

Архитектура и основные функции протоколов сети UMTS

Пример мультиплексирования при формировании речевого фрейма. Услуги голосовой связи реализованы в UMTS при скорости передачи данных 12.2 кбит/с. При этом на MAC-уровне происходит отображение двух логических каналов на два выделенных транспортных канала: выделенный канал трафика DTCH и выделенный канал управления DCCH. Каждые 20 мс транспортный блок из 244 бит пользовательских данных отображается на первый транспортный канал, а каждые 40 мс транспортный блок из 100 бит пользовательских данных – на второй.

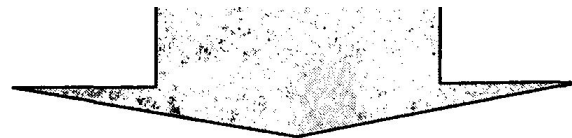
Канальное кодирование и согласование скорости передачи при формировании обоих выделенных каналов имеют одинаковые параметры, так что оба они могут быть мультиплексированы в одном и том же CСТrCH. При этом ни мультикодирование, ни мультислотовая передача не нужны: выделенный физический канал только один.

Процедура мультиплексирования транспортных каналов при формировании радиофрейма речевого сообщения в режимах частотного (FDD) и временного (TDD) дуплекса показана на рис. 6.20 (а) и (б), соответственно [17, 18]. Численные значения параметров каналов и речевого фрейма приведены в табл. 6.6.

Пример: передача речи в транспортном канале со скоростью 12.2 кбит/с

Параметр	DTCH ⇒ DCH	DCCH ⇒ DCH
Число транспортных каналов	1	2
Размер транспортного блока	244 бит	100 бит
Интервал передачи	20 мс	40 мс
Метод исправления ошибок	Сверточный код	Сверточный код
Скорость кода	1/3	1/3
Параметр согласования по скорости	256	256
Размер CRC	16 бит	12 бит
Положение транспортного канала в пределах радиотрейма	Фиксированное	Фиксированное

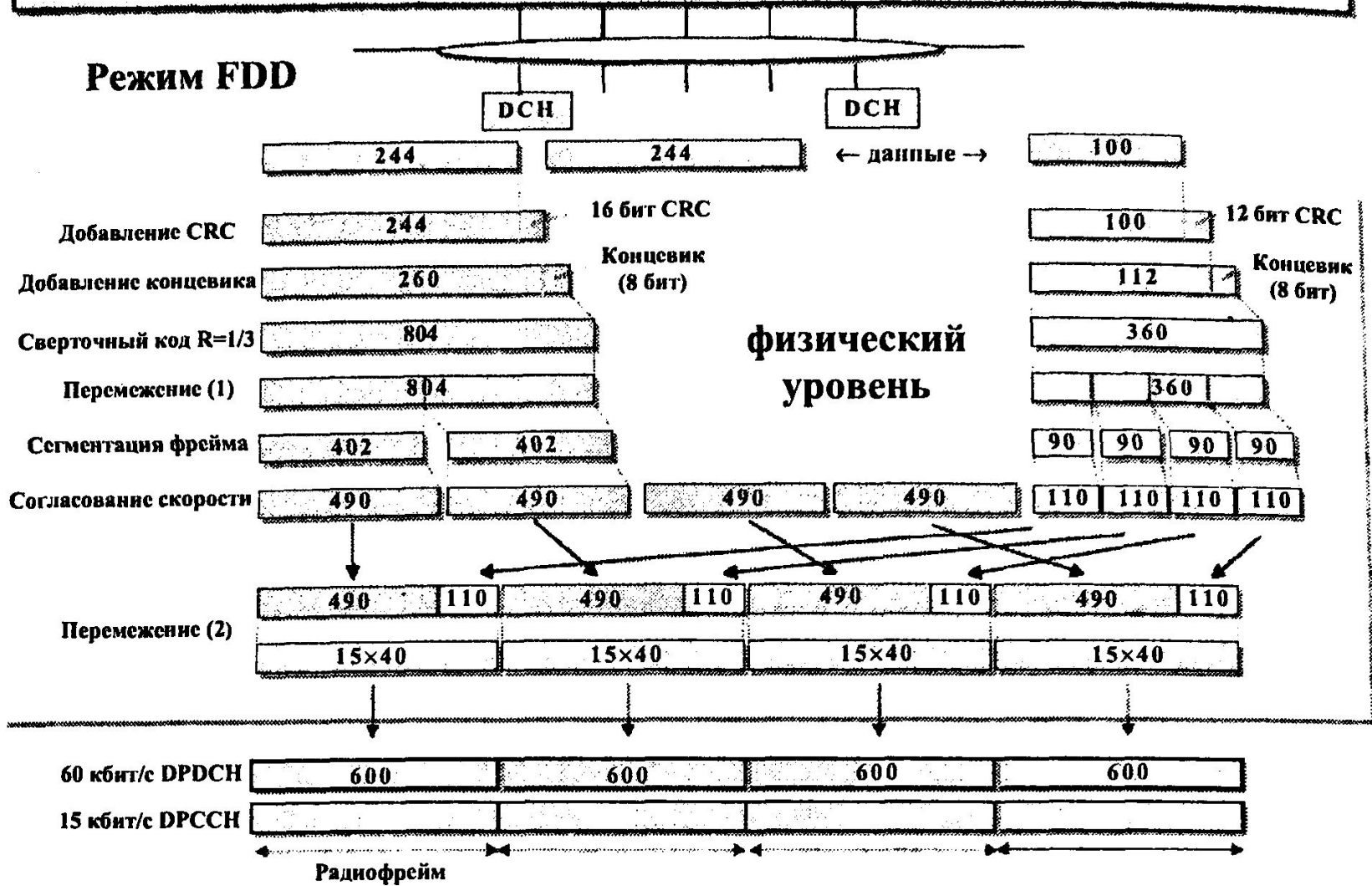
физический уровень



Параметр	TDD	FDD
Скорость передачи информации [кбит/с]	12.2	12.2
Скорость передачи в DPDCH [кбит/с]	48.8	60
Скорость передачи в DPCCCH [кбит/с]	2	14
Коэффициент расширения спектра	8	64
Интервал перемежения	20 мс	20 мс
TFCI	16 бит/пользователя	есть
Процент на перфорирование DCH/DCCH	5% / 0%	0%
Процент повторенных передач	0%	23%

Medium Access Control (MAC)

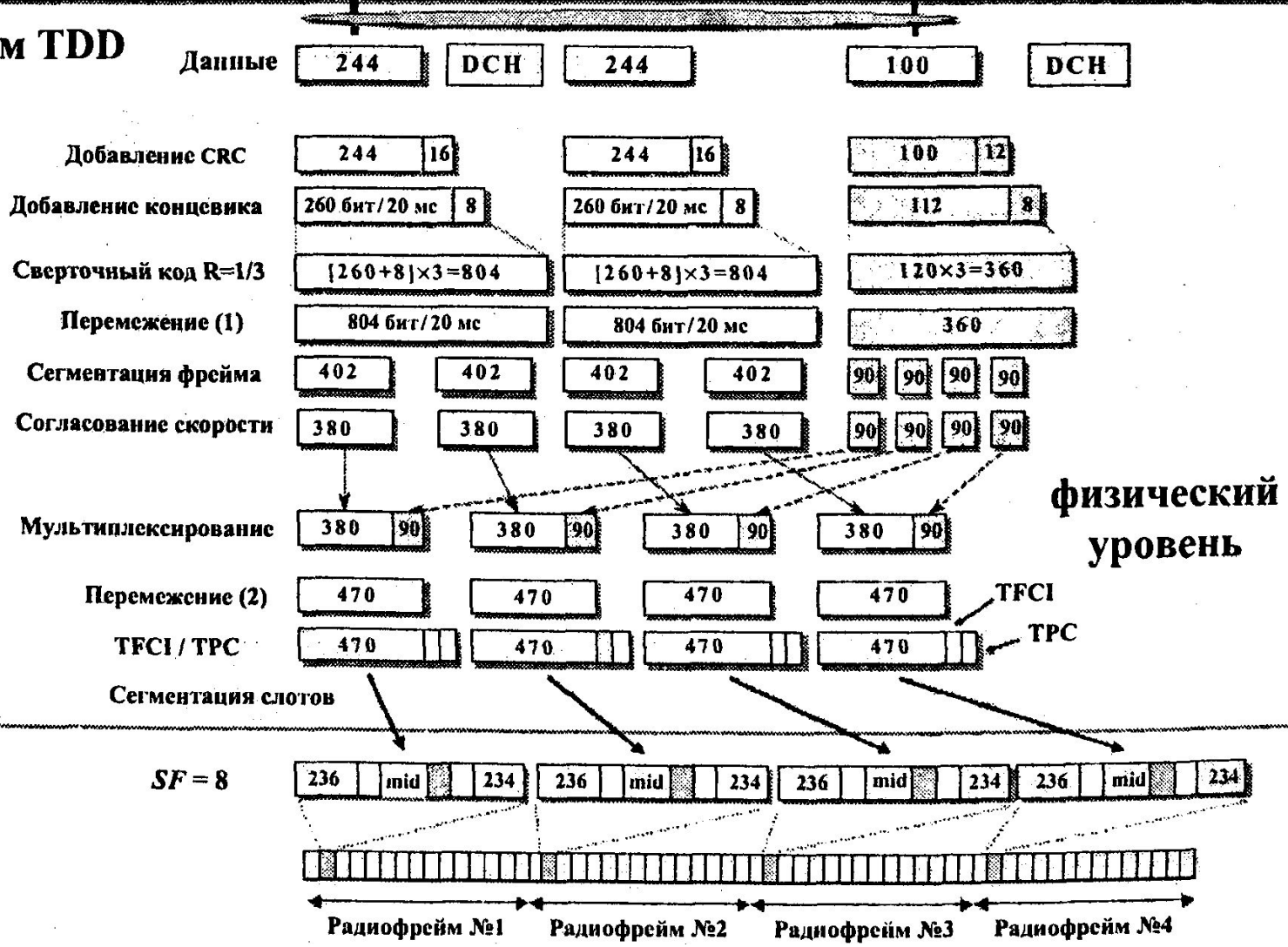
Режим FDD



Мультиплексирование транспортных каналов и формирование радиофрейма при передаче речевого сообщения в режимах FDD и TDD

Medium Access Control (MAC)

Режим TDD



(6)

$SF = 8$

Процедуры физического уровня в системе UMTS

К процедурам физического уровня в сети UMTS относят процедуры вызова и случайного доступа, синхронизацию, управление мощностью передатчика, передачу обслуживания в другую соту (сектор) (эстафетную передачу), и некоторые другие [8, 19]. Рассмотрим кратко основные процедуры из вышечисленного.

Синхронизация и поиск соты в WCDMA

Стремясь по возможности удешевить оборудование UMTS, ее разработчики отказались от привязки сети к единому времени, характерной для системы cdmaOne. Асинхронный режим, поддерживаемый стандартом WCDMA, стал одним из важных отличий от cdma2000, где предполагается наличие внешней синхронизации для всех базовых станций. Источником точного времени здесь могут быть сигналы GPS, что позволяет мобильной станции использовать для различения соседних БС временные сдвиги одного и того же скремблинг-кода.

В асинхронной сети каждая базовая станция имеет свою независимую шкалу времени, а мобильная станция не располагает предварительной информацией об относительной разнице распространения сигнала между разными БС. Преимущество асинхронной системы состоит в отсутствии необходимости синхронизации всех БС с помощью единого внешнего источника точного времени.

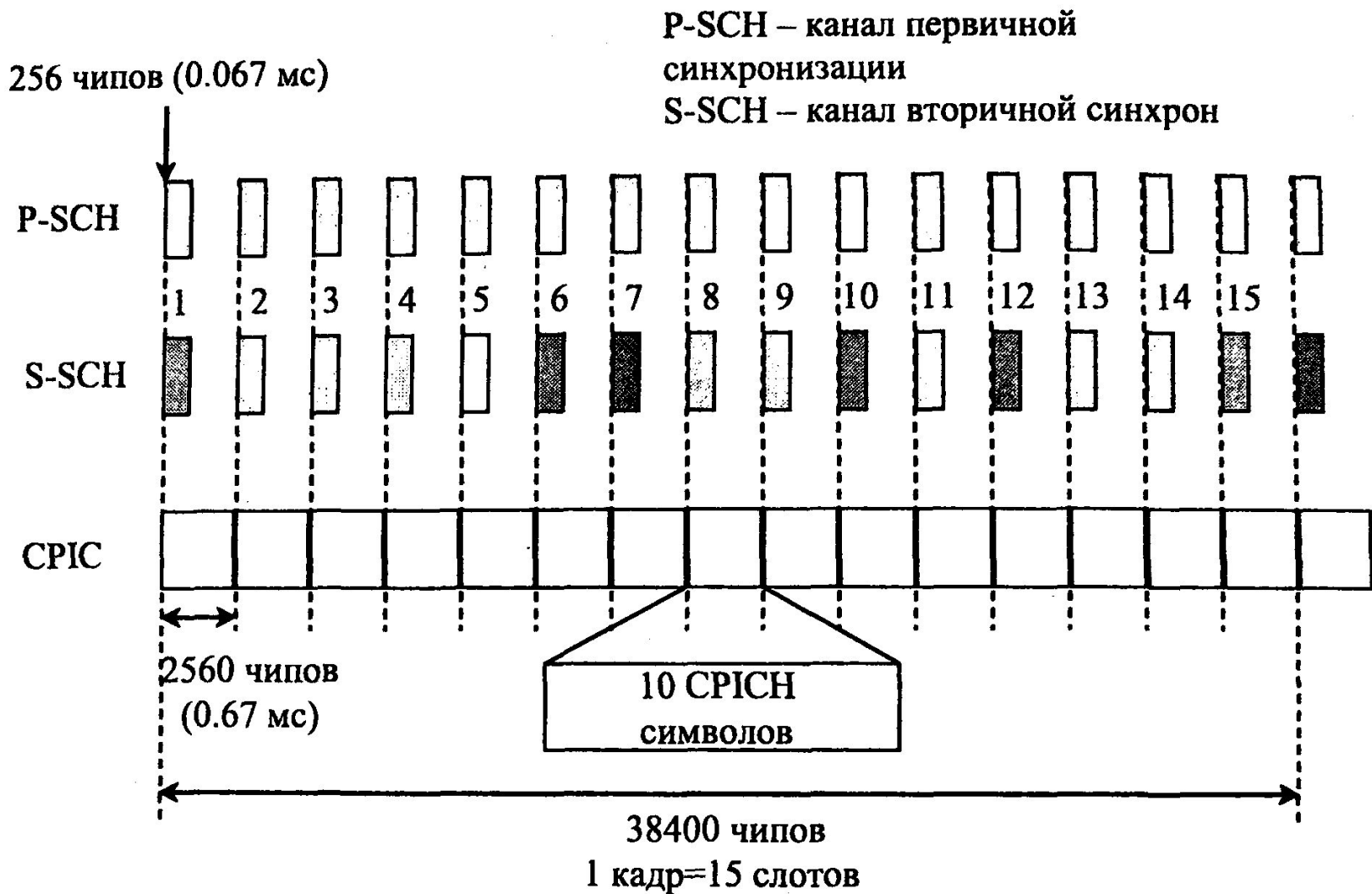
Каналы синхронизации в UMTS. Каналу синхронизации SCH в системной архитектуре UMTS отводится ключевая роль. Этот канал, создаваемый в нисходящей линии, используется при инициализации МС в сети, поиске соты и для определения границ кадров (слотов), передаваемых базовой станцией. Канал SCH реализуется как совокупность пары синхронизирующих каналов: первичного канала (Primary) P-SCH и вторичного (Secondary) S-SCH [10]. Оба эти канала используются базовой станцией для передачи синхропоследовательности для МС. Передаваемые в этих каналах сигналы не подвергаются перемножению с каналообразующим кодом или скремблированию, поскольку этап инициализации имеет место до того, как МС получит сведения о скремблирующем коде конкретной БС, применяемом в данной зоне обслуживания.

Каналы P-SCH и S-SCH всегда занимают начальные 256 чипов каждого слота. Первичный SCH формируется в виде немодулированной посылки из усеченного кода Голда длиной 256 чипов, передаваемого единожды на протяжении временного интервала длиной 2560 чипов. Синхрокод канала P-SCH одинаков для всех базовых станций сети. Поэтому, выполняя поиск сигнала, МС не имеет возможности выбора той или иной БС: то, с которой из них удалось войти в контакт, выясняется только после завершения процедуры синхронизации. Захват синхросигнала канала P-SCH позволяет МС определить границы отдельных слотов, но не границы кадра [19].

Вторичный канал синхронизации S-SCH используется для передачи одной из 15 различных последовательностей (по одной в каждом слоте) для разных кодовых групп, повторяющихся после каждого кадра. Эти последовательности используются при идентификации кодовой группы.

Третий участвующий в процедуре синхронизации общий пилот-канал CPICH служит для передачи по линии «вниз» общих пилот-символов, скремблированных кодом базовой станции. Каждый из слотов канала CPICH содержит 10 символов протяженностью по 256 чипов каждый.

Структура слотов и кадров (фреймов) трех типов каналов синхронизации, используемых при поиске соты в системе WCDMA, показана на рис. 6.21.



Каналы синхронизации, используемые при выполнении процедуры поиска соты в системах стандарта WCDMA

Синхрокоды и их назначение. Первичный синхронизирующий код – *primary synchronization code* (PSC) [16], в спецификации UMTS определяется как двоичная последовательность длиной 256 чипов, формируемая путем 16-кратного повторения последовательности a длиной 16 элементов:

$$a=(1,1,1,1,1,1, -1, -1,1, -1,1, -1,1, -1, -1,1),$$

в соответствии с шаблоном

$$C_{PS}=(a,a,a, -a, -a,a, -a, -a,a,a,a, -a,a, -a,a,a).$$

Вторичный синхрокод также имеет длину 256 элементов и строится на основе 16-элементной последовательности, совпадающей с a в первых восьми символах, и с ее инверсией – в оставшихся:

$$b=(1,1,1,1,1,1, -1, -1, -1,1, -1,1, -1,1,1, -1),$$

в соответствии с шаблоном

$$C_{SS}=\{b,b,b, -b,b,b, -b, -b,b, -b,b-b, -b, -b, -b, -b\},$$

после чего поэлементно перемножается с каждой 16-й строкой матрицы Адама-ра размерности 256.

Полученные таким образом 16 ортогональных векторов длиной 256 являются алфавитом для построения 64-х 16-ичных кодовых слов длины 15. Каждое из таких кодовых слов используется затем в качестве вторичного синхросигнала.

Такой алгоритм построения синхрокода имеет целью обеспечить как можно меньший уровень взаимной корреляции между циклическими сдвигами различных вторичных синхросигналов, а также наименьшие боковые пики автокорреляционной функции каждого конкретного вторичного синхросигнала.

С целью упрощения процедуры поиска соты скремблинг-коды объединены в кодовые группы. Число скремблинг-кодов фиксировано и равно 512. Количество же самих кодовых групп может быть различным – от 32 до 256. Так, если на втором этапе выполнения алгоритма поиска соты используются 32 кодовых группы, число альтернативных скремблинг-кодов, определяемых на третьем этапе, составляет 16 ($32 \text{ кодовые группы} \times 16 \text{ кодов в каждой группе} = 512 \text{ кодов}$). Аналогично, если используются 64 кодовых группы, в группе будет по 8 кодов ($64 \text{ кодовые группы} \times 8 \text{ кодов в группе} = 512 \text{ кодов}$).

Алгоритм поиска соты. При отсутствии внешней синхронизации различение базовых станций путем использования разных временных сдвигов одного и того же скремблинг-кода невозможно. Поэтому в асинхронной системе WCDMA смежные базовые станции идентифицируются за счет применения разных скремблинг-кодов. Как следствие, поиск соты в асинхронной системе занимает более длительный период времени, чем в синхронной. Он, кроме того, усложняется наличием непреднамеренных помех от других мобильных станций.

Каждая сота в сети UTRA идентифицируется за счет применения в ней своего скремблинг-кода, из которого формируется фрейм длиной 38 400 чипов и который, в свою очередь, разбивается на 15 слотов по 2560 чипов. Поиск соты осуществляется как непосредственно при включении мобильной станции (поиск первичной соты), так и в процессе ее работы (целевой поиск соты). Последний осуществляется при поиске кандидатных сот для осуществления хэндовера (передачи обслуживания). При целевом поиске МС получает из сети список и скремблинг-коды соседних сот, что заметно упрощает процедуру поиска соты в целом. Решение о выборе новой соты МС принимает по стандартизированным критериям.

Процесс взаимной синхронизации МС и БС реализуется в несколько этапов [20], на протяжении которых осуществляется:

- слотовая синхронизация;
- кадровая («пофреймовая») синхронизация и идентификация кодовой группы;
- идентификация применяемого скремблинг-кода;
- синхронизация по частоте;
- идентификация соты.

Первоначальная синхронизация МС и сети начинается в момент включения питания мобильного терминала и состоит из трех этапов.

1. Сразу после включения МС начинает поиск первичного синхросигнала, модулированного первичным кодом синхронизации. Эта последовательность, состоящая из 256 чипов, передается в начале каждого слота всеми базовыми станциями сети. Синхросигналы одинаковы для всей сети, вследствие чего они не могут выполнять роль идентификаторов БС. Зато их поиск и прием может осуществляться с помощью единственного согласованного фильтра, пиковые выбросы на выходе которого определяют временные границы слотов для МС.

2. На втором этапе МС осуществляет кадровую синхронизацию (т.е. устраняет неоднозначность относительно временных границ кадра) и идентификацию кодовой группы (соты). Для этого МС использует определенный на первом этапе вторичный код синхронизации SSC. Кадр или фрейм содержит 15 слотов, а общее число различных SSC равняется 64, поэтому в общей сложности имеется 15×64 конкурирующих гипотез. Сравнивая отклики согласованных фильтров на все 15 циклических сдвигов каждого из 64 SSC, приемник МС принимает решение в пользу пары «сдвиг–код», обеспечивающей максимальный отклик. Поскольку содержащий SSC сигнал жестко засинхронизирован с кадром (фреймом) и связан с некоторой группой первичных скремблинг-кодов, по завершении второго этапа МС может опознать группу скремблинг-кодов БС, с которой вступила в контакт, и определить границы фрейма.
3. На третьем этапе МС осуществляет идентификацию первичного скремблинг-кода базовой станции данной соты. Обычно это осуществляется путем по-символьной корреляционной обработки канала CPICH с использованием всех кодов кодовой группы, идентифицированной на втором этапе. Каждая кодовая группа содержит 8 возможных первичных скремблинг-кодов. Чтобы устранить эту неопределенность, МС должна проверить 8 конкурирующих гипотез. Завершив этот этап, МС «знает» конкретный первичный скремблирующий код данной БС. Таким образом, сочетание процедур кадровой синхронизации и идентификации кодовых групп уменьшает в целом сложность алгоритма поиска соты.

Последние два этапа в алгоритме поиска соты (частотная синхронизация и идентификация соты) выполняются только при осуществлении поиска первичной соты после включения терминала и не выполняются при целевом поиске соты.

По завершении описанной выше трехэтапной процедуры кодовой и временной синхронизации осуществляется установка частоты и окончательная идентификация соты. Для обеспечения робастности процедуры синхронизации к ошибке по частоте алгоритм поиска первичной соты изначально предполагает ее наличие. Практически при поиске первичной соты целесообразно насколько возможно уменьшить ошибку по частоте. В этом случае целевой поиск соты состоит из временной синхронизации и идентификации скремблинг-кода базовой станции.

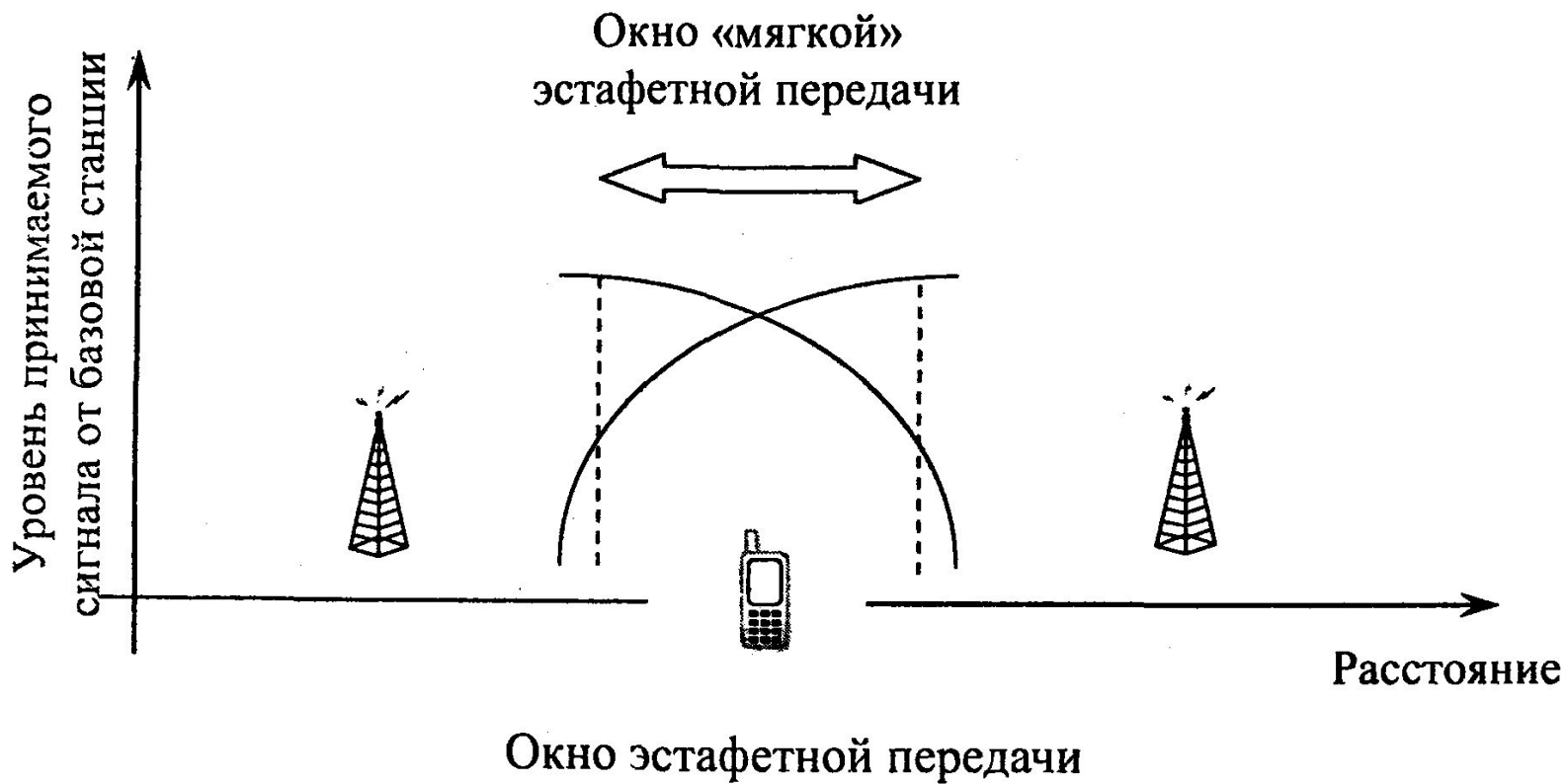
Процедура эстафетной передачи (хэндовер)

Эстафетной передачей (хэндовером) называют автоматическую смену канала в процессе соединения в момент перемещения абонента из одной соты в другую [19]. Процедура эстафетной передачи осуществляется с учетом иерархии данной сети, включая соты, микросоты и пикосоты с соответствующей структурой их секторов. В UTRAN определены три варианта эстафетной передачи.

1. Межсотовый (*intracell*) хэндовер: передача обслуживания МС между двумя БС, работающими в режиме частотного дуплекса FDD. Различают хэндовер без смены частот, где связь осуществляется на одной несущей в пределах соты, и хэндовер со сменой частоты, при котором происходит переключение на соседнюю БС, работающую на другой частоте (т.н. «жесткий» хэндовер).

В свою очередь, различают «мягкий» (*soft*) хэндовер без смены частоты, при котором МС входит в контакт с несколькими конкурирующими БС, и «наиболее мягкий» (*softer*) хэндовер без смены частоты – между секторами одной соты (он же *intercell*, *intrasector handover* или *hand off*).

Принцип мягкого хэндовера заключается в обмене служебной информацией между МС и несколькими соседними БС одновременно, а также в слежении за уровнями их сигналов. «Активный» список БС, уровни сигналов которых превышают заданный порог, регулярно отсылается на «свою» базовую станцию. Эти пороговые значения, заданные в приемнике МС, определяют размеры окна эстафетной передачи – зону, в которой БС «конкурируют за право обслуживания» МС в своих сотах (рис. 6.22).



Размер окна выбирается оптимальным для конкретных условий планирования сети. Так, при слишком малом «окне» приближающаяся к границам соты МС «не увидит» альтернативных БС из соседних сот, а при слишком большом количество конкурирующих БС окажется излишним, что отразится на объемах передаваемого служебного трафика и приведет к уменьшению ресурса сети.

В системе UMTS, помимо сказанного, поддерживается межмодовый и межсистемный хэндовер.

2. Межмодовый (*inter-mode*) хэндовер предусмотрен для ситуаций, когда из зоны обслуживания БС, функционирующей в режиме FDD, МС переходит в зону БС, работающей в режиме временного дуплекса (TDD).

Для обоих режимов длина кадра (фрейма) определена одинаковой (равной 10 мс), что позволяет осуществить процедуру автоматического переключения вызова на другой канал при наличии двухрежимного терминала UTRA/FDD-TDD. Так, свободные интервалы в кадре FDD могут использоваться для одновременного приема сигнала на другой частоте. Аналогично, в TDD передаваемые данные мультиплексируются по времени, что позволяет осуществлять прием на несущей частоте режима TDD, не разрывая FDD-соединение, и наоборот. На практике реализация межрежимного хэндовера предполагает использование сведений о режимах работы TDD/FDD тех или иных сот и их скремблинг-кодах путем передачи этих сведений по широкополосным каналам соответствующих БС.

3. Межсистемный (*inter-system*) хэндовер предусматривается для ситуаций, возникающих при взаимодействии UMTS с сотовыми сетями других систем. Межсистемный хэндовер в UMTS призван обеспечить «бесшовное» (seamless) переключение и роуминг при взаимодействии с сетями GSM и сетями системы третьего поколения cdma2000. В частности, хэндовер UMTS/FDD – сеть GSM реализуется без использования параллельного частотного канала. Для этого в структуре сообщения предусмотрен «мультикадр» с периодом, равным 12 кадрам (фреймам), содержащий свободные интервалы для измерения уровня сигнала на частоте системы GSM.

Управление мощностью передатчика

Мощности сигналов на входе приемника БС от ближних и дальних МС могут отличаться более чем на сто децибел [15], вследствие чего малейшая нелинейность характеристики приемника БС приводит к подавлению слабых сигналов сильными. Поэтому контроль мощности с целью выравнивания уровней сигналов от разных МС на входе БС принципиален для всех радиointерфейсов на базе CDMA. Управление мощностью передатчика позволяет не только снизить уровень взаимных помех, но и приводит к уменьшению энергопотребления МС.

Управление мощностью передатчика в режиме FDD. В стандарте UMTS описаны две разные схемы управления мощностью [19]: управление по схеме *открытой петли* (Open Loop Power Control) и управление по схеме *замкнутой петли* (Closed Loop Power Control).

При управлении мощностью по схеме *открытой петли* МС самостоятельно – не по команде БС, а в зависимости от уровня принятого от нее сигнала, принимает решение об изменении мощности передачи. Если этот уровень велик, МС «считает», что расстояние до БС мало и излучаемая мощность избыточна. Как правило, точность измерения в приемнике МС невысока, а условия распространения сигнала в «uplink» и «downlink» существенно неодинаковы из-за большой разницы частот. Поэтому регулировка мощности по схеме «открытой петли» является весьма грубой (с шагом ± 9 дБ). Ее основная задача – выравнивание уровней мощности сигналов, принимаемых от отдельных МС.