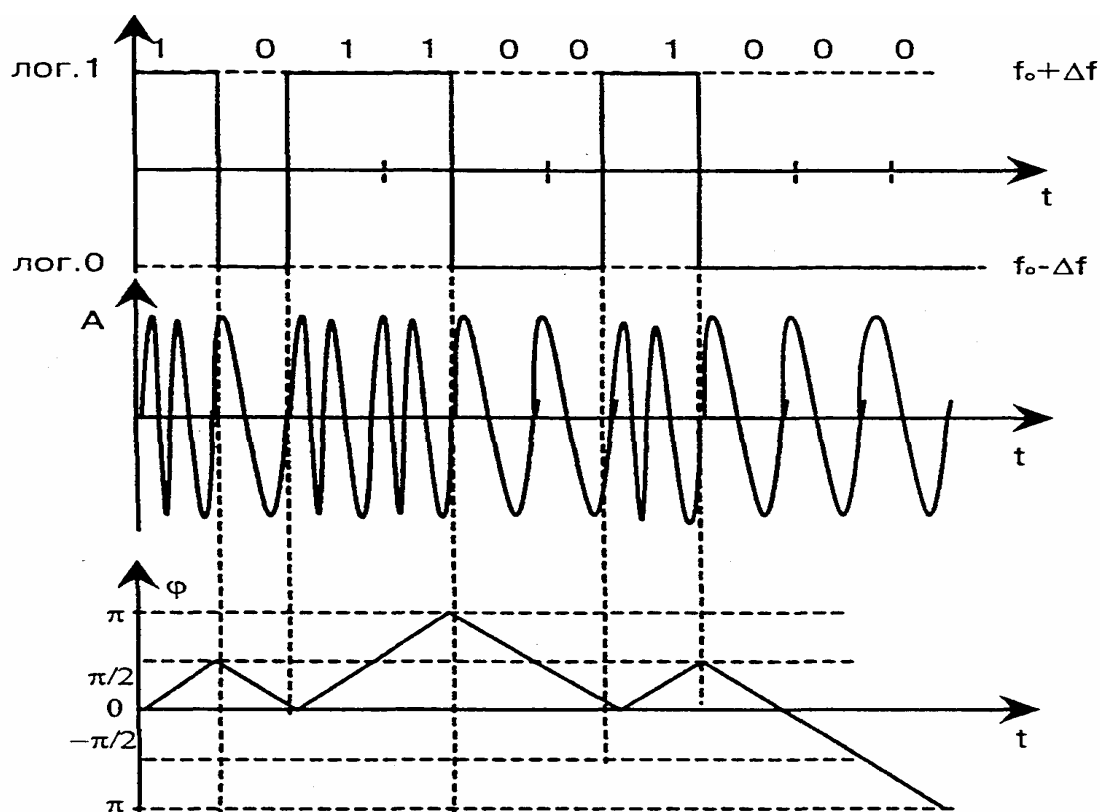


Рис. 5.8

В ССПР GSM используют абонентские станции 1 – 5-го классов с выходной мощностью 20, 8, 5, 2, 0.8 Вт соответственно. При этом станции 1 – 3-го классов устанавливают на транспортных средствах, а 4-го и 5-го представляют собой носимые модели.

6. Цифровые ССПР JDC

В апреле 1989 года Министерство почт и телесвязи Японии организовало исследовательский комитет для разработки технических требований к цифровой ССПР JDC.

При разработке спецификации на цифровую ССПР учитывалось необходимым следующее:

– обеспечение экономии спектра частот за счет применения спектрально-эффективных видов цифровой модуляции, выбора

низкоскоростного высококачественного речевого кодека и улучшения протоколов управления радиоканалами;

- снижение стоимости аппаратных средств системы за счет применения TDMA;

- расширение видов услуг за счет применения архитектуры открытых систем OSI, функционально законченных аппаратных и программных модулей.

Основные технические характеристики ССПР JDC приведены в табл. 2.2. К особенностям JDC следует отнести прямую связь с сетями ISDN, возможность шифрования передаваемых сообщений, применение низкоскоростного речевого кодека VSELP со скоростью преобразования речи 11,2 кбит/с и разноса частотных каналов 25 кГц.

Разработку стандарта и сети JDC выполнила компания NTT. В результате сотовая система обеспечивала:

- взаимодействия с фиксированными сетями связи (PSTN, ISDN);

- взаимодействие подвижных абонентов (терминалов) с абонентами различных сотовых сетей;

- соединение подвижной и фиксированной сетей через простой интерфейс.

Структурная схема сетей связи JDC показана на рис. 6.1 [2, 3].

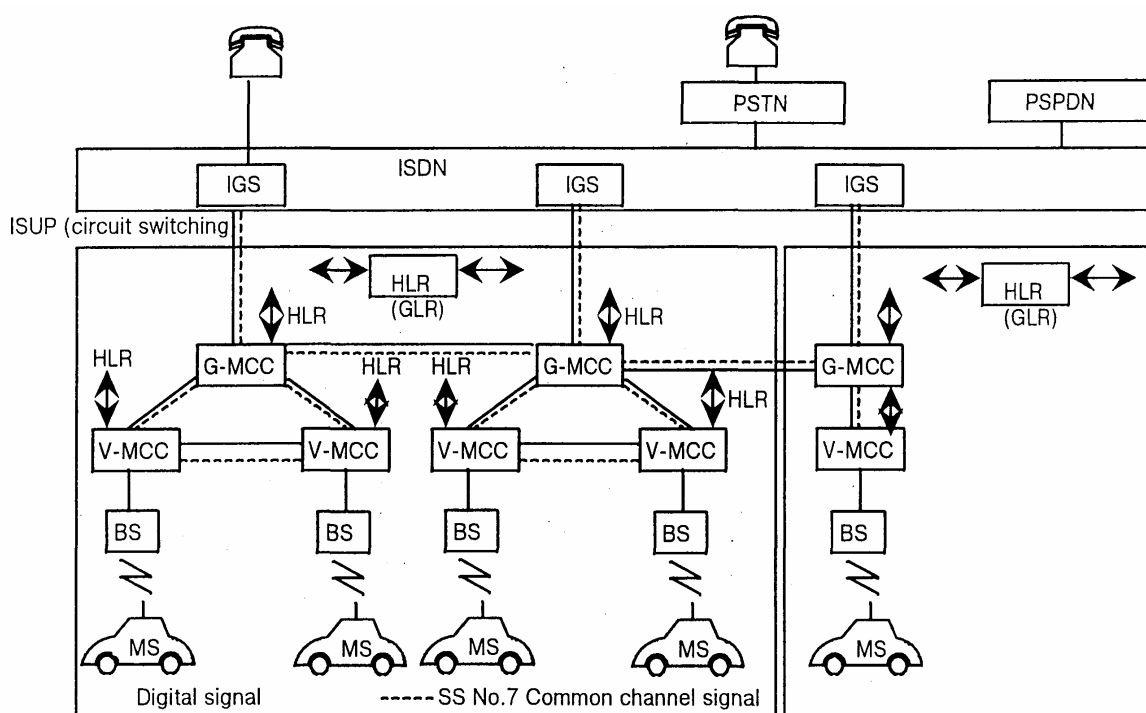


Рис. 6.1

В состав JDC входят три основных функциональных элемента: станция управления подвижной связью (MCC - Mobile Communications Control Station), базовые и подвижные станции.

MCC является аналогом MSC в GSM и включает в себя подсистему управления связью подвижных абонентов и соединения с абонентами фиксированной телефонной сети (G-MCC), подсистему контроля перемещения абонентов (V-MCC), которая обеспечивает регистрацию местоположения абонентов и соединение вызовов, а также регистр положения (HLR), осуществляющий идентификацию подвижных абонентов и регистрацию зоны связи. Между MCC и основными ее элементами используется система сигнализации SS№7.

Передача сообщений и управление связью осуществляются так же, как и в GSM, по каналам связи и управления, которые формируются и передаются на радиоинтерфейс. Полная структура цифровых каналов связи и управления в JDC показана на рис. 6.2 [4]. Назначение каналов аналогично стандарту GSM.

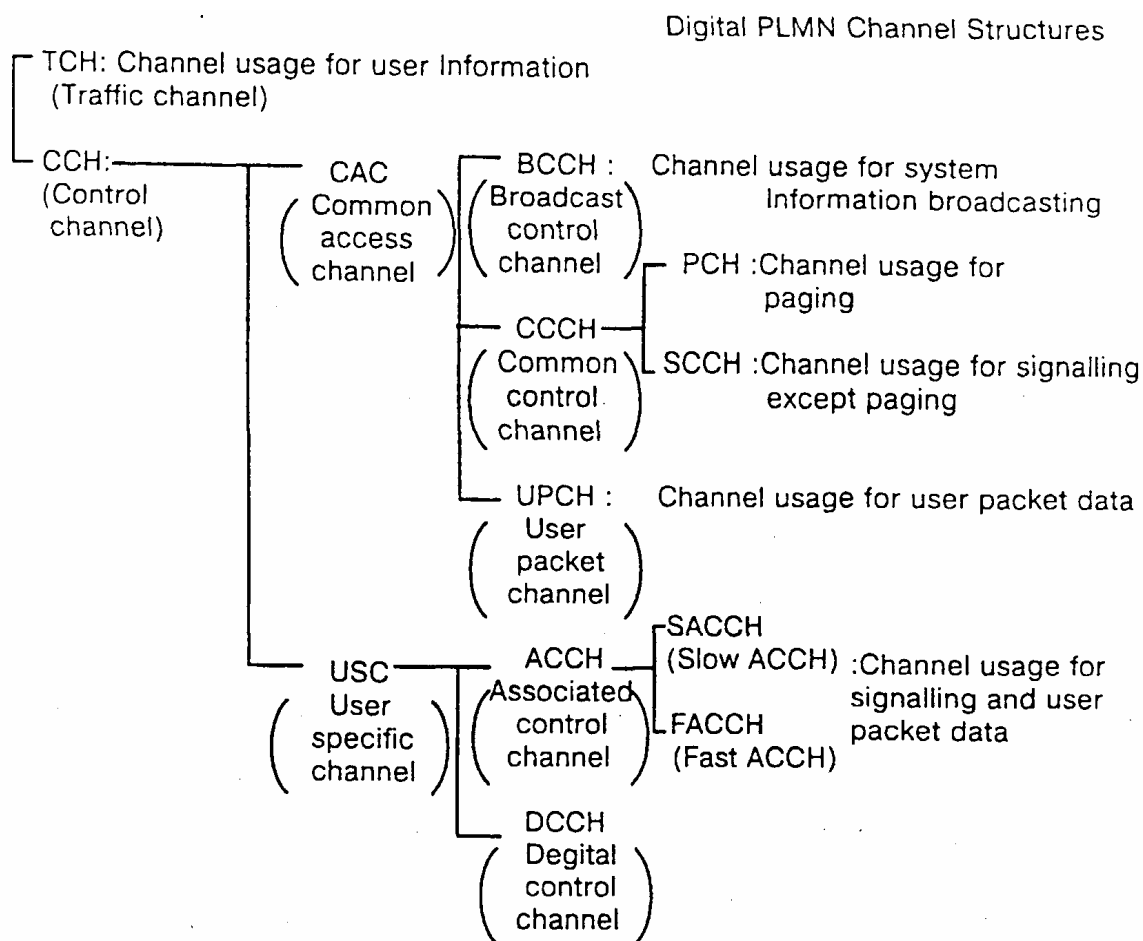


Рис. 6.2

Физический канал в JDC формируется в одном из трех временных окон TDMA-кадра. Структура физического канала в JDC показана на рис. 6.3 [4, 5].

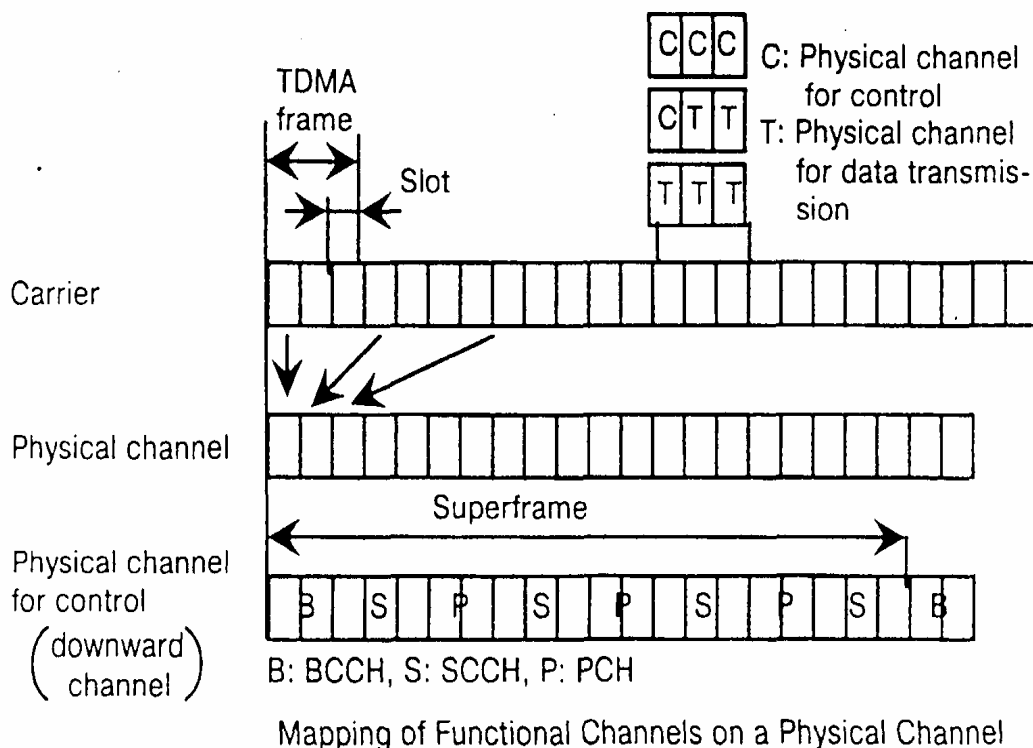


Рис. 6.3

Каналы передачи речевых сообщений и управления объединяются в формате суперкадра (super-frame), структура которого показана на рис. 6.4.

(1) Up ward

R	P	TCH (FACCH)	SW	CC	SF	SACCH (RCH)	TCH (FACCH)	G
4	2	112	20	8	1	15	112	6

(2) Down ward

R	P	TCH (FACCH)	SW	CC	SF	SACCH (RCH)	TCH (FACCH)
4	2	112	20	8	1	21	112

G	:Guard time	SACCH	:SACCH bits
R	:Ramp time	FACCH	:FACCH bits
P	:Preamble	RCH	:House keeping bits
SW	:Synchronization Word	SF	:Steal flag
CC	:Color Code		

Рис. 6.4

7. Цифровой стандарт CDMA

В GSM при DTMA информация физического канала передается в частотных и временных окнах. Аналогично можно заключать информацию в частотные и кодовые окна. При этом осуществляется многостанционный доступ с кодовым разделением каналов CDMA (Code Division Multiple Access), теория которого предложена русским ученым Л.Е. Варакиным.

Принцип работы системы сотовой связи с кодовым разделением каналов можно пояснить на таком примере. Предположим, что вы находитесь в большом ресторане или магазине, где непрерывно разговаривают на разных языках. Несмотря на окружающий шум (многоголосье), вы понимаете своего партнера, если он говорит на одном с вами языке. На самом деле, в отличие от других цифровых систем, которые делят отведенный диапазон на узкие каналы по частотному (FDMA) или временному (TDMA) признаку, в стандарте CDMA передаваемую информацию кодируют и код превращают в шумоподобный широкополосный сигнал так, что его можно выделить снова, только располагая кодом на приемной стороне. При этом одновременно в широкой полосе частот можно передавать и принимать множество сигналов, которые не мешают друг другу.

Замечательное свойство цифровой связи с шумоподобными сигналами – защищенность канала связи от перехвата (intercepting), помех (jamming) и подслушивания (covertness). Именно поэтому данная технология была изначально разработана и использована для вооруженных сил США, и лишь совсем недавно американская компания Qualcomm на основе этой технологии создала стандарт IS-95 и передала его для коммерческого использования.

Основные направления внедрения и использования CDMA - это мобильные сотовые системы связи, спутниковые системы связи и наземные фиксированные беспроводные телефонные сети (СБАД). Наибольшего рыночного успеха добились разработчики именно этих сетей. При этом в сотовых сетях внедрение CDMA сопряжено с определенными техническими трудностями. При быстром перемещении подвижного абонента (скорость автомобиля более 100 км/ч) происходит потеря сигнала из-за появления ошибок в сети вследствие недостаточного быстродействия процессоров, обрабатывающих сигнал. Несмотря на это, многие специалисты в сфере телекоммуникаций полагают, что технология сотовой связи с кодовым разделением каналов CDMA в ближайшие годы нового

столетия вытеснит аналоговые NMT, AMPS и др. и составит серьезную конкуренцию цифровым технологиям GSM.

Центральными понятиями метода многостанционного доступа с кодовым разделением каналов в реализации компании Qualcomm являются расширение спектра методом прямой последовательности (Direct Sequence Spread Spectrum), кодирование по Уолшу (Walsh Coding) и управление мощностью.

В широкополосной системе исходный модулирующий сигнал (например, сигнал телефонного канала) с полосой всего несколько кГц распределяют в полосе частот, ширина которой может быть несколько МГц. Это осуществляется путем двойной модуляции несущей передаваемым информационным сигналом и широкополосным кодирующим сигналом (рис. 7.1).

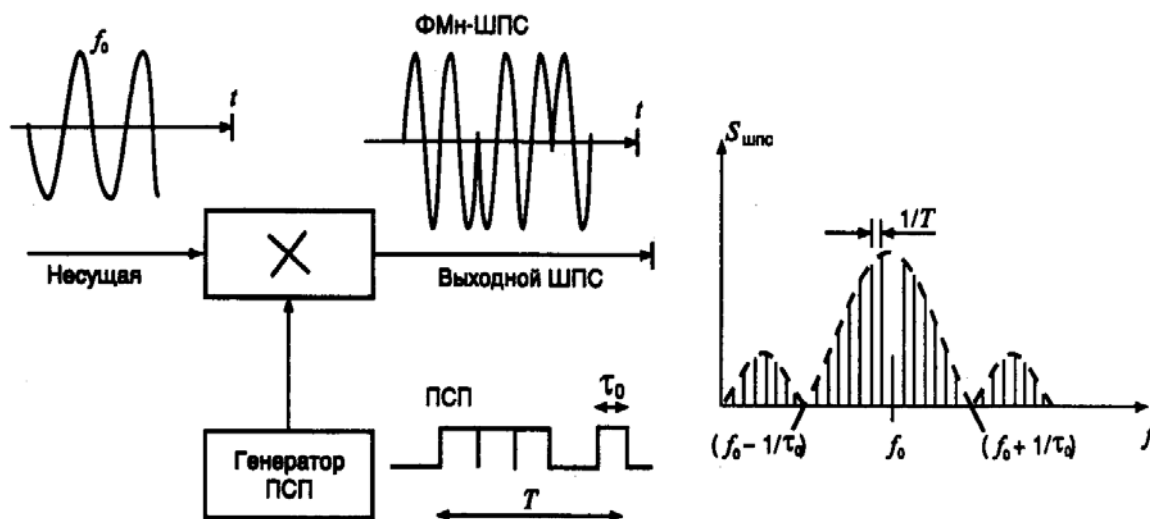


Рис. 7.1

Основной характеристикой широкополосного сигнала является его база B , определяемая как произведение ширины спектра сигнала F на его период T .

Для получения широкополосного шумоподобного сигнала ШПС перед модуляцией несущей накладывают информацию на широкополосную модулирующую кодовую последовательность. Узкополосный сигнал умножается на псевдослучайную последовательность (ПСП) с периодом T , состоящую из N бит длительностью τ_0 каждый. В этом случае база B ШПС численно равна количеству элементов ПСП.

На рис. 7.2 приведена структурная схема, поясняющая принцип работы радиоканала стандарта CDMA.

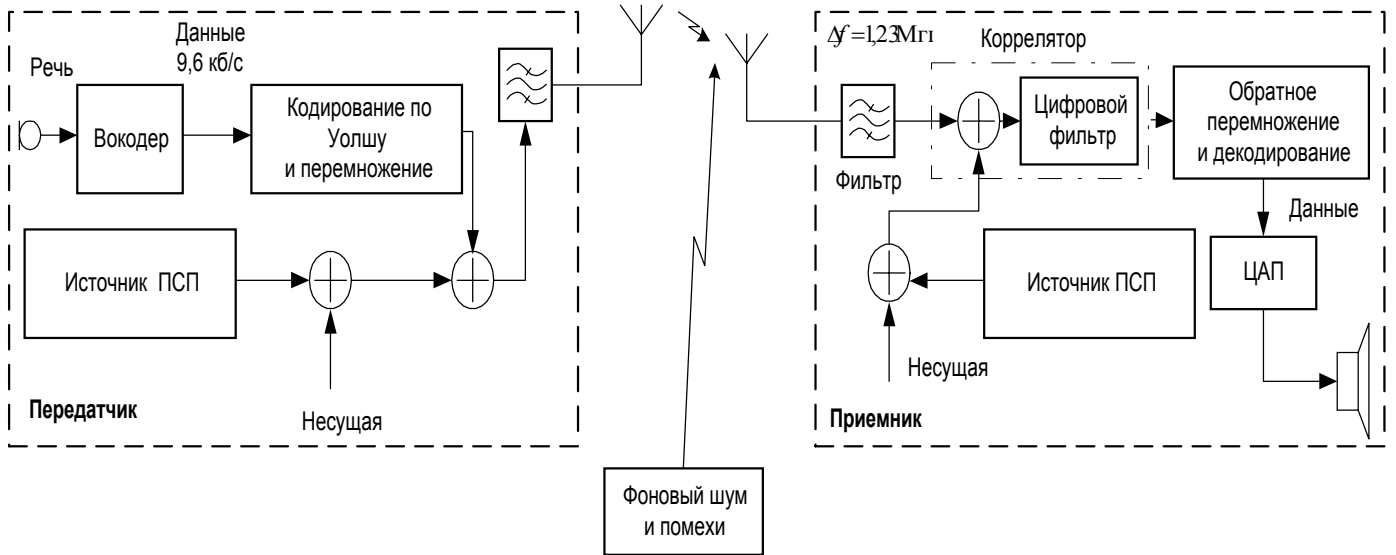


Рис. 7.2

Информационный сигнал кодируется по Уолшу, затем смешивается с несущей, спектр которой предварительно расширяется перемножением с сигналом источника ПСП. Каждому информационному сигналу назначается свой код Уолша. Затем они объединяются в передатчике и пропускаются через фильтр. Полученный шумоподобный сигнал излучается передающей антенной.

На вход приемника поступают полезный сигнал, фоновый шум, помехи от базовых станций соседних ячеек и подвижных станций других абонентов. После ВЧ фильтрации сигнал поступает на коррелятор, где происходит сжатие спектра и выделение полезного сигнала в цифровом фильтре с помощью заданного кода Уолша. Спектр помех расширяется, и они появляются на выходе коррелятора в виде шума. На практике в подвижной станции используется несколько корреляторов для приема сигналов с различным временем распространения в радиотракте или сигналов, передаваемых различными базовыми станциями.

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

Перемножение принятого сигнала и сигнала такого же источника ПСП, который использовался в передатчике, сжимает спектр полезного сигнала и одновременно расширяет спектр фонового шума и других источников интерференционных помех. Результирующий выигрыш в отношении сигнал/шум на выходе приемника есть функция отношения ширины полос широкополосного и базового сигналов: чем больше расширение спектра, тем больше выигрыш. Во временной области – это функция отношения скорости передачи цифрового потока в радиоканале к скорости передачи базового информационного сигнала.

Для стандарта IS-95 отношение составляет 128 раз, или 21 дБ. Это позволяет системе работать при уровне интерференционных помех, превышающих уровень полезного сигнала на 18 дБ, так как на выходе приемника требуется превышение уровня сигнала над уровнем помех всего на 3 дБ. Сигнал при распространении в радиотракте подвергается замираниям вследствие многолучевого характера распространения. В частотной области это явление можно представить как воздействие режекторного фильтра с изменяющейся

шириной полосы режекции (обычно не более чем на 300 кГц). В стандарте AMPS это соответствует подавлению десяти каналов, а в системе CDMA подавляется лишь около 25 % спектра сигнала, что не вызывает особых затруднений при восстановлении сигнала в приемнике.

В стандарте CDMA для кодового разделения каналов используются ортогональные коды Уолша. Их можно использовать для кодирования и последующего объединения ряда информационных сигналов.

Коды Уолша формируются из строк матрицы Уолша:

$$W_L = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Особенность этой матрицы состоит в том, что каждая ее строка ортогональна любой другой или строке, полученной с помощью операции логического отрицания. В стандарте IS-95 используется матрица 64-го порядка. Для выделения сигнала на выходе приемника применяется цифровой фильтр. При ортогональных сигналах фильтр можно настроить таким образом, что на его выходе всегда будет логический ноль, за исключением случаев, когда принимается сигнал, на который он настроен. Кодирование по Уолшу применяется в прямом канале (от базовой станции к абонентскому терминалу) для разделения пользователей.

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

В системах, основанных на других методах доступа, необходимо планировать распределение частотного ресурса между соседними ячейками, чтобы предотвратить взаимное влияние сигналов

соседних ячеек. В системах, использующих метод CDMA, изменяя синхронизацию источника псевдослучайного шума, можно использовать один и тот же участок полосы частот для работы во всех ячейках сети. Такое 100 % использование доступного частотного ресурса – один из основных факторов, определяющих высокую абонентскую емкость сети стандарта CDMA и упрощающих ее организацию.

8. Абонентские станции ССПР

Сотовые радиотелефоны в начале своего развития имели большие размеры и были похожи скорее на радиостанции, чем на телефоны. Но с каждым годом они все более совершенствовались: уменьшались их размер и вес, улучшался дизайн, снижалась стоимость, перед пользователями открывались все новые и новые возможности подвижной связи. На рис. 8.1 показано, например, как со временем изменялись некоторые параметры радиотелефонов.

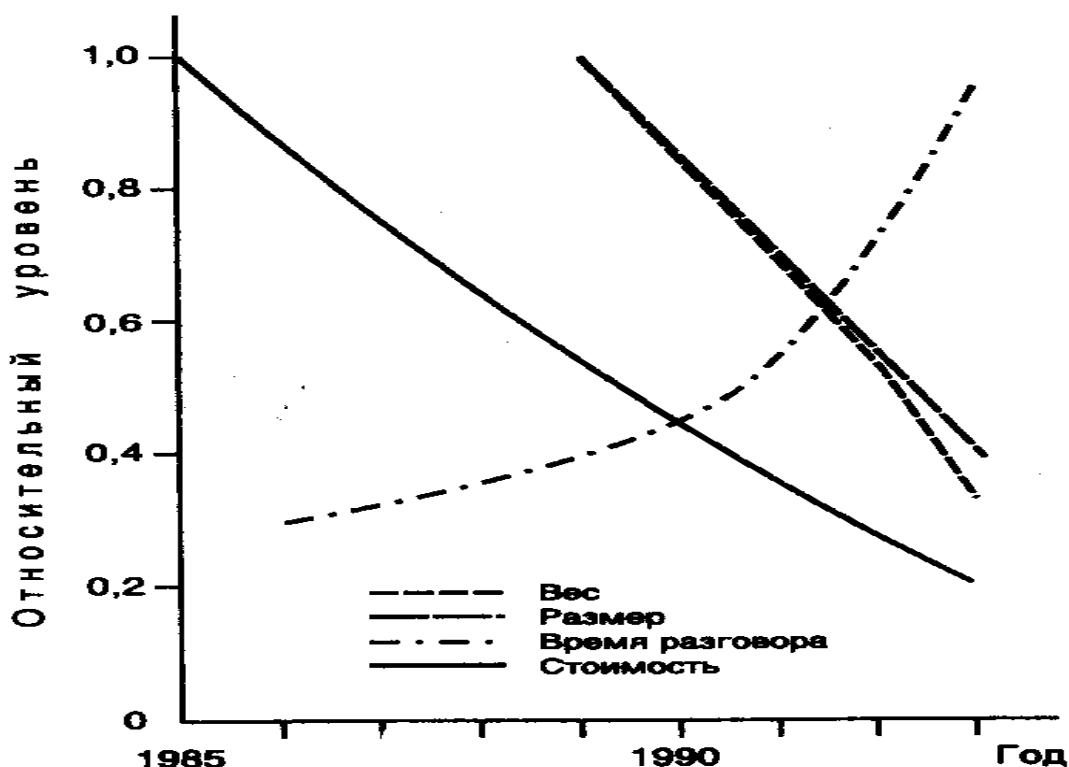


Рис. 8.1

Структурные схемы аналоговых и цифровых радиотелефонов показаны на рис. 8.2, 8.3, а технические данные их некоторых моделей – в табл. 8.1 – 8.5.

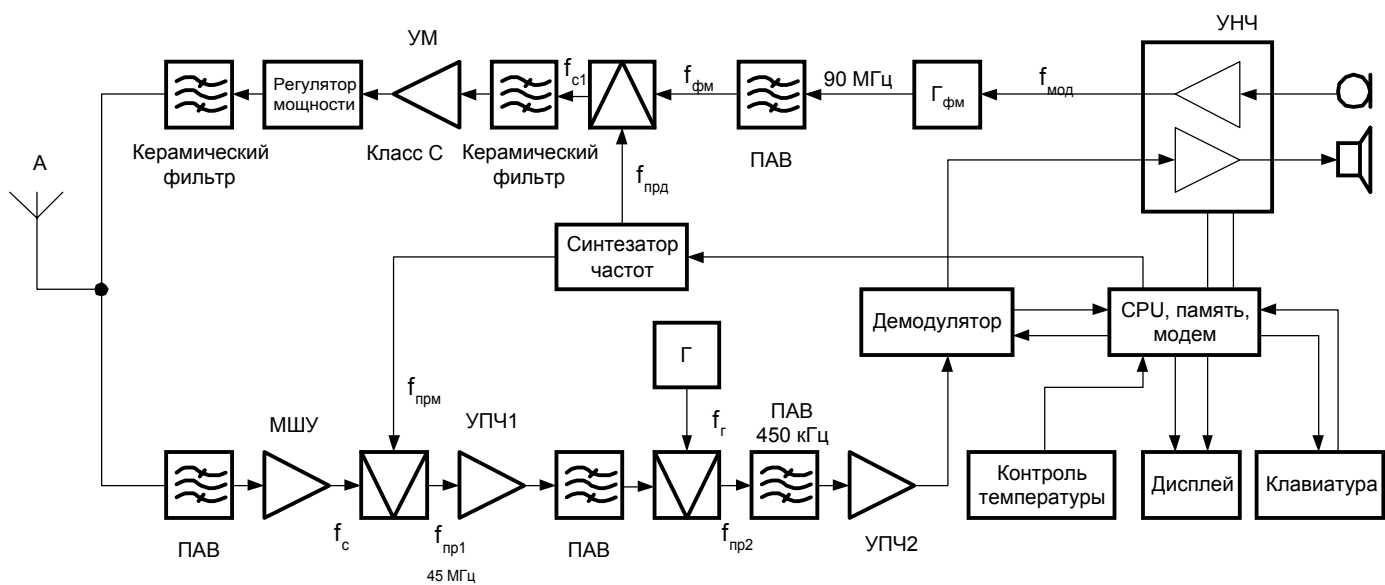


Рис. 8.2

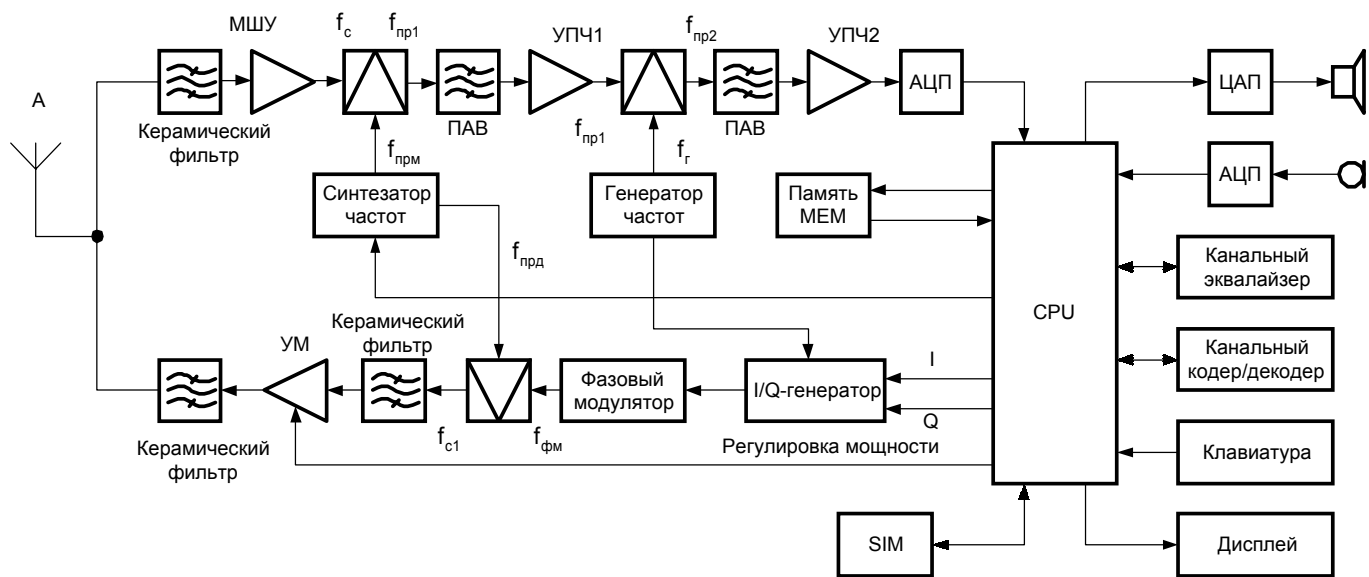


Рис. 8.3

Таблица 8.1

Производитель	BENEFON	ERICSSON	ERICSSON	ERICSSON
Модель	VEGA	GA 628	GH 688	GF788/788e
Тип SIM-карты	Plug in	Plug in	Plug in	Plug in
Размеры, мм	145*56*23	130*49*28	130*49*23	105*49*24
Вес, г	190	215	160	135
Память телефона	0	50	99	99
Дисплей, строк/знаков	3/16	1	3/12	1/10
Тип батареи/ емкость, мА/ч	NiMH /850	NiMH/1000	NiMH/500	NiMH/650
Режим разговора, ч	2	5	2,5	3
Режим ожидания, ч	120	83	42	60
Факс/данные	да/да	да/да	да/да	да/да
SMS прием/передача	да/да	нет/нет	да/да	да/да
Особенности	будильник	сменные панели	–	новое ПО

Таблица 8.2

Производитель	ERICSSON	MOTOROLA	MOTOROLA	MOTOROLA
Модель	GF 768	d160	d250	StarTAC
Тип SIM-карты	Plug in	Plug in	Plug in	Standard
Размеры, мм	105*49*23	159*58*30	140*50*27	98*57*23
Вес, г	135	235	170	110
Память телефона	99	0	0	100
Дисплей, строк/знаков	1/10	2/12	2/12	4/12
Тип батареи/ емкость, мА/ч	NiMH/650	NiMH/1000	NiMH/1000	Li-Ion/1000
Режим разговора, ч	3	3	3	2,5
Режим ожидания, ч	60	70	60	35
Факс/данные	да/да	да/да	да/да	да/да
SMS прием/передача	да/да	нет/нет	да/да	да/да
Особенности	4 цвета корпуса	–	–	вибровывозов

Таблица 8.3

Производитель	NOKIA	NOKIA	NOKIA	NOKIA
Модель	6110	8110 8110i	8810	9110i
Тип SIM-карты	Plug in	Standard	Plug in	Plug in
Размеры, мм	130*47*28	141*48*25	107*46*18	158*56*27
Вес, г	137	152	98	249
Память телефона	50	50	250	4Mb
Дисплей, строк/знаков	4/16	4/13	5/14	5/16+80*24
Тип батареи/ емкость, мА/ч	Li-Ion/900	Li-Ion/900	Li-Ion/400	Li-Ion/1100
Режим разговора, ч	5	5	1	6
Режим ожидания, ч	270	150	60	до 200
Факс/данные	да/да	да/да	да/да	да/да
SMS прием/передача	да/да	да/да	да/да	да/да
Особенности	ИК-порт	Internet	ИК-порт	Communic

Таблица 8.4

Производитель	PANASONIC	PANASONIC	PHILIPS	PHILIPS
Модель	G 520	G 600	GENIE	DIGA
Тип SIM-карты	Plug in	Standard	Plug in	Standard
Размеры, мм	140*46*20	132*45*18	110*54*20	147*56*19
Вес, г	152	129	95	159
Память телефона	0	0	0	0
Дисплей, строк/знаков	3/16	3/16	5/15	1/12
Тип батареи/ емкость, мА/ч	Li-Ion/ Standard	Li-Ion/ Standard	Li-Ion/400	Li-Ion/400
Режим разговора, ч	3	3	1	1
Режим ожидания, ч	80	80	55	36
Факс/данные	да/да	да/да	да/да	нет/нет
SMS прием/передача	да/да	да/да	да/да	да/да
Особенности	–	запись голоса	набор голоса	–

Таблица 8.5

Производитель	SAGEM	SIEMENS	SIEMENS	SONY
Модель	RD 850	S35i	S40	CMD-X2000
Тип SIM-карты	Plug in	Plug in	Plug in	Plug in
Размеры, мм	132*50*21	118*46*21	112*44*22	147*46*26
Вес, г	126	99	97	185
Память телефона	200	50	1000	50
Дисплей, строк/знаков	2/12	7/16	6/16	5/16
Тип батареи/ емкость, мА/ч	Li-Ion/1000	Li-Ion/600	Li-Ion/600	Li-Ion/1800
Режим разговора, ч	3	6	6	10
Режим ожидания, ч	160	220	260	100
Факс/данные	да/да	да/да	да/да	да/да
SMS прием/передача	да/да	да/да	да/да	да/да
Особенности	Easy Message	запись голоса	запись голоса	Jog Dial

Общими особенностями абонентских радиотелефонов (см. рис. 8.2, 8.3) являются приемники с двумя преобразованиями частоты и ПАВ-фильтрами в трактах усилителей промежуточных частот, построение передающих трактов по интерполяционной схеме с опорным и модулированным колебаниями частот $f_{прд}$ и $f_{фм}$, наличие общего для приемника и передатчика синтезатора сеток стабильных частот $f_{прд}$ и $f_{прм}$, микроконтроллерное управление синтезаторами и устройствами шумоподавления, присутствие в качестве цифровой периферии дисплеев и клавиатур.

Цифровые радиотелефоны отличаются от аналоговых применением более multifunctional контроллеров, аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей, керамических фильтров не только на выходах передатчиков, но и на входах приемников.

9. Нестандартные применения ССПР

Первоначально ССПР разрабатывались для обеспечения подвижных и стационарных абонентов речевой связью. При этом основные усилия разработчиков были направлены на увеличение числа пользователей при ограниченном частотном диапазоне,

расширение покрытия территории радиосвязью, повышение качества связи, миниатюризацию и дизайн абонентских станций и на другие подобные вопросы.

Однако со временем, когда основная часть вопросов была решена, радиоканалы ССПР стали использоваться для передачи неречевой информации и обеспечения дополнительных несвязных услуг. Ниже приведены некоторые примеры нестандартного использования ССПР, описанные в работе [4].

Мобильный кассир

Сотрудники японской сотовой компании KDDI задумали оставить без работы театральные кассиров. Они решили доставлять билеты в виде штрих-кода прямо на мобильные станции и обещают приступить к полномасштабной реализации такой услуги. Контроллер зрелищного учреждения сможет считать его специальным сканером, который в экстренном порядке принялась выпускать Hitachi.

Почерк по телефону

Недавно в модельном ряду Samsung появился CDMA телефон SCH-i201. Эта мобильная станция работает с операционной системой PAIM и поддерживает многие новомодные функции. Например, он без труда распознает английский текст, написанный от руки прямо на дисплее аппарата. При желании можно нарисовать какую-нибудь небольшую схему (как пройти в библиотеку и т.д.), которую несложно отправить по протоколу SMS или электронной почтой в качестве прикрепленного файла. В трубке реализована функция голосового управления, есть калькулятор, часы, будильник, записная книжка на 1000 ячеек и вибровывоз.

Сотовая автонавигация

Британский сотовый оператор Vodafone переключился на автомобили. Недавно эта компания изъявила желание оснащать новые форды системами связи и навигации. Они позволят водителям в оперативном режиме получать информацию о состоянии дорог, пробках, а в случае необходимости связываться со службами экстренной помощи. Экспериментальная партия автомашин поступила в продажу в Британии и Германии во втором квартале 2001 года.

Эра мобильной фотографии

Идея передачи фотоснимков с помощью средств мобильной связи находит все большее распространение. Две фирмы-гиганта – Siemens и Kodak решили попробовать свои силы на этом поприще. В ближайшее время компании собираются представить свои наработки, применение которых позволит сотовым операторам внедрить новую услугу “фотокамера-телефон”. Через специальную службу Photonet Online, созданную Kodak, владельцы мобильных телефонов получают доступ услуг мобильной фотографии. Пользователи смогут быстро пересылать свои фотоснимки друзьям, обмениваться фотографиями из интеллектуальных альбомов.

Дистанционная медицина

Немецкая фирма выпустила сотовые телефонные трубки, у которых на задней стенке размещены четыре электрода. Приложив эти электроды к груди, и нажав кнопку, пользователь передает тщательно записанную кардиограмму в стационарный консультативный пункт. По этой же трубке он связывается с специалистами-кардиологами и получает медицинское заключение о состоянии своего здоровья.

Музыкальный телефон

Выпуск новой модели Videophone от Sanyo ознаменовал новый этап в развитии сотовых телефонов. В корпусе компактного мобильного телефона объединены видеокамера, MP3-плеер и GPS-приемник. В аппарате удачно сочетаются универсальность и качество.

Приведенные примеры применений ССПР показывают, что функциональные возможности таких “транспортных” средств для передачи информации без проводов далеко не полностью востребованы на данное время. В связи с тем, что аппаратура ССПР, как средств радиосвязи, имеет достаточно высокий уровень развития, основные перспективы совершенствования ССПР связаны именно с расширением сферы услуг и выполняемых функций этих радиосистем.

Глоссарий

БС – базовая станция

МСБТ – микросотовая система беспроводной телефонии

ПСП – псевдослучайная последовательность

ПСПР – профессиональная система подвижной радиосвязи

СБАД – система беспроводного абонентского доступа

СПР – система персонального радиовызова

ССПР – сотовая система подвижной радиосвязи

ШПС – псевдослучайный сигнал

AMPS – Advanced Mobile Phone Service – мобильная телефонная служба

BCCH – Broadcast Control Chanel – канал управления передачей

CDMA – Code Division Multiple Access – кодовое разделение каналов

DCA – Dinamic Chanel Allocation – динамическое разделение каналов

DCS – Digital Cellular Sistem - цифровая сотовая система

FDMA – Frequency Division Multiple Access – частотное разделение для смежных сот

GSM – Groupe Special Mobile – группа экспертов подвижной связи

GSM – Global Sistem of Mobile Communication – глобальная система мобильной связи

HS – HandSet – ручной телефон

ISDN – Integrated Services Digital Network – цифровая сеть с интеграцией услуг

MAP – Mobile Application Part – подсистема мобильной связи

MS – Mobile Station – мобильная станция

NMT – Nordic Mobile Telephone – скандинавская мобильная телефонная сеть

PCM – Pulse Code Modulation – импульсно-кодовая модуляция

PMR – Professional Mobile Radio – профессиональные системы радиосвязи

PCS – Personal Communication Services – служба персональной связи

RACH – Random Access Channel – канал произвольного доступа

TACS – Total Access Communications System – система связи общего доступа

JDC – Japanese Digital Cellular – японская цифровая сеть

Библиографический список

1. Шелухин О.И., Хизгилов В.А., Чивилев С.В. Системы радиодоступа / Под ред. О.И. Шелухина. – М.: ГАСБУ, 1998. – 116 с.
2. Сухопутная подвижная радиосвязь. В 2 т. / И.М. Пышкин, И.И. Дежурный, Н.В. Репин и др. – М.: Радио и связь, 1990. – Т. 2. – 346 с.
3. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. – М.: Эко-Трендз, 1997. – 238 с.
4. “Russian Mobile” / Журнал для пользователей средств связи и ИНТЕРНЕТа. – СПб. – 2001. – 134 с.
5. Карташевский В.Г., Семенов С.Н., Фирстова Т.В. Сети подвижной связи. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 300 с.
6. Невдяев Л.М. Мобильная связь 3-го поколения / Под ред. Ю.М. Горностаева. – М.: МЦНТИ, 2000. – 208 с.
7. Ратынский М.В. Основы сотовой связи / Под ред. Д.В. Зимина. – 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Радио и связь, 2000. – 248 с.
8. Тамаркин В.М., Сергеев В.И., Невдяев Л.М. Перспективные системы и стандарты транкинговой связи // Сети и системы связи. – 1997. – №2. – С. 45 – 47.
9. Толмачев Ю.А. Глобальная подвижная персональная спутниковая связь // Технологии и средства связи. – 1997. – №1. – С. 34 – 35.
10. WAP расширяет возможности мобильной связи // Сети и системы связи. – 1999. – №10. – С. 64 – 66.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Классификация наземных средств радиосвязи.....	1
2. Общие сведения о ССПР	5
2.1. Хронология развития ССПР.....	5
2.2. Территориальная организация ССПР.....	10
2.3. Частотная организация ССПР	12
2.4. Способы борьбы с системными помехами ССПР	12
2.5. Основные процедуры ССПР	15
3. ССПР стандарта NMT	19
4. ССПР стандарта AMPS.....	23
5. Цифровые ССПР стандарта GSM.....	28
5.1. Структура ССПР GSM	28
5.2. Организация каналов ССПР GSM	37
5.3. Основные показатели и модуляция сигналов ССПР GSM.....	42
6. Цифровые ССПР JDC	44
7. Цифровой стандарт CDMA.....	48
8. Абонентские станции ССПР	53
9. Нестандартные применения ССПР	57
Глоссарий.....	60
Библиографический список	61