

7. Технология кодового разделения каналов

При кодовом разделении каналов выделение (фильтрацию) конкретного канала производят в процессорном блоке приемника в результате математической обработки принятого сигнала. Для этого сигнал, передаваемый по радиоинтерфейсу, закрывают двумя кодами: скремблирующим и каналообразующим. **Скремблирующие коды** используют для выделения множества сигналов, излучаемых одним источником: конкретной базовой или абонентской станцией. **Каналообразующие коды** позволяют разделить сигналы одного источника.

Структура сети с кодовым разделением каналов показана на рис. 7.1

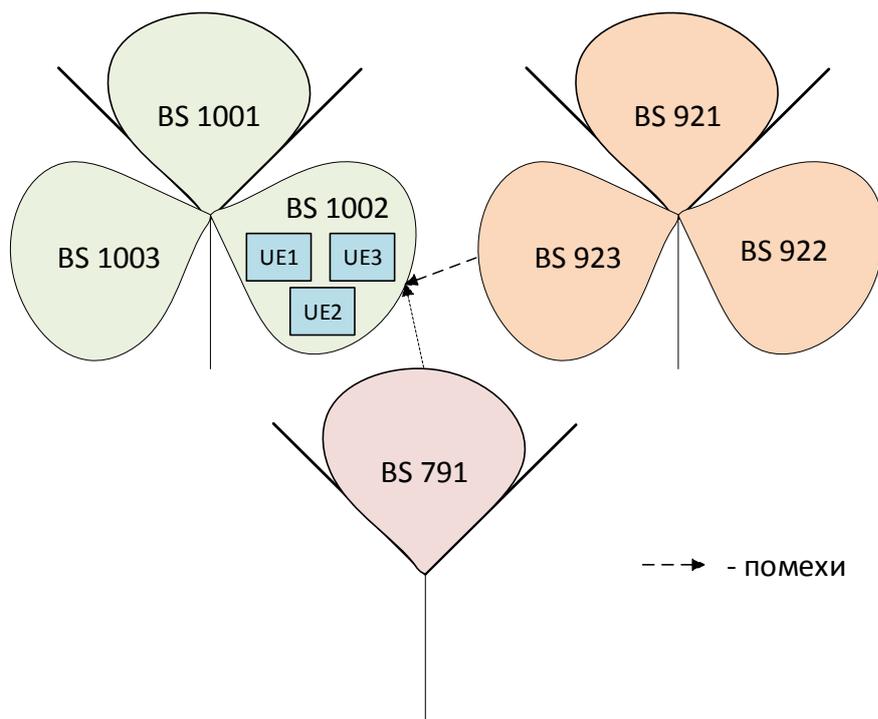
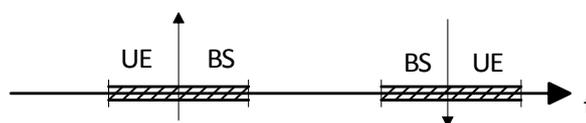


Рис. 7.1. Структура сети с кодовым разделением каналов

Абонентские станции в UMTS называют UE (User Equipment).

В стандарте используют частотный дуплекс.



1. Все BS работают на одной частоте
2. Все абонентские станции работают на одной частоте

В сетях с кодовым разделением каналов физический канал характеризуют три параметра:

- 1) Частота f ;
- 2) Скремблирующий код S_{scr} ;
- 3) Каналообразующий код C_{ch} .

В разных BS используют один набор каналообразующих кодов, но разные скремблирующие коды.

Прием сигналов – когерентный, что требует обязательной передачи пилотного сигнала.

Обработка сигналов при передаче и приеме показана на рис. 7.2

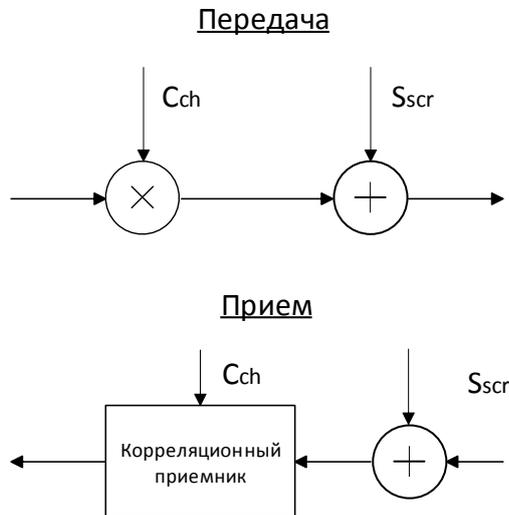


Рис. 7.2. Алгоритмы обработки сигналов в сетях с кодовым разделением каналов

При передаче информационный сигнал перемножают с каналообразующим кодом, далее на него накладывают как маску скремблирующий код. Этот сигнал далее идет на передачу в радиоканале.

В приемнике вначале снимают маску скремблирующего кода, а далее в корреляционный приемник вводят каналообразующий код.

Биты каналообразующих и скремблирующих кодов называют чипами.

Использование каналообразующих кодов для кодового разделения каналов поясняет рис.7.3.

Передаваемый на UE1 биполярный сигнал $u(t)$ (рис.7.3,а), т.е. последовательность логических нулей и единиц с уровнями -1 и $+1$, умножают на биполярную кодовую последовательность $c_1(t)$, такую, что на каждый информационный бит приходится SF бит (чипов) кодовой последовательности. На рис. 7.3,б эта последовательность состоит из 8 чипов; в стандарте UMTS $SF = 4...256$. В результате умножения получают последовательность $v(t) = u(t) \times c_1(t)$ (рис. 7.3,в), которую после наложения скремблирующего кода и передают по каналу связи.

В рассматриваемом примере каналообразующий код, выделенный UE1,

1 -1 1 -1 1 -1 1 -1

При передаче первого бита, после умножения на -1 получаем $v(t)$ (рис. 7.3в):

-1 1 -1 1 -1 1 -1 1

Приём – когерентный и основан на вычислении корреляционной функции между принятым сигналом и выделенным кодом. Приемник UE запускает когерентно с принятым сигналом выделенным ему каналообразующий код и вычисляет корреляци-

онную функцию для каждого переданного информационного бита. В приёмнике UE1 при приёме первого бита это будет следующая операция:

	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	
X	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	
Σ	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	= -8

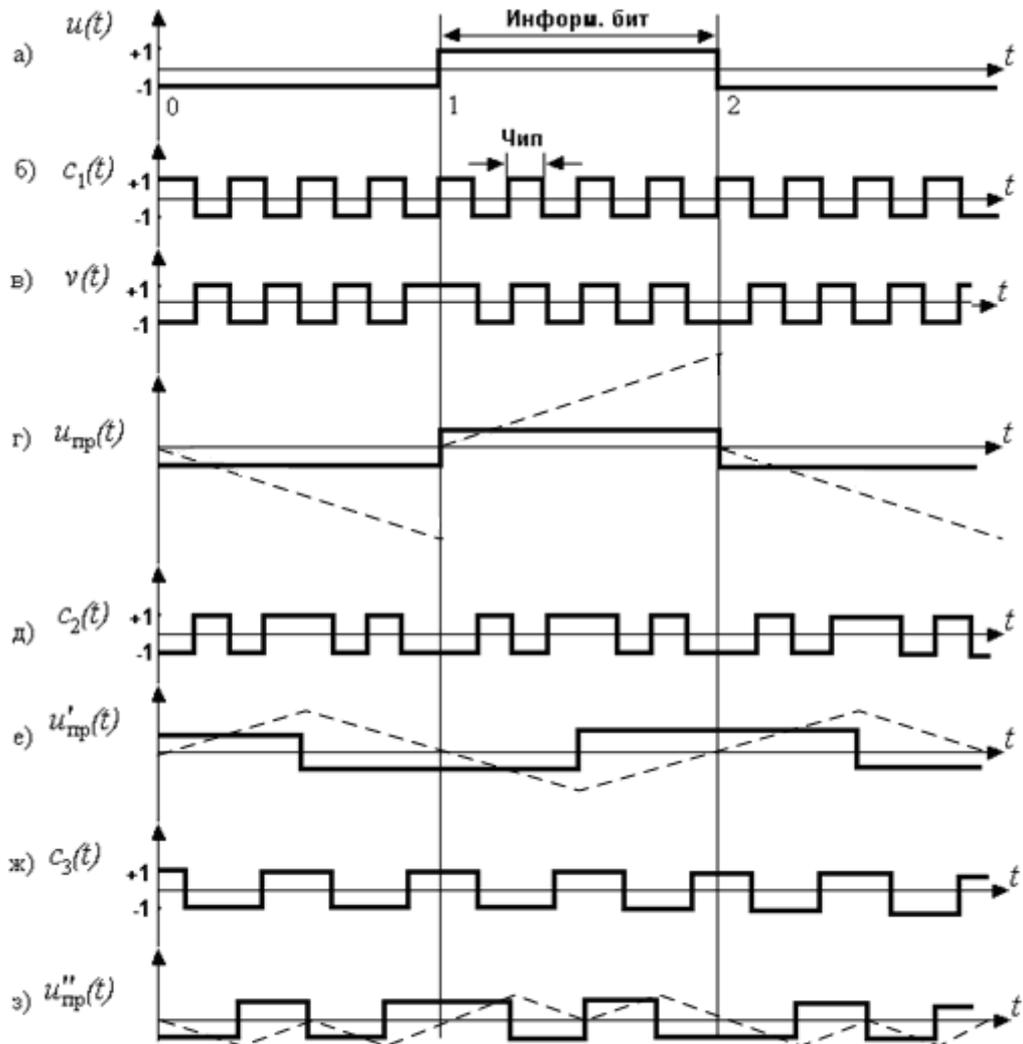


Рис. 7.3. Принцип CDMA

На рис. 7.3,г эта операция показана пунктирной линией. В результате в конце каждого промежутка времени, соответствующего передаче одного бита, получают отрицательное или положительное число в соответствии с переданным информационным битом.

Приёмник станции UE2 также примет сигнал $v(t)$ (рис. 7.3в), но он запустит другой код $c_2(t)$, который ему выделен (рис. 7.1д). В результате вычисления корреляционной функции между сигналом $v(t)$ и кодом $c_2(t)$ получаем

-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
----	---	----	---	----	---	----	---

$$\begin{array}{cccccccccc} X & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & & \\ \Sigma & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & = & 0 \end{array}$$

Таким образом на выходе приёмника UE2 напряжение будет равно 0. Иначе говоря, процессор приёмника UE2 фильтрует сигнал $v(t)$. Аналогичную картину имеем при умножении сигнала $v(t)$ в приемнике UE3 на кодовую последовательность $c_3(t)$ (рис. 7.3,ж и рис. 7.3,з).

Кодовые последовательности $c_1(t)$, $c_2(t)$, $c_3(t)$ образуют группу ортогональных последовательностей. Они обладают следующим свойством

$$\sum_{i=1}^n c_j(i) \times c_k(i) = \begin{cases} n, & \text{если } j = k \\ 0, & \text{если } j \neq k \end{cases}$$

Используя для каждого канала связи свою последовательность из набора ортогональных последовательностей, можно, передавая все каналы одновременно на одной частоте, выделить в приемнике определенный канал, фильтруя все остальные.

Число взаимно ортогональных кодов определяется числом чипов в коде n . На рис. 7.3 $n = 8$, что позволяет передавать в одной частотной полосе 8 независимых физических каналов. Отношение $B_{\text{чип}}/B_{\text{сумм}}$ называют коэффициентом расширения спектра **SF**. **В стандартах с кодовым разделением каналов $B_{\text{чип}}$ постоянна.** В UMTS $B_{\text{чип}} = 3,84$ Мчип/с. Скорость передачи данных

$$B_{\text{инф}} = B_{\text{сумм}} \times \log_2 M \times R_{\text{код}} = \frac{B_{\text{чип}}}{SF} \times \log_2 M \times R_{\text{код}}, \quad (7.1)$$

где M = возможное число позиций сигнала,
 $R_{\text{код}}$ = скорость избыточного кодирования.

При увеличении SF возрастает число каналов, но падает скорость передачи данных.

Использование каналообразующих кодов дает возможность передавать в одной полосе сигналы множества пользователей, но не повышает эффективности использования частотного ресурса. Действительно, при заполнении битов сигнала n чипами полоса сигнала расширяется в n раз, поскольку $B_{\text{чип}} = n \cdot B_{\text{сумм}}$. Выигрыш при переходе на CDMA получают из-за использования **скремблирующих кодов**, которыми закрывают каждую базовую и абонентскую станции.

В качестве скремблирующих кодов в стандартах с кодовым разделением каналов используют m -последовательности. m -последовательность отличается тем, что ее автокорреляционная функция имеет один узкий максимум при нулевом сдвиге чипов ($dk = 0$). Если $dk \neq 0$, то $R(dk) = -1$ (рис. 7.4). Обычная m -последовательность содержит $L = 2^m - 1$ элементов, где m – число триггеров в генераторе кода. Меняя конфигурацию обратных связей в генераторе, можно получить до $(L-1)/m$ различных m -последовательностей. Чиповые скорости каналообразующих и скремблирующих кодов одинаковы.

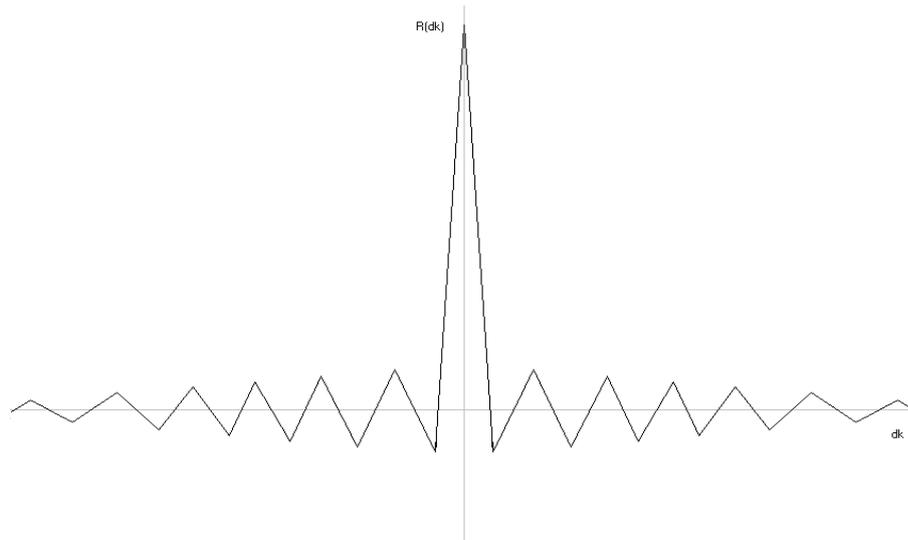


Рис. 7.4. Функция автокорреляции m -последовательности

Реализация сетей с кодовым разделением каналов сопряжена с рядом специфических проблем. Прежде всего, число каналов трафика существенно ниже величины SF. Рассмотрим передачу “вверх”, от мобильной станции к базовой безотносительно к стандарту сотовой связи с CDMA. Реальная ситуация представлена на рис. 7.5.

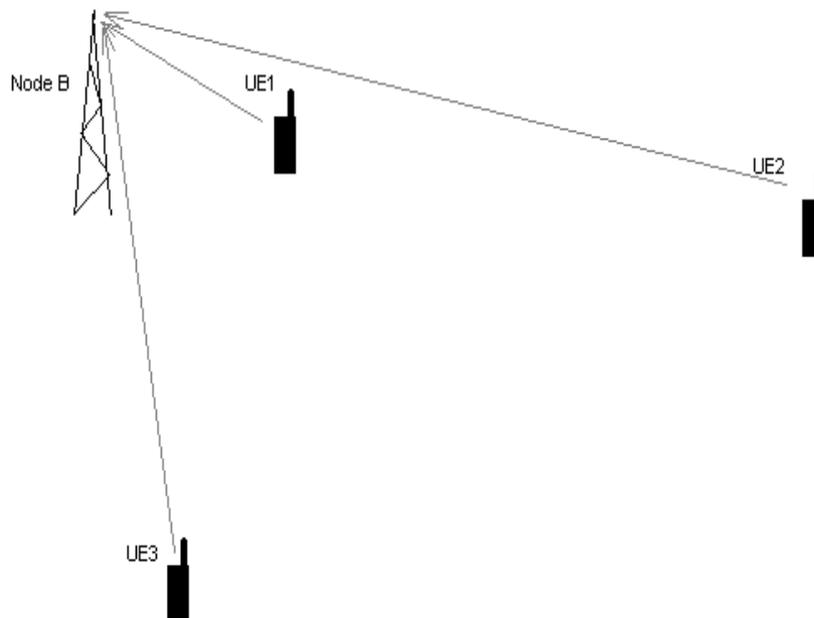


Рис. 7.5. Сложение сигналов на приемнике базовой станции

Так как мобильные станции UE (User Equipment) находятся на разном удалении от базовой станции, то сигналы с UE1, UE2 и UE3 приходят на приемник базовой станции с разными случайными временными задержками и, следовательно, в отличие от передачи “вниз” они некогерентны. Это значит, что на входе приемника базовой станции, выделяющего сигнал с UE1, сигналы с UE2 и UE3 являются помехами. На входе приемника сигнала с UE2 сигналы с UE1 и UE3 являются помехами и т.д.

Суммарный сигнал мобильных станций на входе приемника базовой станции представляет собой квазишумовой сигнал, его спектр показан на рис. 7.6. Из этого сигнала следует выделить и обработать сигналы отдельных UE. Положим, что по каналам “вверх” все UE передают информацию с одной скоростью и мощности сигналов отдельных мобильных станций на входе приемника BTS одинаковы. Тогда энергетический спектр на рис. 7.6 состоит из суммы спектров одинаковой интенсивности. При этом порядок сложения спектров сигналов неважен.

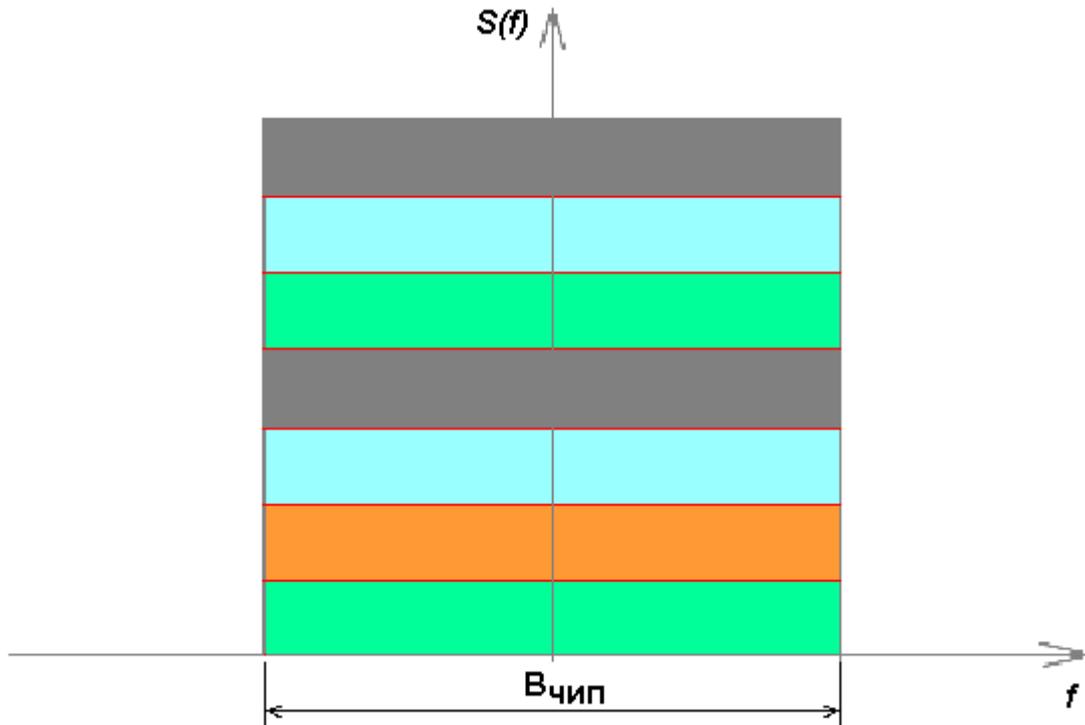


Рис. 7.6. Спектр сигнала на входе приемника BTS

В приемнике BTS каждого канала происходит **когерентная обработка сигнала каждого отдельного UE**. При этом запускают скремблирующий и каналообразующий коды соответствующего канала и производят сжатие спектра сигнала в SF раз. Энергия каждого канала, представленного на рис. 7.6., сохраняется, но теперь она сосредоточена в узкой полосе (рис. 7.7). Сигналы всех остальных UE создают в этой полосе помехи в виде некоррелированного шума.

Для успешного приема сигнала должно быть обеспечено требуемое для конкретного вида передачи информации отношение сигнал/помеха, которое определяется выражением:

$$\frac{E_b}{N_0} \leq \frac{SF \cdot P_j}{P_w + \alpha \left(\sum_{i=1}^n P_i - P_j \right) + \sum_{l=1}^m P_l}, \quad (7.2)$$

где $\frac{E_b}{N_0}$ - требуемое отношение сигнал/помеха для данного вида передачи,

SF - коэффициент расширения спектра,

P_j - мощность сигнала j-го абонента на входе приемника,

P_w - мощность тепловых шумов, приведенная к входу приемника,

$\alpha \left(\sum_{i=1}^n P_i - P_j \right)$ - суммарная мощность всех (n-1) сигналов абонентов

своей соты,

α - коэффициент активности абонентов,

$\sum_{l=1}^m P_l$ - мощность мешающих сигналов абонентов соседних сот.

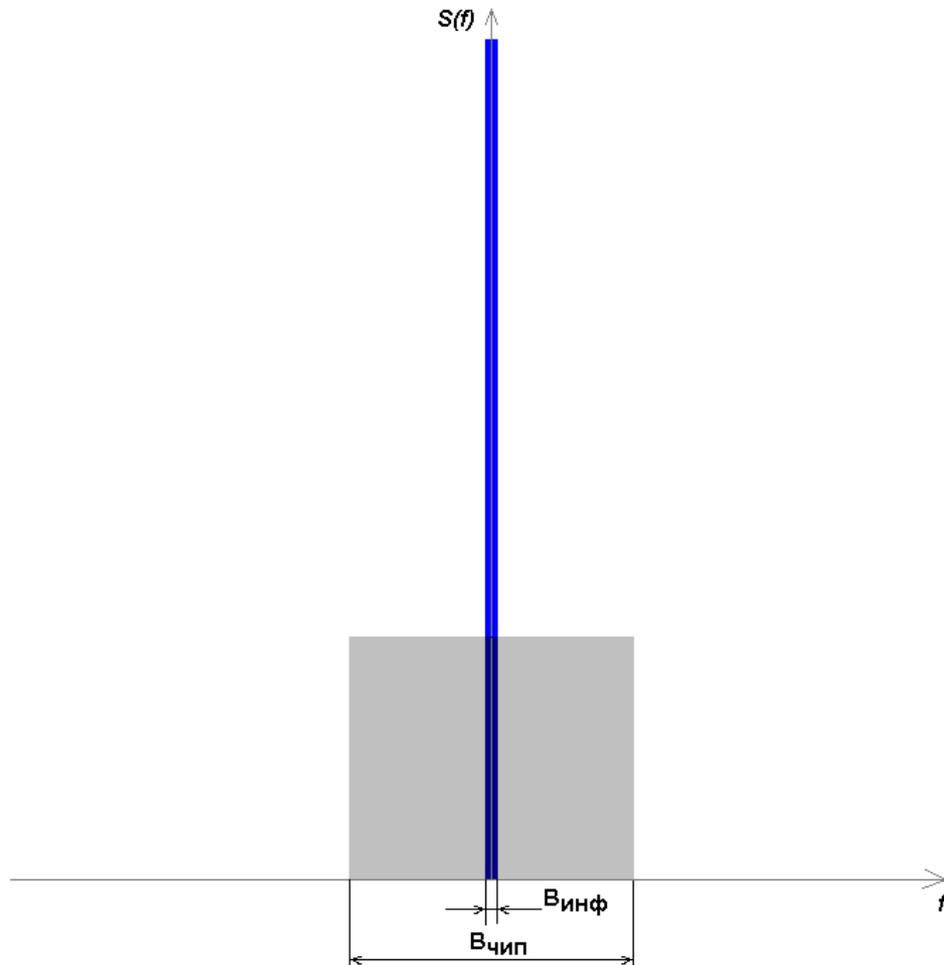


Рис. 7.7. Спектры сигнала и помех на выходе приемника

Рассмотренный простой пример позволяет сделать дополнительные важные выводы. Прежде всего, мощности всех сигналов на входе приемника BS, передаваемых с одинаковой скоростью, должны быть равными (иначе более сильные сигналы подавят более слабые). В условиях передачи сигналов на трассах с быстрыми замираниями в сетях с CDMA необходима **регулировка мощности передатчиков UE в реальном времени**, фактически каждую микросекунду. Во-вторых, требуемая мощность сигнала на входе приемника напрямую связана с коэффициентом расширения спектра SF. Графически это показано на рис. 7.8, 7.9. **При увеличении скорости передачи требуемая мощность сигнала на входе приемника увеличивается.**

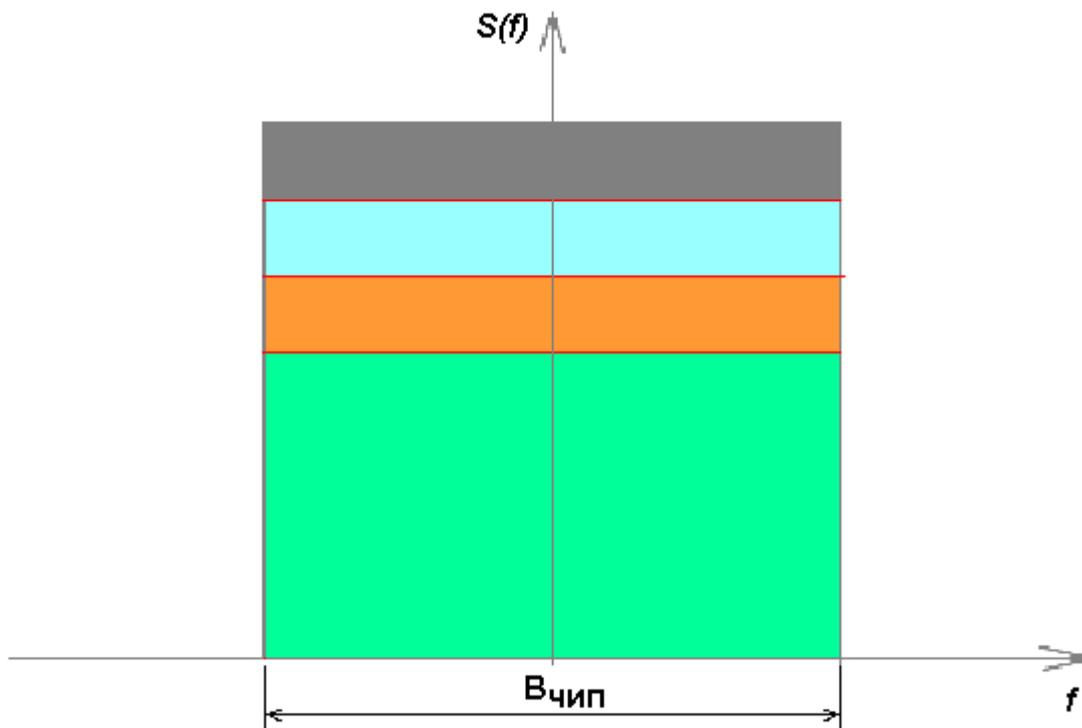


Рис. 7.8. Спектр сигнала на входе приемника

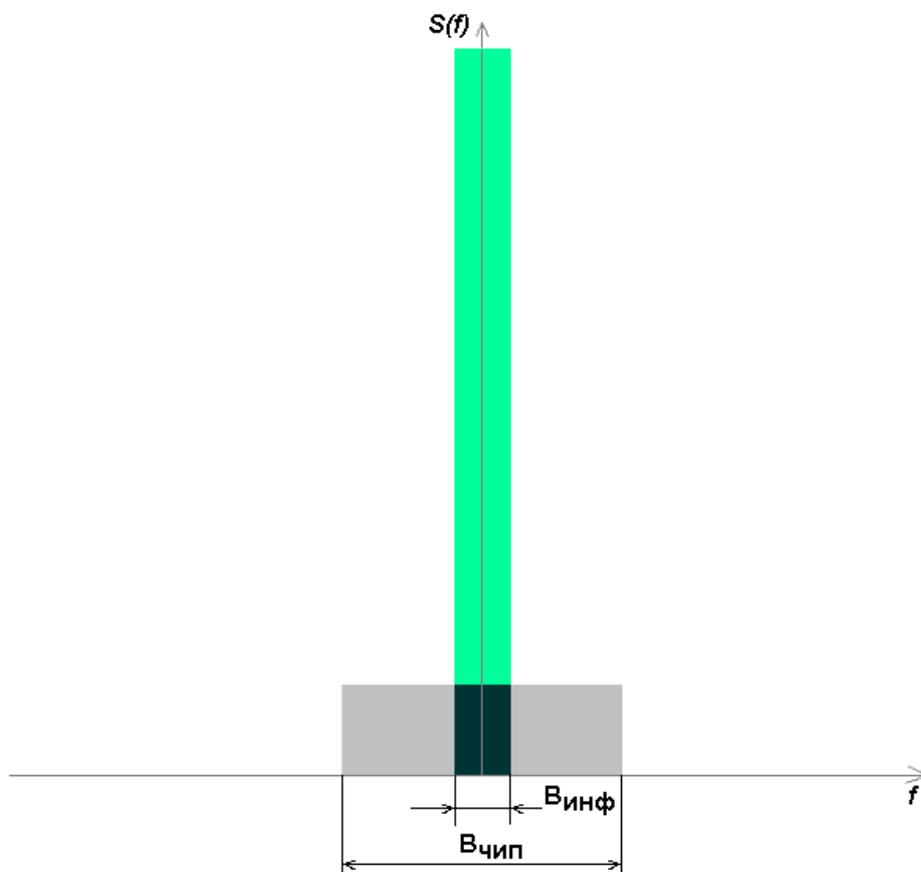


Рис. 7.9. Спектры сигнала и помех на выходе приемника

На рис. 7.8 и 7.9 проиллюстрирована ситуация, когда одному абоненту выделен канал с $SF=16$, а другим с $SF = 64$. Видно, что энергетический вклад UE первого абонента в общую энергетическую композицию увеличился в 4 раза ($64/16=4$). Ситуация на выходе приемника этого абонента показана на рис. 7.9.

Фактически это означает, что чем выше скорость передачи, тем больше должна быть мощность соответствующего передатчика и тем меньше дальность связи. Кроме того, требуемая мощность сигнала на входе приемника зависит от уровня суммарных помех, так что размеры соты меняются в зависимости от числа абонентов в данной и в соседних сотах. Поэтому в CDMA сетях соты “дышат”, т.е. меняют свои размеры в зависимости от нагрузки в сети.

Повышению качества связи способствует применение в BS и MS приемников типа Rake (рис.7.10). Как правило, сигнал в точке приема представляет собой сложную интерференционную картину множества сигналов, пришедших по различным путям с разными задержками. Подбирая соответствующие задержки кодовых последовательностей в приемнике, можно выделить несколько (до трех) наиболее сильных сигналов (лучей). Каждый такой сигнал обрабатывают отдельно, а результаты суммируют (SUM) с весовыми коэффициентами, пропорциональными мощности отдельных лучей. Использование Rake-приемников позволяет говорить о **микроразнесенном приеме**.

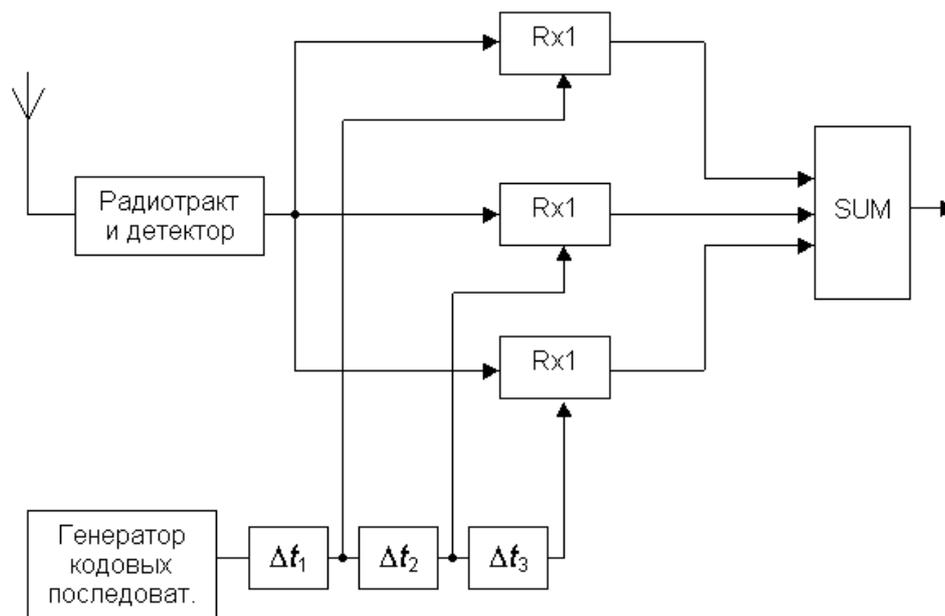


Рис. 7.10. Принцип построения Rake приемника

Параллельная обработка нескольких сигналов в приемнике MS позволяет организовать мягкий хэндовер. Так как все BS сети работают на одних и тех же частотах, MS может одновременно принимать сигналы двух, а то и трех соседних BS, а те, в свою очередь, поддерживать с ней связь. Поэтому переключение канала связи от одной BS к другой при мягком хэндовере происходит без потерь информации, как, например, в стандарте GSM.

Подводя итог, сформулируем основные преимущества технологии CDMA и проблемы при ее использовании.

Преимущества CDMA:

1. Высокая эффективность использования канального ресурса. Возрастание пропускной способности сети.
2. Пониженная мощность абонентских и базовых станций. Меньшие помехи другим электронным устройствам.
3. Упрощение частотного планирования. Все базовые станции сети используют один и тот же канальный ресурс.
4. Простота изменения скоростей передачи вверх и вниз для различных абонентов. Поддержка асимметричных видов передачи информации, таких, как Интернет.
5. Мягкий хэндовер. Снижение числа обрывов связи из-за хэндовера. Улучшение качества связи, особенно при передаче данных, видеосигналов и мультимедиа.
6. Использование Rake приемника для выделения и обработки наиболее сильных сигналов при многолучевом распространении.
7. Улучшение качества передачи телефонии за счет устранения замираний при многолучевом распространении.
8. Возможность передачи с высокой надежностью связи факсимиле, Интернет сообщений.
9. Упрощение передачи каналов управления.
10. Облегчение организации новых пользовательских услуг: прием мультимедиа, высокоскоростных потоков данных, аудио и видеоклипов.

Сложности в реализации сетей CDMA:

1. Жесткие требования к синхронизации кодирующих последовательностей в приемниках. Необходимость когерентной обработки принятых сигналов.
2. Необходимость быстрой регулировки мощности передатчиков UE и BS.
3. Дальность связи зависит от скорости передачи и скорости перемещения абонента.
4. Динамические эффекты снижения качества связи при перегрузке соты (сота "дышит"). Необходимость адаптивного управления сетью в реальном времени.

8. Стандарт UMTS. Основные характеристики

Европейский стандарт 3-го поколения UMTS работает совместно с действующими сетями GSM. Структура интегрированной сети приведена на рис. 8.1. К существующей в GSM подсистеме пользовательских услуг и коммутации, которая включает как коммутаторы каналов MSC/VLR, GMSC, так и коммутаторы пакетов SGSN, GGSN, и образует ядро сети CN (Core Network), подключены как действующие подсети базовых станций GSM BSS, так и наложенные на них сети радиодоступа UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network).

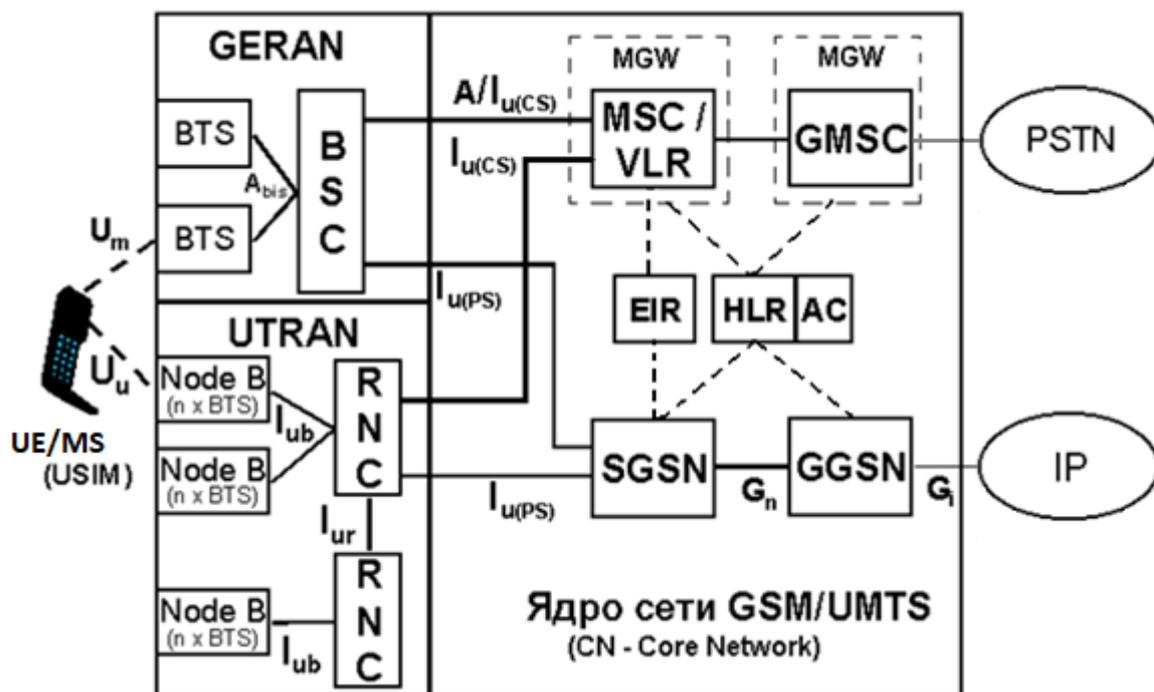


Рис. 8.1. Архитектура интегральной сети UMTS и GSM

В состав UTRAN входят контроллеры RNC (Radio Network Controller) и узлы базовых станций (Node B), каждый из которых может состоять из одной (в несекторизованных сотах) или 3-х (в секторизованных сотах) BTS. В мобильную станцию MS (UE – User Equipment по терминологии UMTS), работающую в совмещенной сети GSM/UMTS, вставляют USIM (Universal SIM-карту). Как и в GSM, в USIM записаны индивидуальный номер абонента IMSI (International Mobile Subscriber Identity) и временные номера TMSI (Temporary MSI), P-TMSI (Packet –TMSI), присваиваемые абоненту на время сеанса связи.

Базовый вариант на основе технологии UTRA-FDD (W-CDMA) предусматривает передачу информации с чиповой скоростью 3,84 Мчип/с в полосе 5 МГц при дуплексном разносе сигналов двух направлений. Эффективная полоса обработки сигнала в приемнике составляет 3,84 МГц. Различным скоростям передачи информации соответствуют различные значения коэффициента расширения спектра SF.

Соотношения между скоростью передачи символов и коэффициентом расширения спектра при $V_{чип} = 3,84$ Мчип/с приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1.

SF	2	4	8	16	32	64	128	256	512
----	---	---	---	----	----	----	-----	-----	-----

Скорость, кСимв/с	1920	960	480	240	120	60	30	15	7,5
----------------------	------	-----	-----	-----	-----	----	----	----	-----

Для разделения каналов в UTRA-FDD применены **каналообразующие ортогональные коды с переменным коэффициентом расширения SF (Orthogonal Variable Spreading Factor Code - OVSF)**. Иначе говоря, в стандарте UTRA-FDD каналообразующие кодовые последовательности упорядочены по Адамару.. Каждый код будем обозначать как $C_{ch,SF,n}$. Структуру формирования кодовых последовательностей поясняет рис. 8.2.

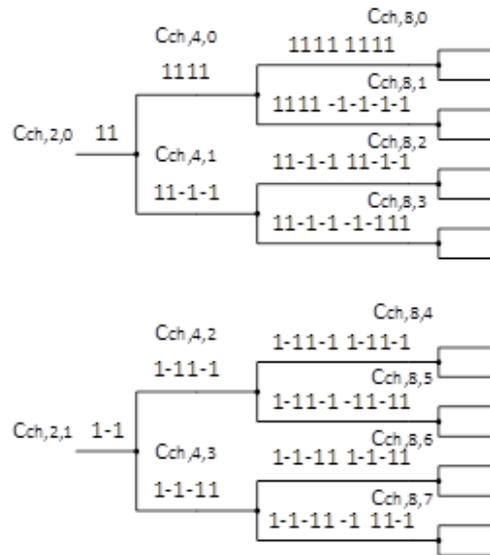


Рис. 8.2. Принцип формирования ортогональных кодов

При увеличении SF в 2 раза для образования следующей группы кодов используем алгоритм Адамара:

$$CC_n = \begin{bmatrix} CC_{n/2} & CC_{n/2} \\ CC_{n/2} & -CC_{n/2} \end{bmatrix}.$$

Так, при SF=4 получим 4 кода

$$CC_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix},$$

а при SF=8 будет 8 кодов

$$CC_8 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix}.$$

Кроме каналообразующих, в UTRA–FDD применяют **скремблирующие коды**. Чиповая скорость скремблирующих кодов, как и каналообразующих, составляет 3,84 Мчип/с.

Рассмотрим **скремблирующие коды** вниз, которыми закрыты BTS. Это коды Голда (предложены Р. Голдом). Код Голда образуют путем сложения по $mod2$ двух различных m -последовательностей $x(n)$ и $y(n)$. Обе последовательности имеют одну и ту же длину L и их тактирует единый тактовый генератор. Результирующая последовательность также является m -последовательностью длиной L . Меняя начала циклических сдвигов последовательностей $x(n)$ и $y(n)$, получаем $L=2^n-1$ последовательностей Голда. Скремблирующие коды вниз реализованы на основе двух генераторных полиномов 18 степени:

$$g_1(x) = 1 + X^7 + X^{18} \tag{8.1}$$

$$g_2(x) = 1 + X^5 + X^7 + X^{10} + X^{18}, \tag{8.2}$$

где значок “+” означает сложение по $mod2$. Схема формирования скремблирующих последовательностей вниз представлена на рис. 8.3.

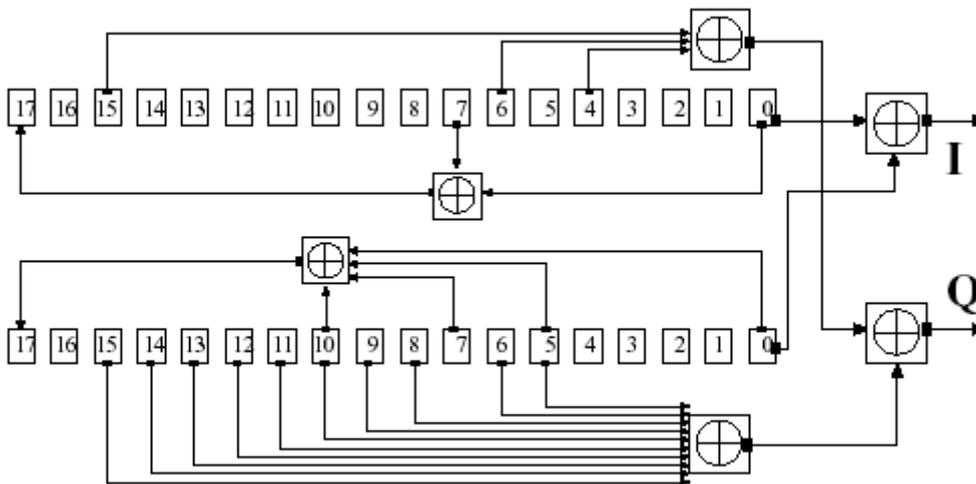


Рис. 8.3. Формирователь скремблирующих кодов вниз

Обозначая коды, генерируемые полиномами (8.1) и (8.2), как $x(i)$ и $y(i)$, а n – начальный сдвиг генератора $x(i)$ относительно $y(i)$, получаем n -ую последовательность Голда

$$z_n(i) = x((i+n) \bmod (2^{18}-1)) + y(i), \quad i = 0, \dots, 2^{18}-2$$

В направлении вниз используют модуляцию 4-ФМ¹, то есть сигнал передают на двух ортогональных поднесущих в виде

$$s(n) = I(n) \cos \omega t + j Q(n) \sin \omega t,$$

где $I(n)$ и $Q(n)$ – заполненные чипами синфазный и квадратурный информационные сигналы.

Для того, что бы в приёмнике разделить синфазный и квадратурный сигналы, их закрывают разными скремблирующими кодами. Поэтому скремблирующий код тоже будет комплексным $S_{dl,n}(i)$:

$$S_{dl,n}(i) = z_n(i) + j z_n((i + 131072) \bmod (2^{18} - 1)), \quad i = 0, 1, \dots, 38399 \quad (8.3)$$

Этим скремблирующим кодом закрывают кадры длиной 10 мс (38400 чипов). Процесс получения закодированного сигнала поясняет рис. 8.4.

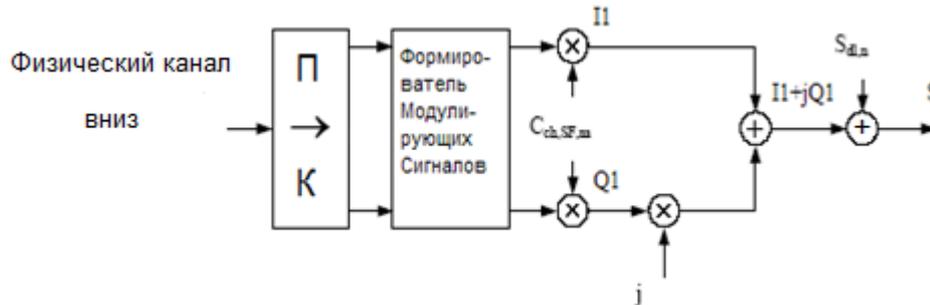


Рис.8.4. Кодирование сигналов “вниз”

В направлении вниз (BS⇒UE) используют 512 первичных скремблирующих кодов. Первичные коды открывают 512 кодовых рядов (set), каждый из которых, кроме первичного, содержит еще 15 вторичных кодов. Таким образом в направлении вниз существуют $512 \cdot 16 = 8192$ скремблирующих кодов, нумеруемых 0...8191. При $SF = 256$ каждый первичный (вторичный) скремблирующий код может поддерживать вместе с каналообразующим кодом до 256 каналов.

Характеристики каналообразующих и скремблирующих кодов и их использование сведены в табл. 8.2.

Таблица 8.2

	Каналообразующие коды	Скремблирующие коды
Назначение	Вверх. Разделение каналов данных и управления одного UE. Вниз. Разделение каналов различных пользователей.	Вверх. Разделение UE. Вниз. Разделение секторов (сот).
Длина	Вверх. 2 – 256 чипов ² . Вниз. 4 – 512 чипов.	Вверх. 38400 (10 мс). Вниз. 38400 чипов.

¹ В режиме высокоскоростной передачи данных возможен переход на 16-КАМ и 64-КАМ.

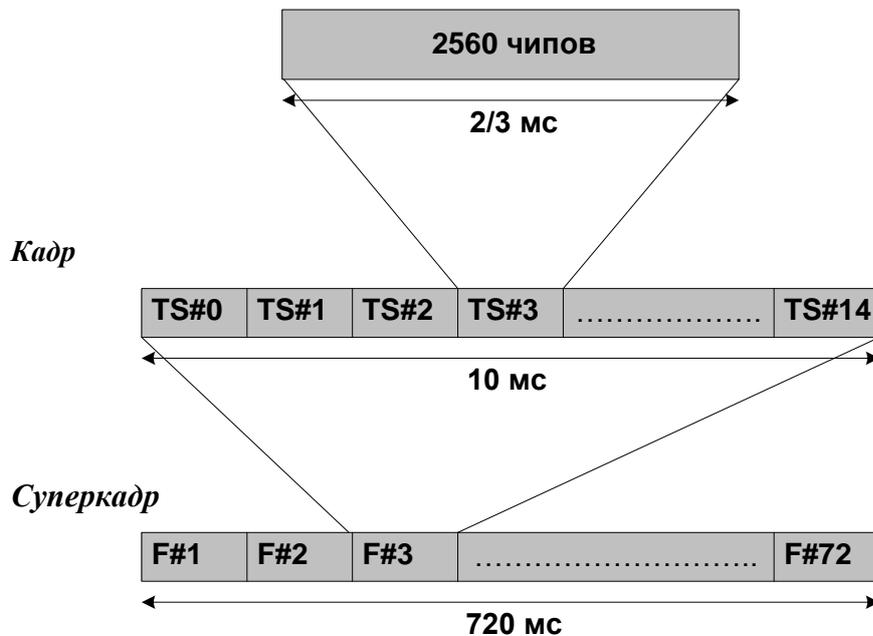
² При высокоскоростной передаче данных возможно формирование каналов вверх с SF=2.

Число кодов	SF – коэффициент расширения спектра с одним скремблирующим кодом.	Вверх. Несколько миллионов. Вниз. 512*16
Тип кода	Ортогональный с переменным коэффициентом расширения.	Коды Голда.

Другой важнейшей характеристикой стандарта UTRA-FDD является кадровая структура. Передача по всем каналам синхронизирована во времени. Сообщения (поток данных) разбивают на отдельные сегменты, внутри которых производят предварительную обработку сигналов.

Базовая длительность кадра составляет 10 мс. Кадр разбит на 15 временных интервалов (time slots): TS0 ...TS14, каждый длительностью 2/3 мс (рис. 8.5). В одном TS размещено 2560 чипов. При SF=256 в одном TS передают 10 символов. Кадры объединены в суперкадры; в одном суперкадре 72 кадра, а его длительность составляет 720 мс. Это длина 6 мультикадров каналов трафика стандарта GSM.

Временной интервал (Timeslot - TS)



Длительность одного чипа $1/3,84 \cdot 10^{-6} \text{ с} \approx 0,2604 \text{ мкс}$

Рис. 8.5. Временные характеристики UTRA-FDD

При передаче информации по выделенным каналам длительность информационных кадров может составлять 10, 20, 40 и 80 мс. При пакетной передаче данных используют кадры разной длины. Так при высокоскоростной пакетной передаче передают пакеты длительностью 3 TS (2 мс).

Рабочие диапазоны стандарта UTRA-FDD приведены в табл.8.3. Сетка несущих частот в UTRAN равна 200 кГц. Основным диапазоном, где развёрнуты сети UTRAN в России, является диапазон I

Таблица 8.3

Рабочая полоса	Вверх UE передает, NodeB принимает	Вниз UE принимает, Node B передает
I	1920 - 1980 МГц	2110 -2170 МГц
II	1850 -1910 МГц	1930 -1990 МГц
III	1710-1785 МГц	1805-1880 МГц
IV	1710-1755 МГц	2110-2155 МГц
V	824 - 849 МГц	869-894 МГц
VI	830-840 МГц	875-885 МГц
VII	2500-2570 МГц	2620-2690 МГц
VIII	880 - 915 МГц	925 - 960 МГц
IX	1749.9-1784.9 МГц	1844.9-1879.9 МГц
X	1710-1770 МГц	2110-2170 МГц
XI	1427.9 - 1447.9 МГц	1475.9 - 1495.9 МГц
XII	699 – 716 МГц	729 – 746 МГц
XIII	777 - 787 МГц	746 - 756 МГц
XIV	788 – 798 МГц	758 – 768 МГц
XV	Резерв	Резерв
XVI	Резерв	Резерв
XVII	Резерв	Резерв
XVIII	Резерв	Резерв
XIX	830 – 845МГц	875 – 890 МГц
XX	832 – 862 МГц	791 – 821 МГц
XXI	1447.9 – 1462.9 МГц	1495.9 – 1510.9 МГц
XXII	3410 – 3490 МГц	3510 – 3590 МГц
XXV	1850 – 1915 МГц	1930 – 1995 МГц
XXVI	814 – 849 МГц	859 – 894 МГц

9. Сети UTRA. Передача трафика

9.1. Общая характеристика каналов в UTRAN

В UTRAN для передачи информации и сигнализации используют каналы трех уровней (рис. 9.1).

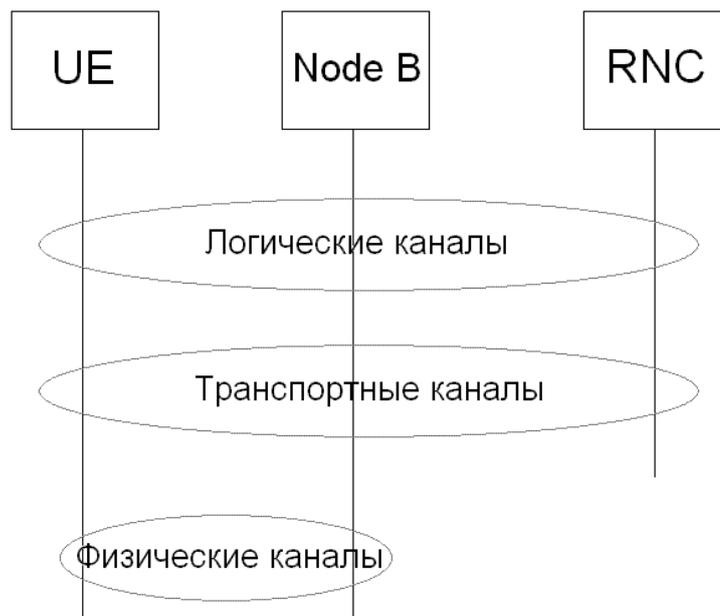


Рис. 9.1. Структура каналов в UTRAN

1-й уровень – **физический**, определяет модуляцию, кодирование и временную структуру передаваемых кадров.

2-й уровень – **транспортный**, определяет обработку на MAC-уровне (Medium Access Control): как и с какими характеристиками передают сообщения.

3-й уровень – **логический**, связан с типом передаваемых сообщений. Сеть распределяет все сообщения по логическим каналам в результате их обработки на уровне RLC (Radio Link Control). При передаче сообщения, следующие по логическим каналам, на уровне MAC распределяют по транспортным каналам, которые, в свою очередь, размещают их в физических каналах.

Физические каналы существуют на радиointерфейсе Uu и служат для непосредственного переноса информации между BS и UE. Транспортные каналы передают сообщения между UE и RNC. На участке BS – RNC транспортные каналы описывает Iub интерфейс.

Логические каналы делят на 2 группы: каналы управления и каналы трафика. В свою очередь каналы трафика подразделяют на каналы передачи индивидуального трафика и каналы мультимедийного вещания MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service) группам пользователей (подписчикам на услугу). Что касается передачи индивидуального трафика, то кроме обычной передачи по выделенным и общим каналам трафика, в UTRA предложена и внедрена специальная высокоскоростная передача данных в пакетном режиме HSPA (UTRA High Speed Packet Access). При использовании этой технологии на транспортном и физическом уровнях выделяют каналы, помеченные префиксом HS (High Speed) при высокоскоростной пакетной передаче вниз и E (Enhanced) при высокоскоростной пакетной передаче вверх. Взаимное отображение физических, транспортных и логических каналов в направлении вниз и вверх показано на рис. 9.2.

Логические каналы вниз.

BCCH (Broadcast Control Channel) – вещающий канал, по которому передают системную информацию, необходимую для работы всех UE. Это коды, используемые в данной соте и соседних сотах, допустимые уровни мощности при выходе UE на связь.

PCCH (Paging Control Channel) – канал посылки пейджинговых сообщений.

CCCH (Common Control Channel) – канал управления, по которому передают сигнализацию, общую для всех UE, находящихся в соте.

DCCH (Dedicated Control Channel) – индивидуальный выделенный канал управления конкретному UE.

MCCH (MBMS point-to-multipoint Control Channel) – канал управления точка-многоточка для передачи мультимедийной информации.

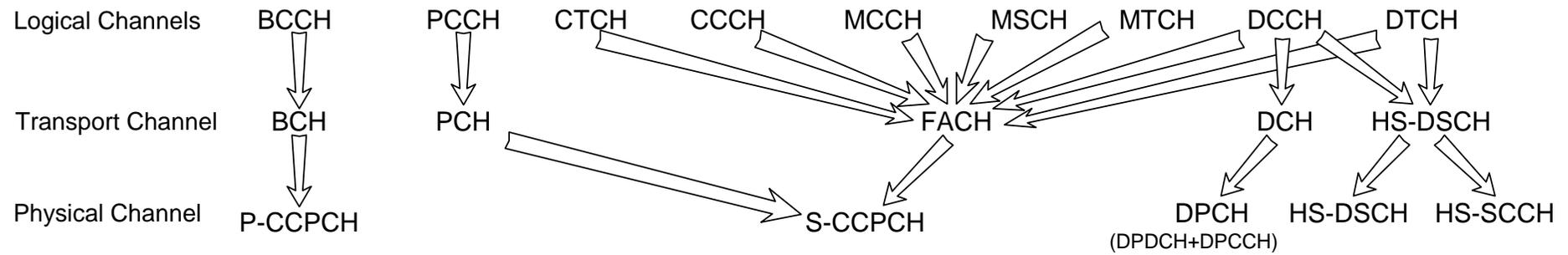
MSCH (MBMS point-to-multipoint Scheduling Channel) – канал планирования точка-многоточка мультимедийного вещания..

DTCH (Dedicated Traffic Channel) – индивидуальный канал трафика одного пользователя.

CTCH (Common Traffic Channel) – однонаправленный канал типа “точка-многоточка”; служит для передачи информации всем UE или группе UE.

MTCH (MBMS point-to-multipoint Traffic Channel) - канал трафика точка-многоточка для передачи мультимедийной информации.

ВНИЗ



ВВЕРХ

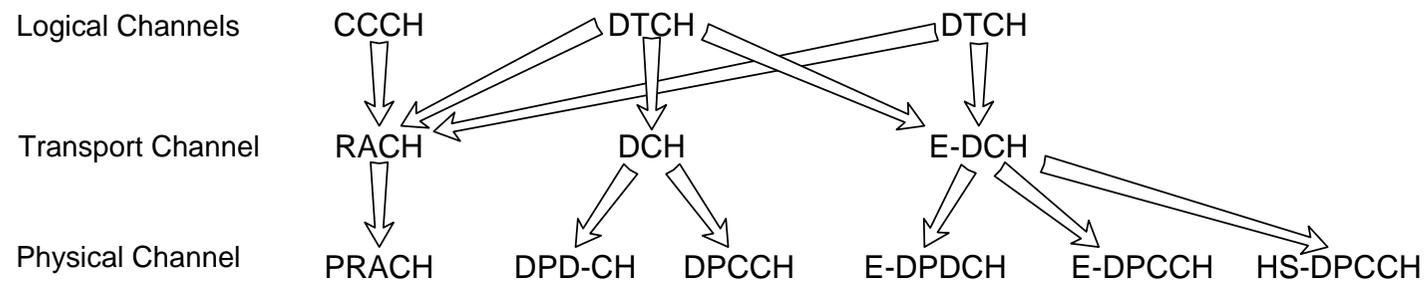


Рис. 9.2. Соответствие логических, транспортных и физических каналов.

Транспортные каналы вниз.

BCH (Broadcast Channel) – транспортный вещающий канал.

PCH (Paging Channel) – транспортный пейджинговый канал.

FACH (Forward Access Channel) – канал прямого доступа; служит для передачи информации логических каналов CCCH, CTCH и DCCH.

DCH (Dedicated Channel) – единственный выделенный пользовательский транспортный канал. По DCH идет информация из логических DTCH и DCCH. Следует отметить, что по одному DCH можно передавать сообщения из нескольких DTCH. Например, абонент может получать одновременно телефонию и изображение; при этом телефонный и видеотрафик передают по различным логическим каналам.

HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel) – высокоскоростной канал пакетной передачи вниз.

Физические каналы вниз.

CPICH (Common Pilot Channel) – общий пилотный канал.

SCH (Synchronization Channel) – каналы синхронизации: первичный и вторичный.

P-CCPCH и S-CCPCH (Common Control Physical Channel – primary, secondary) – первичный и вторичный общие физические каналы управления.

DPCH (Dedicated Physical Channel) – выделенный физический канал; в нем мультиплексированы два физических канала, DPDCH (Dedicated Physical Data Channel – выделенный физический канал передачи данных) и DPCCH (Dedicated Physical Control Channel – выделенный физический канала управления).

HS-PDSCH (High Speed Physical Downlink Shared Channel) – высокоскоростной физический канал пакетной передачи вниз при HSDPA.

HS-SCCH (HS DSCH-related Shared Control Channel) – физический канал управления, относящийся к каналу HS-DSCH.

E-AGCH (E-DCH Absolute Grant Channel) – канал управления при высокоскоростной передаче вверх (HSUPA).

E-RGCH (E-DCH Relative Grant Channel) – канал управления при высокоскоростной передаче вверх (HSUPA).

E-HICH (E-DCH Hybrid ARQ Indication Channel) – выделенный физический канал для передачи сигнализации обратной связи при высокоскоростной передаче вверх (HSUPA).

F-DPCH (Fractional Dedicated Physical Channel) – специальный вариант канала DPCCH при высокоскоростной пакетной передаче данных вниз.

Отдельную группу физических каналов вниз составляют индикаторы (ICH – Indication Channel).

AICH (Acquisition Indication Channel) – канал подтверждения запроса.

PICH (Paging Indication Channel) – канал индикации пейджинга.

MICH (MBMS Notification Channel) – индикатор извещения мультимедийного вещания.

Логические каналы вверх.

CCCH (Common Control Channel) – общий канал управления.

DTCH (Dedicated Traffic Channel) – выделенный канал трафика (одного UE).

DCCH (Dedicated Control Channel) – выделенный канал управления (одного UE).

Транспортные каналы вверх.

RACH (Random Access Channel) – (общий) канал случайного доступа.

DCH (Dedicated Channel) – выделенный канал.

E-DCH (Enhanced Dedicated Channel) – выделенный канал вверх при высокоскоростной передаче данных (HSUPA).

Физические каналы вверх.

PRACH (Physical RACH) – физический канал случайного доступа.

DPDCH (Dedicated Physical Data Channel) – выделенный физический канал передачи данных.

DPCCH (Dedicated Physical Control Channel) – выделенный физический канал управления.

E-DPDCH (E-DCH Dedicated Physical Data Channel) – выделенный физический канал высокоскоростной передачи данных в пакетном режиме вверх HSUPA.

E-DPCCH (E-DCH Dedicated Physical Control Channel) – выделенный физический канал управления в пакетном режиме HSUPA.

HS-DPCCH (Dedicated Physical Control Channel (uplink) for HS-DSCH) – выделенный физический канал управления (вверх) для сигнализации обратной связи при HSDPA.

Структура физических каналов в UTRA-FDD приведена на рис. 9.3.

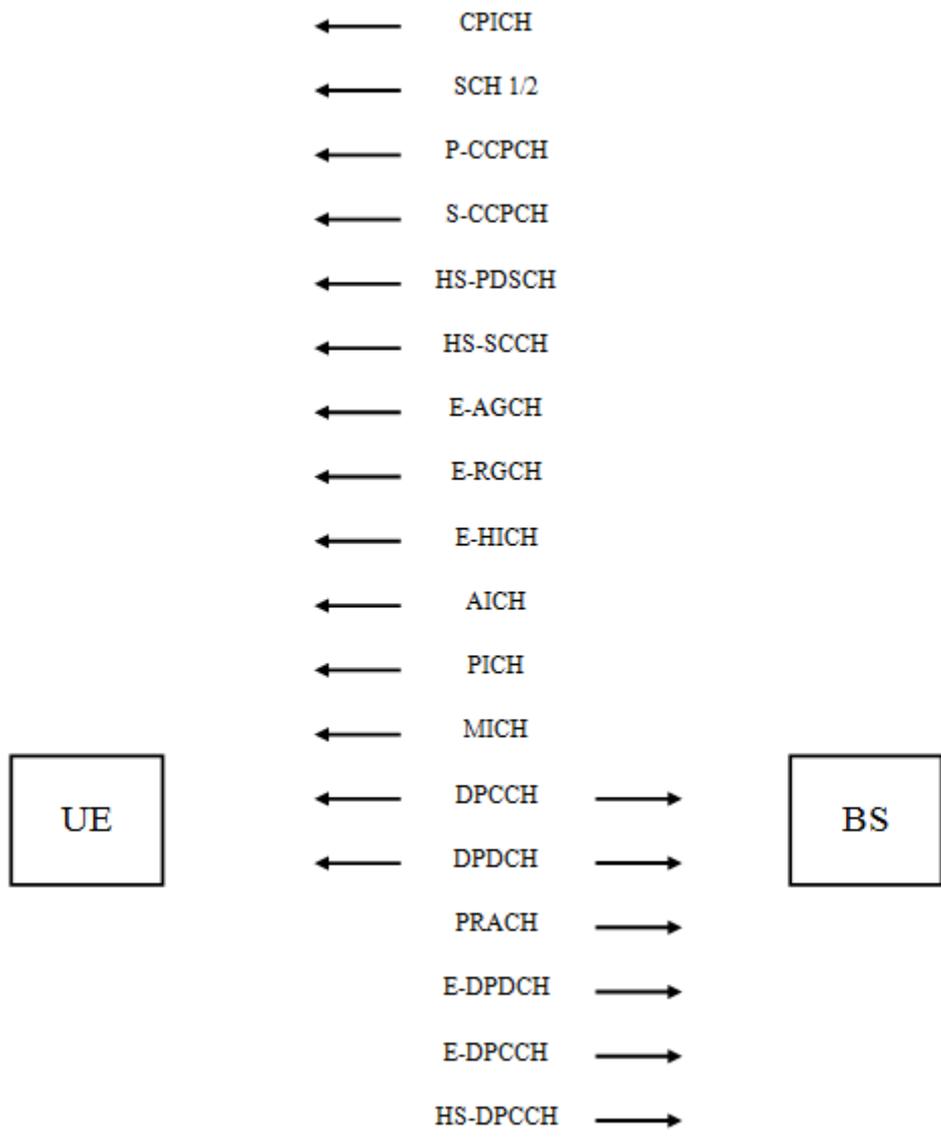


Рис. 9.3. Структура физических каналов в UTRA-FDD.

9.2. Каналы синхронизации. UE находит сеть

Каналы синхронизации вниз представляют собой 2 специфических физических канала, на физическом уровне: первичный (primary) SCH и вторичный (secondary) SCH. Первичный SCH1 содержит кодовое слово длиной 256 чипов, которое постоянно передают все BS сети UTRA FDD. Это слово составлено из 16-чиповых последовательностей, которые анализирует специальный согласованный фильтр в аппаратном исполнении, находящийся в UE. Первичный канал SCH занимает 256 чипов в каждом TS, оставляя 9/10 длительности TS для передачи канала P-CCPCH, где размещают информацию транспортного канала BCH (рис. 9.4).

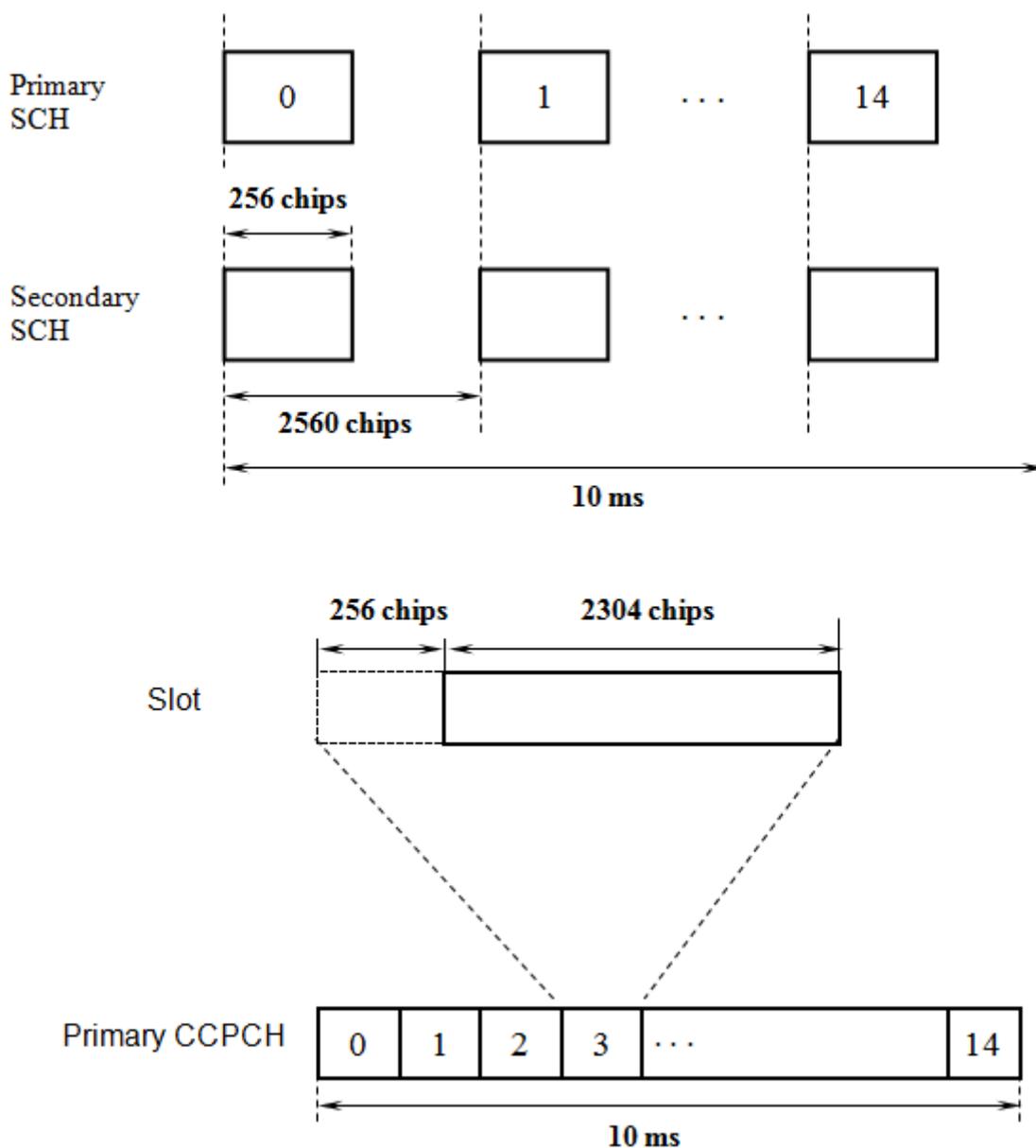


Рис. 9.4. Первичный и вторичный каналы синхронизации

Первичный синхронизирующий код C_{psc} (primary synchronization code - PSC) представляет собой обобщенную последовательность Голея, обладающую высокими автокорреляционными свойствами. В основе кода лежит последовательность из 16 бит :

$$\mathbf{a} = \langle x_1, x_2, x_3, \dots, x_{16} \rangle = \langle 1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, -1, 1 \rangle \quad (9.1)$$

C_{pssc} составлен из 16 прямых и инверсных повторов вектора \mathbf{a} , который передают синхронно (одновременно как по синфазному, так и по квадратурному каналам):

$$- C_{pssc} = (1 + j) \square \square \langle \mathbf{a}, \mathbf{a}, \mathbf{a}, -\mathbf{a}, -\mathbf{a}, \mathbf{a}, -\mathbf{a}, -\mathbf{a}, \mathbf{a}, \mathbf{a}, \mathbf{a}, -\mathbf{a}, \mathbf{a}, -\mathbf{a}, \mathbf{a}, \mathbf{a} \rangle \quad (9.2)$$

Засинхронизировав себя с сетью, т.е. зафиксировав начало TS, UE далее анализирует канал SCH2 для того, чтобы определить скремблирующие коды, которыми закрыты сигналы данной BTS. Всего в сетях UTRA-FDD используют **8192 скремблирующих кода**, которыми закрывают сигналы базовых станций. Из этого множества **512 кодов** являются **первичными**, а остальные **вторичными**. С каждым первичным кодом могут быть использованы 15 вторичных. Все первичные коды распределены в 64 кодовых группы, по 8 первичных кодов в группе. Задача вторичного SCH состоит в том, чтобы UE определила кодовую группу, используемую BTS, а также обеспечить кадровую синхронизацию.

Во вторичном SCH используют 16 различных чиповых кодов, сочетание которых образует в последовательных 15 TS кадра признак одной из 64 возможных групп. Каждый из чиповых кодов представляет собой вектор из 256 чипов, полученный по схеме Адамара (рис.9.5).

$$H_0 = (1)$$

$$H_k = \begin{pmatrix} H_{k-1} & H_{k-1} \\ H_{k-1} & -H_{k-1} \end{pmatrix} \quad k \geq 1$$

Рис. 9.5. Схема Адамара

Обозначим H_{16} матрицу, содержащую 256 строк, каждая из которых состоит из 256 элементов $h_m(i)$, $i = 0 \dots 255$, m – номер строки. Введем вектор \mathbf{z} из 16 символов,

$$\mathbf{z} = \langle \mathbf{b}, \mathbf{b}, \mathbf{b}, -\mathbf{b}, \mathbf{b}, \mathbf{b}, -\mathbf{b}, -\mathbf{b}, \mathbf{b}, -\mathbf{b}, \mathbf{b}, -\mathbf{b}, -\mathbf{b}, -\mathbf{b}, -\mathbf{b}, -\mathbf{b} \rangle, \quad (9.3)$$

где каждый символ \mathbf{b} в свою очередь является вектором, составленным из элементов вектора \mathbf{a} (4.1) с инвертированными знаками у второй половины элементов вектора \mathbf{a} :

$$\mathbf{b} = \langle x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, -x_9, -x_{10}, -x_{11}, -x_{12}, -x_{13}, -x_{14}, -x_{15}, -x_{16} \rangle \quad (9.4)$$

16 кодов вторичного канала SCH формируют следующим образом:

$$C_{ssc,k} = (1 + j) \times \langle h_m(0) \times z(0), h_m(1) \times z(1), h_m(2) \times z(2), \dots, h_m(255) \times z(255) \rangle, \quad (9.5)$$

$$k = 1, 2, 3, 16; \quad m = 16 \cdot (k - 1).$$

Считывая подряд коды вторичного канала SCH в 15 последовательных TS, UE по табл. 9.1 определяет начало кадра и номер кодовой группы.

Таблица 9.1

Scrambling Code Group	slot number														
	#0	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14
Group 0	1	1	2	8	9	10	15	8	10	16	2	7	15	7	16
Group 1	1	1	5	16	7	3	14	16	3	10	5	12	14	12	10
Group 2	1	2	1	15	5	5	12	16	6	11	2	16	11	15	12
Group 3	1	2	3	1	8	6	5	2	5	8	4	4	6	3	7
Group 4	1	2	16	6	6	11	15	5	12	1	15	12	16	11	2
Group 5	1	3	4	7	4	1	5	5	3	6	2	8	7	6	8
Group 6	1	4	11	3	4	10	9	2	11	2	10	12	12	9	3
Group 7	1	5	6	6	14	9	10	2	13	9	2	5	14	1	13
Group 8	1	6	10	10	4	11	7	13	16	11	13	6	4	1	16
Group 9	1	6	13	2	14	2	6	5	5	13	10	9	1	14	10
Group 10	1	7	8	5	7	2	4	3	8	3	2	6	6	4	5
Group 11	1	7	10	9	16	7	9	15	1	8	16	8	15	2	2
Group 12	1	8	12	9	9	4	13	16	5	1	13	5	12	4	8
Group 13	1	8	14	10	14	1	15	15	8	5	11	4	10	5	4
Group 14	1	9	2	15	15	16	10	7	8	1	10	8	2	16	9
Group 15	1	9	15	6	16	2	13	14	10	11	7	4	5	12	3
Group 16	1	10	9	11	15	7	6	4	16	5	2	12	13	3	14
Group 17	1	11	14	4	13	2	9	10	12	16	8	5	3	15	6
Group 18	1	12	12	13	14	7	2	8	14	2	1	13	11	8	11
Group 19	1	12	15	5	4	14	3	16	7	8	6	2	10	11	13
Group 20	1	15	4	3	7	6	10	13	12	5	14	16	8	2	11
Group 21	1	16	3	12	11	9	13	5	8	2	14	7	4	10	15
Group 22	2	2	5	10	16	11	3	10	11	8	5	13	3	13	8
Group 23	2	2	12	3	15	5	8	3	5	14	12	9	8	9	14
Group 24	2	3	6	16	12	16	3	13	13	6	7	9	2	12	7
Group 25	2	3	8	2	9	15	14	3	14	9	5	5	15	8	12
Group 26	2	4	7	9	5	4	9	11	2	14	5	14	11	16	16
Group 27	2	4	13	12	12	7	15	10	5	2	15	5	13	7	4
Group 28	2	5	9	9	3	12	8	14	15	12	14	5	3	2	15
Group 29	2	5	11	7	2	11	9	4	16	7	16	9	14	14	4
Group 30	2	6	2	13	3	3	12	9	7	16	6	9	16	13	12
Group 31	2	6	9	7	7	16	13	3	12	2	13	12	9	16	6
Group 32	2	7	12	15	2	12	4	10	13	15	13	4	5	5	10
Group 33	2	7	14	16	5	9	2	9	16	11	11	5	7	4	14
Group 34	2	8	5	12	5	2	14	14	8	15	3	9	12	15	9
Group 35	2	9	13	4	2	13	8	11	6	4	6	8	15	15	11
Group 36	2	10	3	2	13	16	8	10	8	13	11	11	16	3	5
Group 37	2	11	15	3	11	6	14	10	15	10	6	7	7	14	3
Group 38	2	16	4	5	16	14	7	11	4	11	14	9	9	7	5
Group 39	3	3	4	6	11	12	13	6	12	14	4	5	13	5	14
Group 40	3	3	6	5	16	9	15	5	9	10	6	4	15	4	10
Group 41	3	4	5	14	4	6	12	13	5	13	6	11	11	12	14
Group 42	3	4	9	16	10	4	16	15	3	5	10	5	15	6	6
Group 43	3	4	16	10	5	10	4	9	9	16	15	6	3	5	15
Group 44	3	5	12	11	14	5	11	13	3	6	14	6	13	4	4
Group 45	3	6	4	10	6	5	9	15	4	15	5	16	16	9	10
Group 46	3	7	8	8	16	11	12	4	15	11	4	7	16	3	15
Group 47	3	7	16	11	4	15	3	15	11	12	12	4	7	8	16
Group 48	3	8	7	15	4	8	15	12	3	16	4	16	12	11	11
Group 49	3	8	15	4	16	4	8	7	7	15	12	11	3	16	12

Таблица 9.1 (продолжение)

Scrambling Code Group	slot number															
	#0	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	#11	#12	#13	#14	
Group 50	3	10	10	15	16	5	4	6	16	4	3	15	9	6	9	
Group 51	3	13	11	5	4	12	4	11	6	6	5	3	14	13	12	
Group 52	3	14	7	9	14	10	13	8	7	8	10	4	4	13	9	
Group 53	5	5	8	14	16	13	6	14	13	7	8	15	6	15	7	
Group 54	5	6	11	7	10	8	5	8	7	12	12	10	6	9	11	
Group 55	5	6	13	8	13	5	7	7	6	16	14	15	8	16	15	
Group 56	5	7	9	10	7	11	6	12	9	12	11	8	8	6	10	
Group 57	5	9	6	8	10	9	8	12	5	11	10	11	12	7	7	
Group 58	5	10	10	12	8	11	9	7	8	9	5	12	6	7	6	
Group 59	5	10	12	6	5	12	8	9	7	6	7	8	11	11	9	
Group 60	5	13	15	15	14	8	6	7	16	8	7	13	14	5	16	
Group 61	9	10	13	10	11	15	15	9	16	12	14	13	16	14	11	
Group 62	9	11	12	15	12	9	13	13	11	14	10	16	15	14	16	
Group 63	9	12	10	15	13	14	9	14	15	11	11	13	12	16	10	

Следующий этап подключения UE к сети состоит в чтении канала BCCH. Для этого UE анализирует содержание первичного P-CCPCH, который занимает, как было сказано, 9/10 всех TS 10 мс кадра. Запуская все 8 возможных первичных кодов, UE определяет код, используемый в данной соте, после чего читает информацию канала BCH. Передачу в CCPCH-1 ведут с $SF=256$ и символьной скоростью 27 ксимв/с

Каждая базовая станция передает первичный пилотный канал CPICH (Common Pilot Channel). Это немодулированный канал, который скремблирован первичным кодом и закрыт каналообразующим кодом $C_{ch,256,0}$ (256 "0"). UE использует его для оценки уровня принимаемых сигналов своей и соседних BS, для синхронизации, в том числе при выполнении хэндоверов и реселекции сот. Регулируя уровни излучения CPICH в различных сотах, оператор может изменять баланс загрузки соседних сот.

Первичный пилотный канал CPICH, каналы P-CCPCH, PICH, MICH, AICH и S-CCPCH, по которому передают пейджинг (PCH), обязательно закрыты первичным скремблирующим кодом. Канал BCCH всегда закрыт каналообразующим кодом $C_{ch,256,1}$. Все остальные физические каналы "вниз" закрыты каналообразующими кодами по усмотрению оператора сети.

Случайный доступ UE к сети состоит из одного или нескольких посылок **преамбулы** длиной 4096 чипов и **сообщения по каналу PRACH** длиной 10 или 20 мс. Преамбула состоит из 256 повторов выбранной UE сигнатуры. Сигнатуру UE выбирает случайным образом из 16 возможных вариантов (табл. 9.2). Элементы преамбулы определены как

$$C_{sig,s}(i) = Ps(i \text{ modulo } 16), i = 0, 1, \dots, 4095. \quad (9.6)$$

Таблица 9.2.

Preamble signature	Value of n															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$P_0(n)$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$P_1(n)$	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1
$P_2(n)$	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
$P_3(n)$	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1
$P_4(n)$	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1
$P_5(n)$	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1
$P_6(n)$	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1
$P_7(n)$	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1
$P_8(n)$	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
$P_9(n)$	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1
$P_{10}(n)$	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
$P_{11}(n)$	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1
$P_{12}(n)$	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
$P_{13}(n)$	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1
$P_{14}(n)$	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1
$P_{15}(n)$	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1

Отправив преамбулу, абонентская станция слушает канал AICH (Acquisition Indicator Channel), декодируя его сообщения в ожидании подтверждения посланной преамбулы. При отсутствии сигнала AICH терминал повторяет запрос, увеличивая мощность на основе информации, полученной от BS.

Получив ответ по каналу AICH, терминал посылает по каналу PRACH начальное сообщение длительностью 10 или 20 мс.

И преамбула, и сообщение по каналу PRACH закрыты скремблирующими кодами вверх, определяемыми номером выбранной преамбулы и номером первичного скремблирующего кода базовой станции.

9.3. Передача информации по выделенным каналам

При передаче вверх информационный канал DPDCH всегда сопровождает канал управляющей информации DPCCH. При этом каналы DPDCH и DPCCH передают на ортогональных поднесущих, используя в каждом канале модуляцию 2-ФМ. Канал DPDCH закрывают каналообразующим кодом $C_{ch,SF,k}$, где $k = SF/4$. Сигнал канала DPCCH всегда заполнен кодом $C_{ch,256,0}$. Каналы DPDCH/DPCCH закрыты комплексным скремблирующим кодом вверх, который UE назначает контроллер RNC.

Структуры кадров обоих каналов показаны на рис.9.6.

Как было сказано, информацию в канале DPCCH передают с $SF = 256$. Следовательно, каждый TS канала DPCCH содержит 10 бит и включает в себя следующие поля:

- пилотная последовательность (Pilot), необходимая для обеспечения когерентного приема,
- TFCI – Transport Format Combination Indicator, индикатор скорости передачи, которая может меняться от кадра к кадру; это поле опционально и при передаче с постоянной скоростью может отсутствовать,
- TPC – Transmit Power Control, команда управления мощностью передатчика BS,
- FBI – Feedback Information, команда управления передатчиками BS при разноскоростной передаче.

Из этих 4 полей поля Pilot и TPC обязательны, поля TFCI и FBI опциональны.

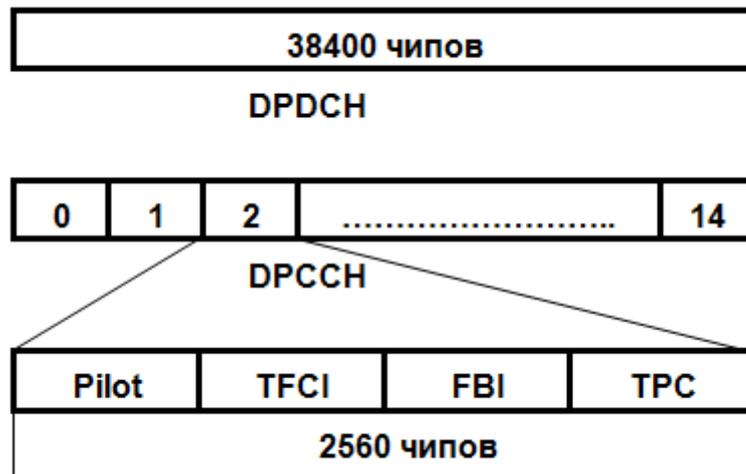


Рис. 9.6. Структура выделенных каналов на линии вверх

Команда TPC (2бита) определяет один из двух вариантов команды управления мощностью передатчика базовой станции (увеличить – снизить). Используют две комбинации: 11 – “1” и 00 – “0”. Передача “1” соответствует увеличению мощности передатчика, передача “0” снижению мощности.

При передаче вниз происходит мультиплексирование данных и команд управления в одном кадре (рис. 9.7). При передаче в направлении вниз SF постоянен, а каналообразующий код назначает контроллер RNC. Форматы полей каналов DPDCH и DPCCH зависят от скорости передачи и числа TS в кадре: возможна передача сжатых (compressed) кадров.

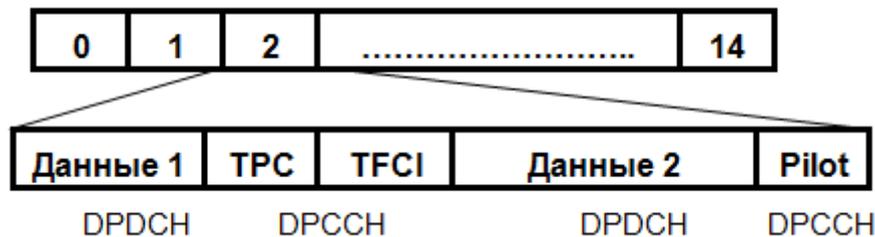


Рис. 9.7. Структура выделенных каналов на линии вниз

Из полей канала управления DPCCH обязательными являются Pilot ($N_{\text{pilot}} = 4 \dots 16(32)$ с уменьшением SF) и TPC ($N_{\text{TPC}} = 2 \dots 8$ (16) с уменьшением SF). Поле TFCI опционально; его наличие определяет UTRAN (фактически, RNC). Что касается поля TPC, то как и при передаче вверх, используют 2 команды: увеличить или снизить мощность передатчика UE. При этом команде “1” соответствуют комбинации бит 11 ($N_{\text{TPC}} = 2$), 1111 ($N_{\text{TPC}} = 4$) или 11111111 ($N_{\text{TPC}} = 8$). Команду “0” определяет соответствующее число нулей в поле TPC.

Для оценки канала в направлении вниз приемник UE, кроме пилотных бит канала DPCCH, может также использовать сигнал пилотного канала CPICH.

Характеристики основных пользовательских каналов DPDCH (Dedicated Physical Data Channel) в направлении вверх (UE \Rightarrow BS) и вниз (BS \Rightarrow UE) приведены в табл. 9.3 и 9.4.

Таблица 9.3

DPDCH коэфф. расширения спектра SF	Скорость передачи DPDCH по радиоканалу (кбит/с)	Скорость передачи абонентских данных при канальном кодировании с $R=1/2$ (кбит/с, ориентир.)
256	15	7,5
128	30	15
64	60	30
32	120	60
16	240	120
8	480	240
4	960	480
4 при 6 каналах параллельно	5740	2300

Таблица 9.4

Коэфф. расширения спектра SF	Символьная скорость в радиоканале (кбит/с)	Битовая скорость в радиоканале (кбит/с)	Битовая скорость передачи информации DPDCH (кбит/с)	Макс. скорость передачи абонентских данных при канальном кодировании с $R=1/2$ (кбит/с, ориентир.)
512	7,5	15	3 – 6	1 – 3
256	15	30	12 – 24	6 – 12
128	30	60	42 – 51	20 – 24
64	60	120	90	45
32	120	240	210	105
16	240	480	432	215
8	480	960	912	456
4	960	1920	1872	936
4, при 3 каналах паралл.	2880	5760	5616	2300

В табл. 9.3 (направление вверх) во втором столбце указана скорость передачи символов в радиоканале, а в третьем – реальная скорость передачи абонентской информации при использовании избыточного сверточного кодирования со скоростью $R_{код}=1/2$, т.е. когда один информационный бит кодируют двумя символами. Табл. 9.4 имеет более сложную структуру. Это объясняется тем, что в UTRA-FDD по каналу DPDCH вниз биты трафика мультиплексируют, т.е. передают вместе с битами сообщений канала управления. Кроме того, из-за использования квадратурной модуляции 4-ФМ каждый модулирующий символ несет информацию о двух информационных битах. Результаты расчета скорости передачи абонентской информации при $R_{код}=1/2$ приведены в последнем 5-м столбце табл. 9.4.

Из табл. 9.3 и 9.4 следует, что максимальная скорость передачи при SF=4 составляет 480 кбит/с в направлении вверх и 936 кбит/с в направлении вниз. Если требуется организовать передачу с более высокими скоростями, то одному пользователю выделяют несколько параллельных каналов передачи при SF=4. Заметим, что скорости передачи вверх и вниз не обязательно должны быть равными. Наоборот, при передаче данных по большей части каналы будут асимметричными.

9.4. Управление хэндоверами. Мягкий хэндовер в UTRAN.

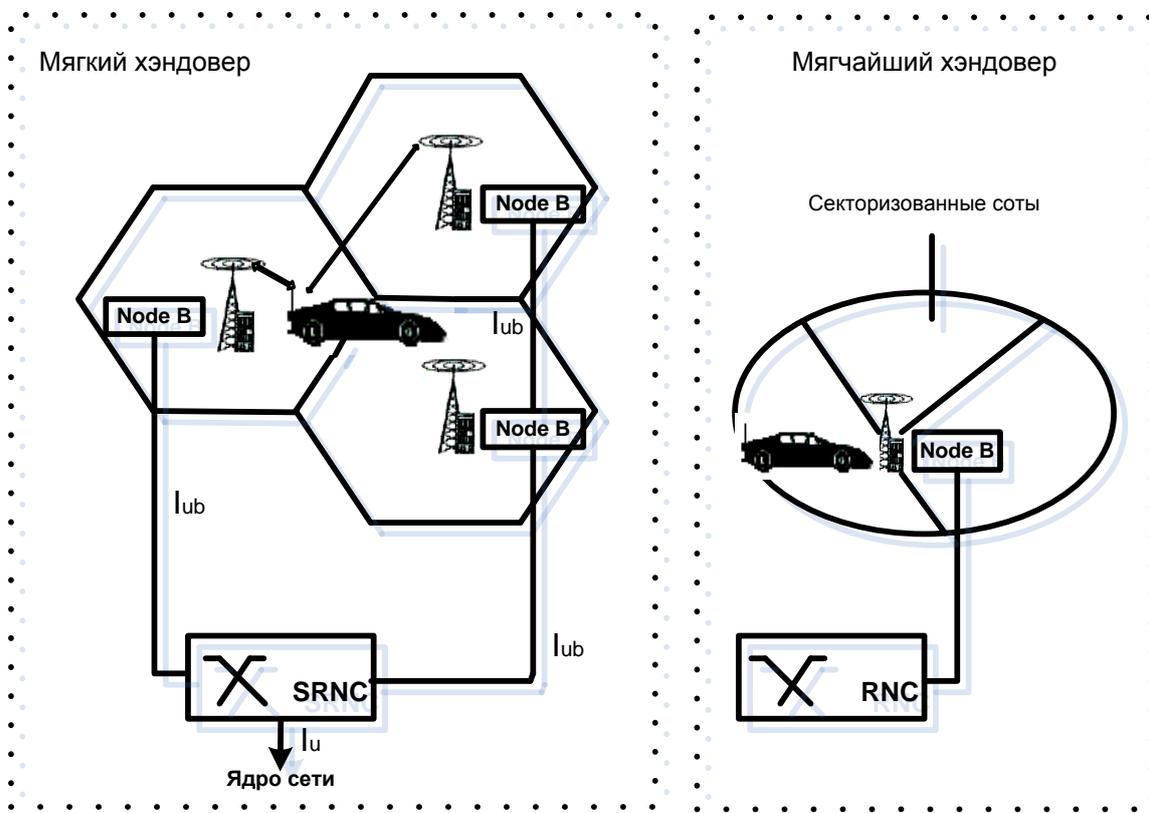
В UTRAN в организации хэндоверов участвуют UE, RNC и в качестве подчиненного элемента Node B. Как и в других стандартах сотовой связи, в UMTS осуществляют как хэндоверы, целью которых является сохранения требуемого качества связи (спасающие хэндоверы), так и хэндоверы, оптимизирующие нагрузку в отдельных сотах сети. Хэндоверы в UTRAN разделяют на жесткие и мягкие.

При жестких хэндоверах происходит перерыв в передаче трафика.

Наиболее характерным для UTRAN является мягкий хэндовер, когда в процессе перемещения из соты в соту UE одновременно связана на одной частоте с двумя или тремя BS (рис. 9.8). Активная UE имеет список скремблирующих кодов соседних BS и измеряет мощности их сигналов в каналах CPICH и SCH. Если эти мощности становятся соизмеримыми с мощностью соответствующих каналов, получаемых от обслуживающей BS, то возможен мягкий хэндовер. Существуют 3 варианта мягких хэндоверов:

- мягкий (soft) хэндовер, когда занятыми в нем BS управляет один SRNC,
- мягчайший (softer) хэндовер, когда в нем участвуют 2 BS одного Node B (BS соседних секторов). При этом каждая BS своим передатчиком закрывает один сектор, но принимает сигналы как со своего, так и из соседних секторов;
- мягкий хэндовер, в осуществлении которого участвуют 2 контроллера, один обслуживающий SRNC и один пассивный DRNC.

Мягкий / Мягчайший Хэндовер



Мягкий хэндовер

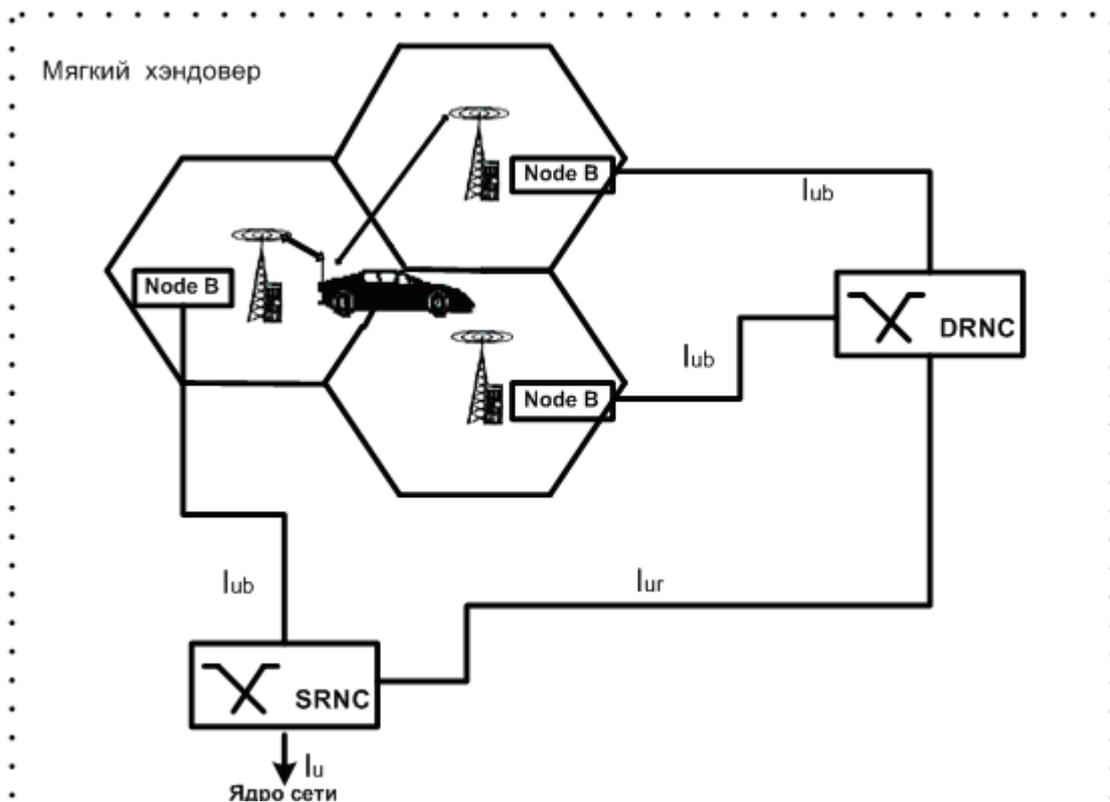


Рис. 9.8. Варианты мягкого хэндовера.

В основе всех хэндоверов лежат измерения, которые выполняют UE и активные BS. На основе анализа этих измерений решение о запуске хэндовера может принять сеть (SRNC – Network Evaluated Handover, NEHO) или мобильная станция. Такой хэндовер относят к классу MEHO – Mobile Evaluated Handover, MEHO, однако и в этом случае окончательное решение о запуске хэндовера остается за SRNC, поскольку только он распоряжается управлением канальным ресурсом.

Алгоритм мягкого хэндовера приведен на рис. 9.9. В основе хэндовера лежит процесс анализа измеренной на UE мощности пилотного канала CPICH Pilot-Ec по отношению к суммарному сигналу I₀ на входе приемника. Предположим, что обслуживать одного абонента одновременно могут только 2 BS. Введем следующие параметры хэндовера:

Reporting_range – порог для перевода соседней BS в активное состояние,

Hysteresis_event 1A – гистерезис для подключения BS,

Hysteresis_event 1B – гистерезис для отключения BS,

Hysteresis_event 1C – гистерезис для отключения BS,

Window_add = Reporting_range - Hysteresis_event 1A – окно подключения,

Window_drop = Reporting_range + Hysteresis_event 1B – окно отключения,

ΔT – время запуска,

Best_Pilot_Ec/I₀ – самый сильный из сигналов активных BS на входе приемника UE.

На рис. 9.9 показаны 3 перехода.

- Переход 1A (Event 1A – подключение соседней BS) происходит при выполнении следующего условия в течение времени ΔT :

$$Pilot_Ec/Io > Best_Pilot_Ec/Io - Reporting_range + Hysteresis_event\ 1A.$$

- Переход 1B (Event 1B – отключение одной из BS) происходит при выполнении в течение ΔT следующего неравенства:

$$Pilot_Ec/Io < Best_Pilot_Ec/Io - Reporting_range - Hysteresis_event\ 1B.$$

- Переход 1C (Event 1C) – замещение одной активной BS другой происходит при

выполнении неравенства: $Best_Candidate_Pilot_Ec/Io > Wprst_Old_Pilot_Ec/Io + Hysteresis_event\ 1C$ в течение ΔT .

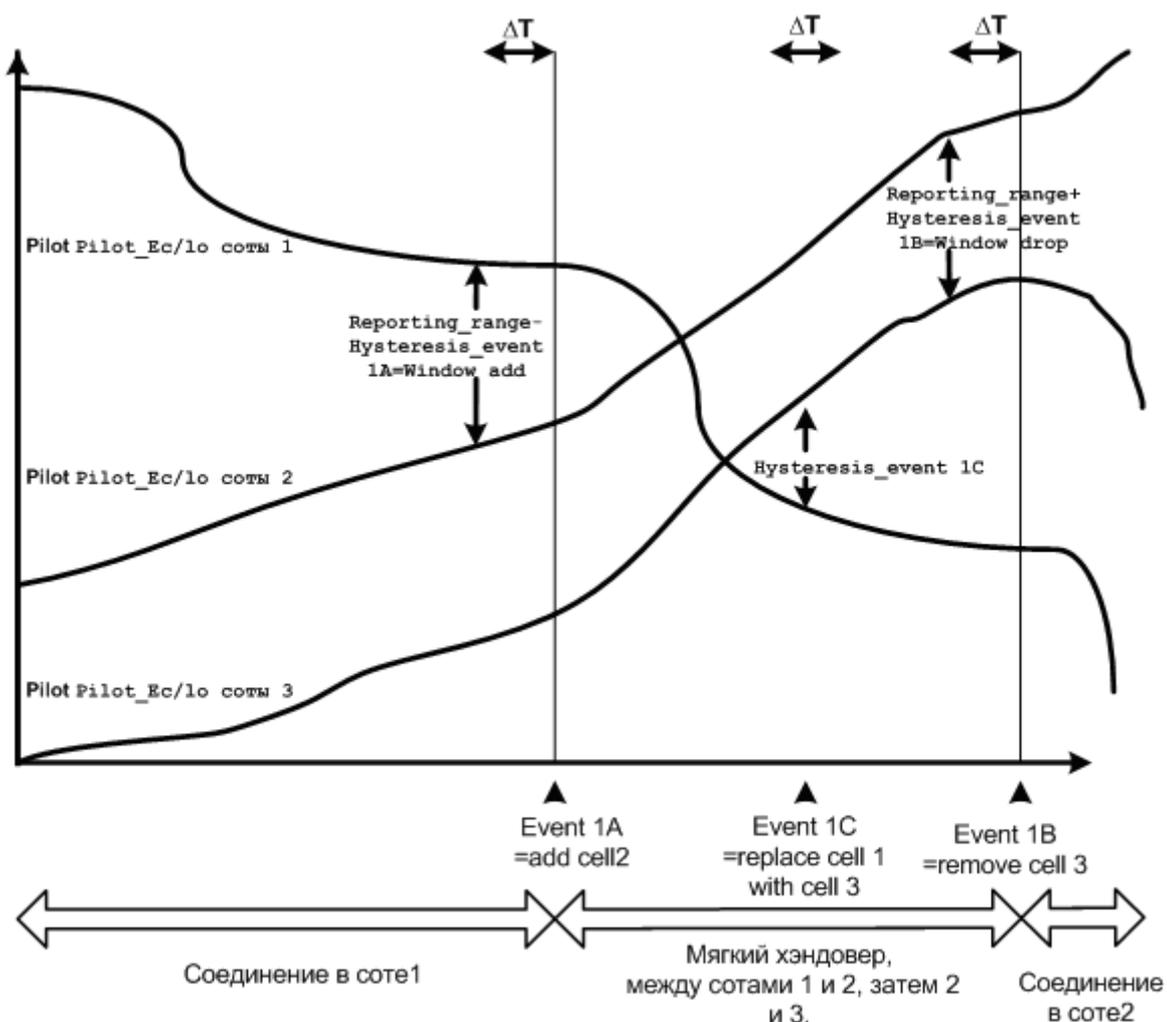


Рис. 9.9. Алгоритм мягкого хэндовера.

Для того, чтобы RNC мог принять соответствующее решение, UE обязана посылать телеметрию о всех соседних BS, для которых $Pilot_Ec/Io > -20$ дБ.

При организации мягких хэндоверов необходима также временная синхронизация сигналов трафика соседних активных BS, иначе UE будет сложно организовать когерентный прием в своем Rake приемнике.

При использовании мягких хэндоверов эквивалентные потери на трассах снижаются на 3 – 4 дБ.

10. Высокоскоростная передача данных в пакетном режиме

При пакетной передаче данных в сетях UMTS используют специальные технологии: **высокоскоростную передачу данных вниз (HSDPA – High Speed Downlink Packet Access)** и вверх (**HSUPA - High Speed Uplink Packet Access**). Рассмотрим технологию высокоскоростной передачи вниз HSDPA, поскольку ее применение в действующих сетях обязательно.

Данные передают по физическому каналу HS-DSCH (High Speed Downlink Shares Channel) короткими кадрами длиной 2 мс с постоянным коэффициентом расширения спектра $SF = 16$, что позволяет отслеживать быстрые замирания сигнала в канале. Скорость передачи информации на мобильный терминал определяется:

- числом одновременно передаваемых на терминал парциальных каналов (кодов) в интервале $C_{ch,16,1}$ до $C_{ch,16,15}$; минимально терминал получает 1 код из указанного множества, максимально – 15 (рис.10.1). Коды, используемые в технологии HSDPA, приведены в табл. 10.1;

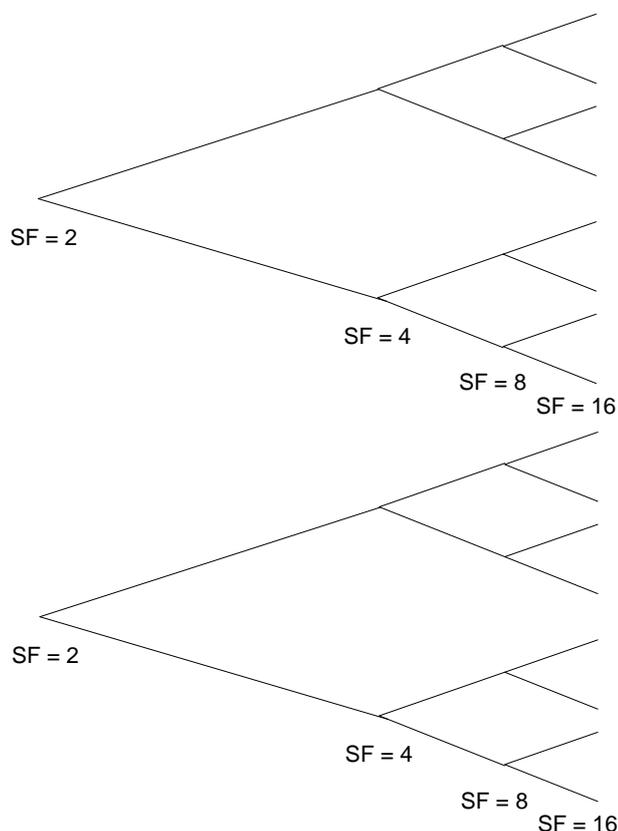


Рис. 10.1. Кодовое дерево для организации высокоскоростного доступа

Таблица 10.1

Номер кода i	Код $C_{ch, 16, i}$
1	11111111-1-1-1-1-1-1-1-1
2	1111-1-1-1-11111-1-1-1-1
3	1111-1-1-1-1-1-1-1-11111
4	11-1-111-1-111-1-111-1-1

5	11-1-111-1-1-1-111-1-111
6	11-1-1-1-11111-1-1-1-111
7	11-1-1-1-111-1-11111-1-1
8	1-11-11-11-11-11-11-11-1
9	1-11-11-11-1-11-11-11-11
10	1-11-1-11-111-11-1-11-11
11	1-11-1-11-11-11-111-11-1
12	1-1-111-1-111-1-111-1-11
13	1-1-111-1-11-111-1-111-1
14	1-1-11-111-11-1-11-111-1
15	1-1-11-111-1-111-11-1-11

- модуляционно-кодирующей схемой; возможно использование модуляции 4-ФМ, 16-КАМ, 64-КАМ (рис. 10.2) при изменении скорости избыточного (защитного) кодирования от 0,25 до 0,97; при низких скоростях кодирования и при повторной передаче неприятых кадров применяют турбокоды;

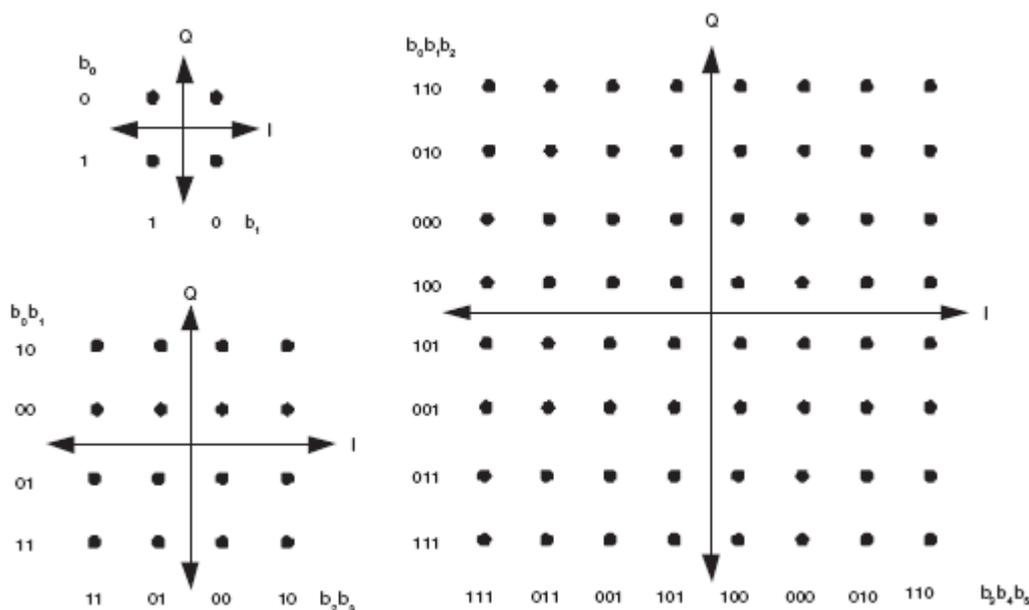


Рис. 10.2. Созвездия сигналов, используемых в HSDPA

- числом одновременно принимаемых частотных каналов при использовании технологии агрегации полос; номинальная ширина полосы в стандарте UMTS составляет 5 МГц, эффективная полоса – 3,84 МГц;

- использованием пространственного мультиплексирования (многоантенной передачи MIMO).

Скорости передачи внутри кадра в зависимости от типа модуляции и скорости кодирования $R_{\text{кода}}$ поясняет табл. 10.2.

Таблица 10.2

Модуляция	Скорость кода $R_{\text{кода}}$	Скорость данных (1 код)	Скорость данных (5 кодов)	Скорость данных (15 кодов)
4-ФМ	1/4	119 кбит/с	0,6 Мбит/с	1,8 Мбит/с
4-ФМ	1/2	237 кбит/с	1,2 Мбит/с	3,6 Мбит/с
4-ФМ	3/4	356 кбит/с	1,8 Мбит/с	5,3 Мбит/с
16-КАМ	1/2	-	2,4 Мбит/с	7,2 Мбит/с
16-КАМ	3/4	-	3,6 Мбит/с	10,7 Мбит/с
64-КАМ	3/4	-	5,4 Мбит/с	16,1 Мбит/с

Абонентская аппаратура поделена на категории в соответствии с теми возможностями, которая она в режиме HSDPA поддерживает на физическом уровне. В Rel.13 существуют 38 категорий пользовательской аппаратуры. Эти категории описаны в табл. 10.3.

Во втором столбце табл. 10.3 указано максимальное число парциальных каналов (кодов), которое может принимать UE одновременно в одном частотном канале.

В третьем столбце приведен минимальный временной интервал между следующими друг за другом кадрами. Если он равен 1, то кадры могут следовать непрерывно. Когда он равен 2, временной зазор должен быть не меньше 2 мс (длины одного кадра), если он равен 3, временной зазор должен составлять не менее 4 мс (удвоенной длины кадра).

В 4 столбце указано число частотных каналов, которое UE может принимать одновременно, используя технологию агрегации частотных полос для увеличения скорости передачи данных. Это число может составлять 2, 3, 4, 6 и 8 частотных каналов, которые могут находиться в разных диапазонах.

Столбец 5 характеризует возможности использования пространственного мультиплексирования (MIMO) при передаче нескольких потоков данных в одном физическом канале с разных антенн базовой станции. В левой части дроби указано максимальное число частотных каналов, где может быть реализовано MIMO, в правой – число независимых потоков данных в одном физическом канале.

6 столбец содержит информацию о поддерживаемых UE видах модуляции. В 7 столбце приведены предельные сквозные скорости передачи данных на UE разных категорий.

Для каждой категории и абонентских станций существуют 30 вариантов форматов передачи, характеризующихся модуляционно-кодирующей схемой, числом выделенных абоненту кодов и уровнями передаваемых парциальных сигналов (кодов)³. Каждому формату соответствует численное значение индикатора качества канала CQI (Channel Quality Indicator). Для разных категорий UE разработаны разные таблицы соответствия CQI и формата передачи, поименованные буквами: A, B, C...K (TS 25.214). Так, для UE категорий 1 – 7 (табл. 10.3) используют таблицу соответствия A, для станций категорий 7 и 8 – таблицу B, станций категорий 10, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28 – 38 (без использования модуляции 64-КАМ и MIMO) таблицу D, станций категорий 14, 18, 20, 24, 28 – 38 (без использования

³ При использовании MIMO для некоторых категорий станций число форматов сокращено до 15.

MIMO, но с использованием 64-QAM) таблицу G и т.д. Приведем в качестве примера таблицы соответствия D (табл. 10.4) и G (табл. 10.5).

Таблица 10.3

Категория UE по каналу HS-DSCH	Максимум принимаемых кодов по каналу HS-DSCH	Минимальный интервал между кадрами	Максимальное число принимаемых частотных каналов	Число частотных каналов с реализацией MIMO/ число независимых потоков данных в канале	Используемые виды модуляции	Максимальная сквозная скорость передачи, Мбит/с
1	5	3	1	0	4-ФМ 16-КАМ	1,2
2	5	3	1	0		1,2
3	5	2	1	0		1,8
4	5	2	1	0		1,8
5	5	1	1	0		3,6
6	5	1	1	0		3,6
7	10	1	1	0		7,2
8	10	1	1	0		7,2
9	15	1	1	0		10,1
10	15	1	1	0		14,0
11	5	2	1	0		4-ФМ
12	5	1	1	0	1,8	
13	15	1	1	0	4-ФМ 16-КАМ 64-КАМ	17,6
14	15	1	1	0		21,1
15	15	1	1	1/2	4-ФМ	23,4
16	15	1	1	1/2	16-КАМ	28,0
17 ⁴	15	1	1	0	4-ФМ 16-КАМ 64-КАМ	17,6
			1	1/2	4-ФМ 16-КАМ	23,4
18 ⁵	15	1	1	0	4-ФМ 16-КАМ 64-КАМ	21,1
			1	1/2	4-ФМ 16-КАМ	28,0
19	15	1	1	1/2	4-ФМ	35,3
20	15	1	1	1/2	16-КАМ 64-КАМ	42,2
21	15	1	2	0	4-ФМ	23,4
22	15	1	2	0	16-КАМ	28,0
23	15	1	2	0	4-ФМ 16-КАМ 64-КАМ	35,3
24	15	1	2	0		42,2
25	15	1	2	2/2	4-ФМ	46,7
26	15	1	2	2/2	16-КАМ	55,9
27	15	1	2	2/2	4-ФМ 16-КАМ 64-КАМ	70,6
28	15	1	2	2/2		84,4
29	15	1	3	0		63,3
30	15	1	3	3/2		126,6
31	15	1	4	0		84,4
32	15	1	4	4/2		168,8
33	15	1	6	0		126,6
34	15	1	6	6/2		253,2
35	15	1	8	0		168,8
36	15	1	8	8/2		337,5
37	15	1	2	2/2 и 2/4		168,8
38	15	1	4	4/2 и 4/4	337,5	

⁴ Один из двух возможных вариантов⁵ Один из двух возможных вариантов

Таблица 10.4

CQI	Размер транспортно-го блока (бит)	Число выделяемых кодов	Модуляция
1	137	1	4-ФМ
2	173	1	4-ФМ
3	233	1	4-ФМ
4	317	1	4-ФМ
5	377	1	4-ФМ
6	461	1	4-ФМ
7	650	2	4-ФМ
8	792	2	4-ФМ
9	931	2	4-ФМ
10	1262	3	4-ФМ
11	1483	3	4-ФМ
12	1742	3	4-ФМ
13	2279	4	4-ФМ
14	2583	4	4-ФМ
15	3319	5	4-ФМ
16	3565	5	16-КАМ
17	4189	5	16-КАМ
18	4664	5	16-КАМ
19	5287	5	16-КАМ
20	5887	5	16-КАМ
21	6554	5	16-КАМ
22	7168	5	16-КАМ
23	9719	7	16-КАМ
24	11418	8	16-КАМ
25	14411	10	16-КАМ
26	17237	12	16-КАМ
27	21754	15	16-КАМ
28	23370	15	16-КАМ
29	24222	15	16-КАМ
30	25558	15	16-КАМ

Таблица 10.5

CQI	Размер транспортно-го блока (бит)	Число выделяемых кодов	Модуляция
1	136	1	4-ФМ
2	176	1	4-ФМ
3	232	1	4-ФМ
4	320	1	4-ФМ
5	376	1	4-ФМ
6	464	1	4-ФМ
7	648	2	4-ФМ
8	792	2	4-ФМ
9	928	2	4-ФМ
10	1264	3	4-ФМ
11	1488	3	4-ФМ
12	1744	3	4-ФМ
13	2288	4	4-ФМ
14	2592	4	4-ФМ
15	3328	5	4-ФМ
16	3576	5	16-КАМ
17	4200	5	16-КАМ
18	4672	5	16-КАМ
19	5296	5	16-КАМ
20	5896	5	16-КАМ
21	6568	5	16-КАМ
22	7184	5	16-КАМ
23	9736	7	16-КАМ
24	11432	8	16-КАМ
25	14424	10	16-КАМ
26	15776	10	64-КАМ
27	21768	12	64-КАМ
28	26504	13	64-КАМ
29	32264	14	64-КАМ
30	38576	15	64-КАМ

Выбор формата передачи и числа кодов для конкретного абонента BS производит специальная программа в NodeB – планировщик (scheduler). Между NodeB и всеми UE, обслуживаемыми по технологии HSDPA, работает канал обратной связи в реальном времени. UE постоянно измеряют отношение сигнал/суммарная помеха (E_s/N_0), меняющееся во времени из-за перемещения абонента и замираний сигнала. В соответствии с измеренным (E_s/N_0) UE определяет оптимальный формат передачи в виде CQI и передают значение CQI на NodeB по специальному выделенному каналу управления HS-DPCCH (High Speed Dedicated Physical Control Channel). Планировщик анализирует информацию, поступающую по каналам HS-DPCCH от всех UE, и назначает время и форматы передач пакетного трафика вниз (рис. 10.3).

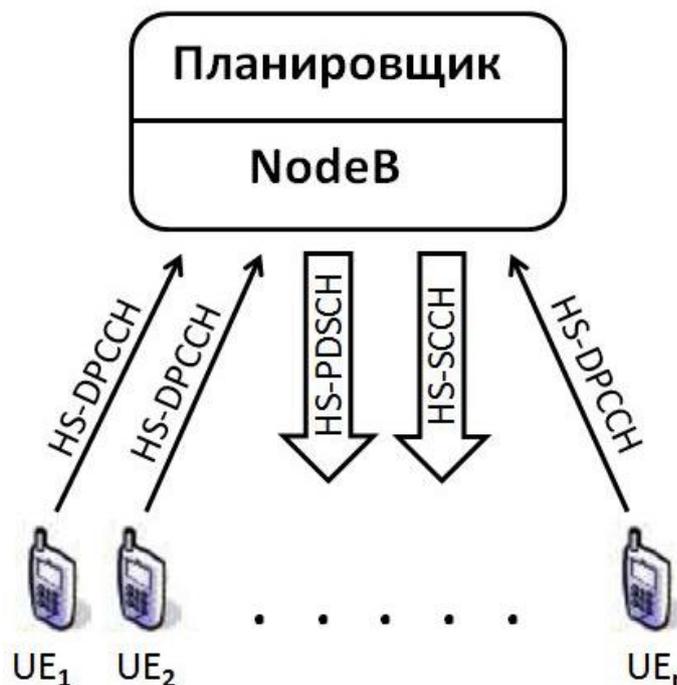


Рис. 10.3. Структура каналов при реализации технологии HSDPA

Сказанное иллюстрирует рис. 10.4. Верхняя кривая – результат измерения отношения (E_s/N_0) в UE. Нижняя кривая – соответствующий этим измерениям формат передачи, в котором UE готова принимать пакеты. BS выбирает для передачи пакетов конкретной UE моменты наилучших условий приема, что повышает общую пропускную способность сети и снижает задержки при передаче. Планировщики работают на основе **пропорционально справедливого алгоритма управления каналным ресурсом**, что обеспечивает обслуживание всех абонентов при оптимизации использования канального ресурса.

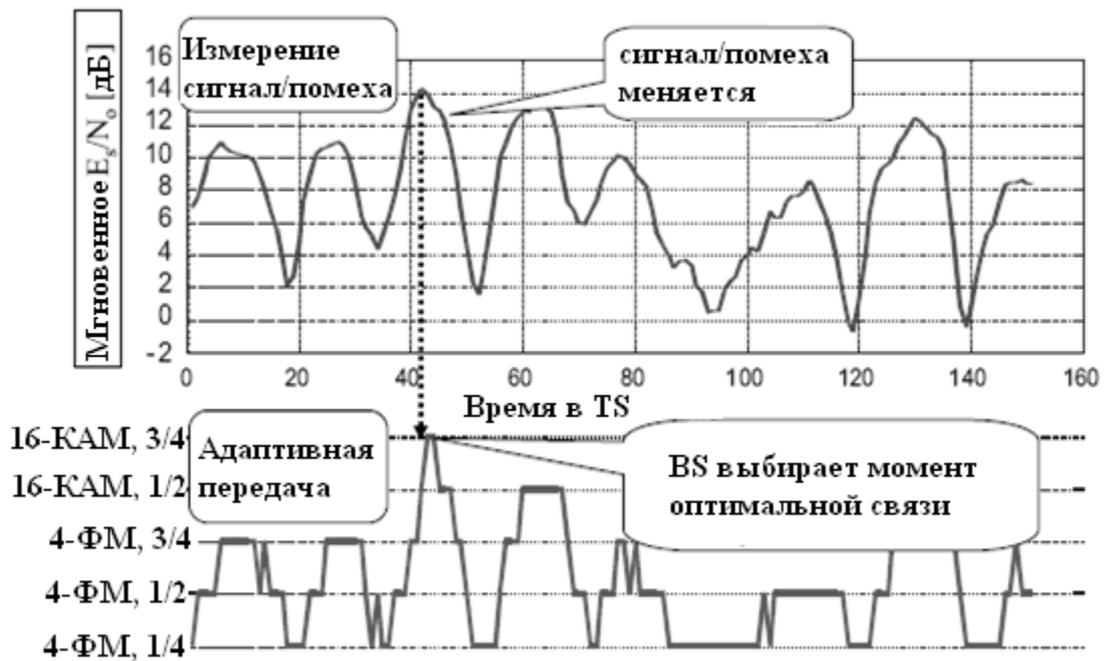


Рис. 10.4. Адаптивное управление передачей трафика вниз

Структура каналов при HSDPA показана на рис. 10.5. Информацию вниз передают по каналу HS-PDSCH в виде пакетов длительностью 2 мс. Для приема этой информации UE прослушивает специальный общий канал управления HS-SCCH (High Speed Shared Control Channel). По нему UE передают быстроменяющиеся параметры канала HS-PDSCH. В обратном направлении каждой UE выделяют специальный физический канал управления HS-DPCCH (High Speed Dedicated Physical Control Channel) для передачи в сеть подтверждений о приеме пакетов и информации об оптимальном TFRC по измерениям сигнала и помех на входе приемника UE. Кроме того, абонентским станциям выделяют дуплексный канал DCH для передачи сигнализации и команд управления, в частности, регулировки мощности. По Uplink и Downlink DCH возможна также передача другого (не высокоскоростного, например, телефонного) трафика.

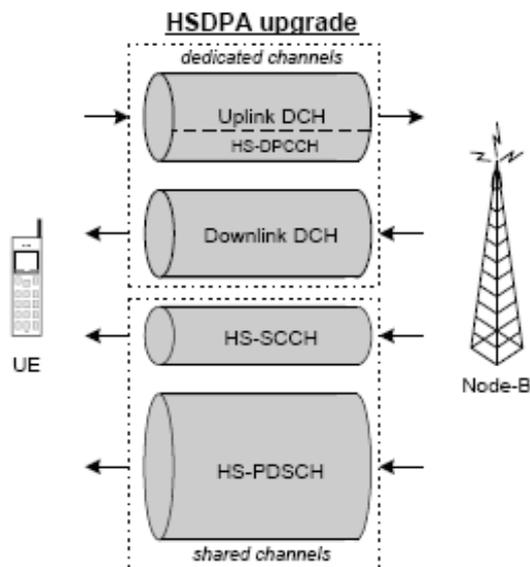


Рис. 10.5. Структура каналов при HSDPA

Обычно при отсутствии дополнительного трафика вниз вместо канала DCH используют канал F-DPCH с SF=256. Он предназначен только для передачи команд TPC управления мощности передатчиков UE. Каждый TS содержит 20 информационных бит, по 2 бита на одну UE, так что канал F-DPCH может управлять мощностью 10 UE одновременно. Сигнализацию при этом передают в пакетном режиме через HS-DSCH.

Остановимся на особенностях радиointерфейса, то-есть, на взаимодействии трех физических каналов: HS-PDSCH, HS-SCCH и HS-DPCCH. Первые два – общие прямые каналы, последний – выделенный обратный канал (рис. 10.6). Следует обратить внимание на временные соотношения между каналами на рис. 10.6, которые строго фиксированы в сети.

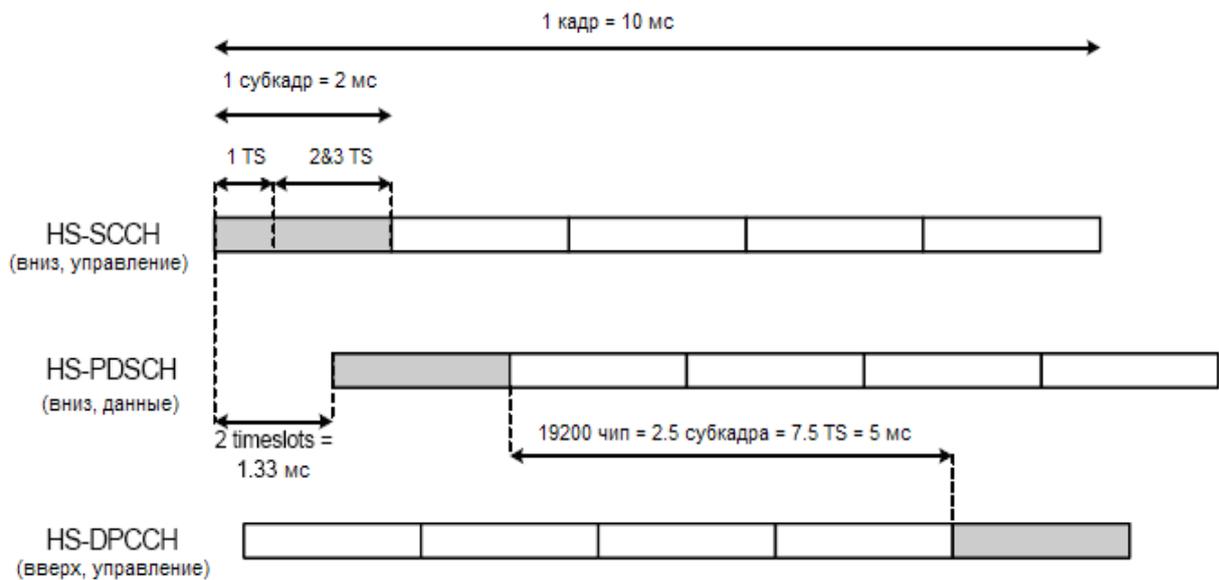


Рис. 10.6. Структура каналов при HSDPA

Информацию о передаче пакета UE получает по каналу HS-SCCH. Спецификации не регламентируют количество этих каналов в соте, но на практике их число не превышает 4. Абонентская станция может принимать одновременно до 4 каналов HS-SCCH, выделяя из них тот, по которому передают информацию, предназначенную ей. В каналах HS-SCCH SF=128, одно сообщение занимает 3TS (рис. 10.7).

Информацию о субкадре конкретному абоненту начинают передавать на 2 TS раньше, чем сам субкадр по каналу HS-PDSCH, так что он наложен на субкадр HS-SCCH одним таймслотом. Это может показаться странным, так как, казалось бы, мобильная станция должна сначала прочесть субкадр HS-SCCH, чтобы знать, адресован ли ей HS-PDSCH канал. На самом деле, особенностью HSDPA является то, что идентифицировать UE, а значит, определить, адресован ли ей канал трафика, можно уже по первому таймслоту HS-SCCH субкадра. Данные в этом таймслоте маскированы символьной строкой, представляющей собой идентификатор UE H-RNTI. Декодировать строку (а значит, и таймслот) можно только с помощью такого же идентификатора. При этом первый таймслот содержит информацию о предоставленных абоненту кодах (7 бит) и схеме модуляции (1 бит), так что после декодирования этих данных абонентская станция готова к приему пакета трафика.

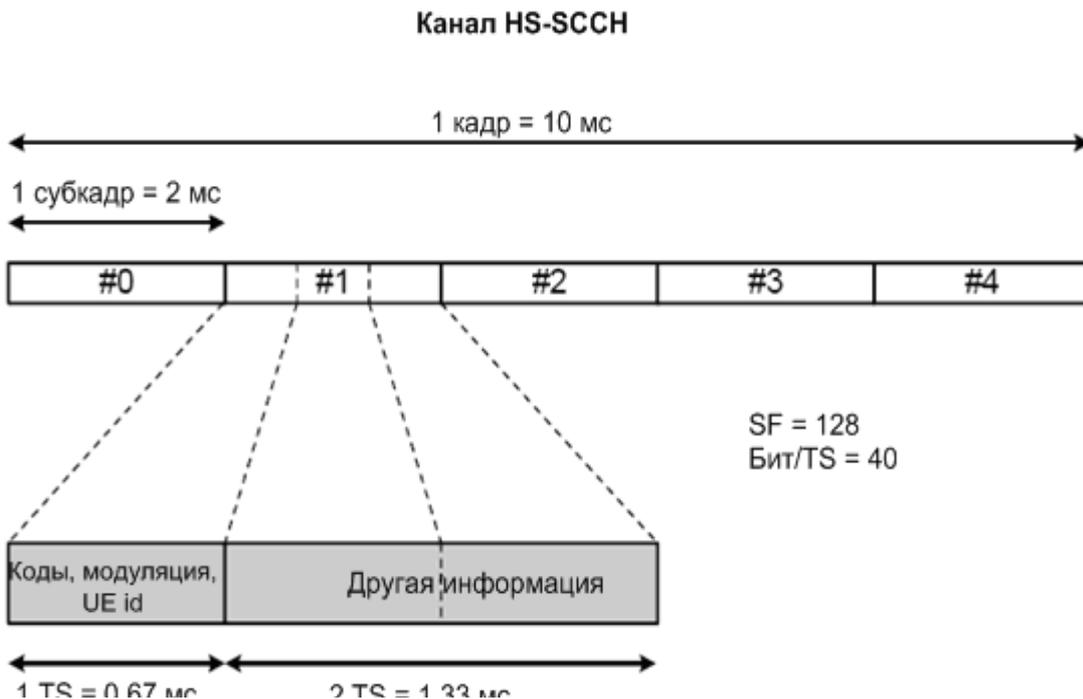


Рис. 10.7. Структура пакета канала HS-SCCH

Два других тайм-слота пакета HS-SCCH содержат следующую информацию:

- размер транспортного блока (6 бит),
- данные о HARQ (3 бита),
- данные об избыточности и виде созвездия модуляции (3 бита),
- индикатор нового сообщения (1 бит).

Общее число информационных бит равно 37. После избыточного кодирования их число возрастает до 120.

После того, как мобильная станция приняла кадр HS-PDSCH, она отправляет на NodeB подтверждение о приеме ACK (acknowledgement), или отчет о неполучении NACK в случае наличия ошибок в кадре, используя канал HS-DPCCH. Для защиты самого отчета используют мощное избыточное кодирование. Отчет, передаваемый всего одним битом: 1 – ACK, 0 – NACK, канальный кодер повторяет 10 раз, так что на его выходе оказывается 10 бит.

Информация об ACK или NACK занимает первый TS субкадра канала HS-DPCCH. В двух остальных UE передает информацию о состоянии канала CQI (Channel Quality Information). Это число в диапазоне 1...30, определяющее, какой максимальный объем данных (с какой максимальной скоростью передачи) UE готова принять в очередном субкадре.

Повторная передача неприятых блоков осуществляют на основе технологии HARQ (Hybrid Automatic Repeat request).

HSDPA поддерживает два алгоритма повторной передачи данных:

- возрастающую избыточность (incremental redundancy, IR),
- повторение попытки (chase combining, CC).

HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) представляет собой схему адаптации канала, в которой отчеты о передаче, относящиеся к каналному уровню, используют для принятия решения о повторной передаче. Принимая очередной пакет, мобильная станция проверяет его на наличие ошибок, декодируя Check Redundancy Code (CRC). Размер CRC постоянный и составляет 24 бита на 3 таймслота. Если ошибки обнаружены и их невозможно исправить силами избыточного кодирования, UE посылает отчет о неполучении информации, запрашивая ее повторную передачу. При этом пакет, принятый с ошибками, не удаляют, а сохраняют в буфере UE. Получив повторно переданный пакет, мобильная станция вновь проверяет его на ошибки. При наличии таковых его объединяют со старым пакетом из буфера, что при использовании турбокодирования значительно повышает вероятность исправления ошибок. В этом состоит сущность метода Chase Combining.

Алгоритм Incremental Redundancy состоит в том, что каждый повторно передаваемый пакет не просто вновь пересылают по радиоканалу, но и кодируют всякий раз по-разному. В частности, при новом кодировании в процессе перфорации выбрасывают другие биты, чем при предыдущей передаче. В результате декодер получает существенную дополнительную информацию, что улучшает процесс декодирования. Однако, использование алгоритма IR требует увеличения объема буфера данных в UE. Передачу пакета вкуче с вышеуказанными технологиями повторяют до тех пор, пока он не будет принят без ошибок, либо не будет превышено максимально допустимое число повторных передач.

11. Услуги сетей 3 поколения. Обработка трафика в сетях UTRAN

Концепция пользовательских услуг в сетях радиодоступа 3-го поколения различает 4 класса трафика:

- *Голосовой трафик*
- *Потоковый трафик*
- *Интерактивный трафик*
- *Фоновый трафик*

Голосовой трафик (телефонию) передают с коммутацией каналов; трафик остальных классов передают с коммутацией пакетов.

Протоколы радиоинтерфейса имеют трехуровневую структуру (рис. 11.1). [

На физическом уровне (PHY) формируют физические каналы. На этом уровне (L1) реализуют все функции, связанные с непосредственной передачей информации по радиоканалу: модуляцию и демодуляцию, синхронизацию, управление мощностью передатчиков, кодирование и т.д. Протоколы физического уровня размещены в UE и в NodeB.

На уровне L2 трафик, как пользовательский, так и сигнальный, обрабатывают на уровнях RLC и MAC. Подуровень PDCP (Packet Data Convergence Protocol) используют только для обработки пакетов данных при пакетной передаче. PDCP сжимает заголовки пакетов и нумерует их при передаче с подтверждением. Транспортные и логические каналы также расположены на уровне (L2).

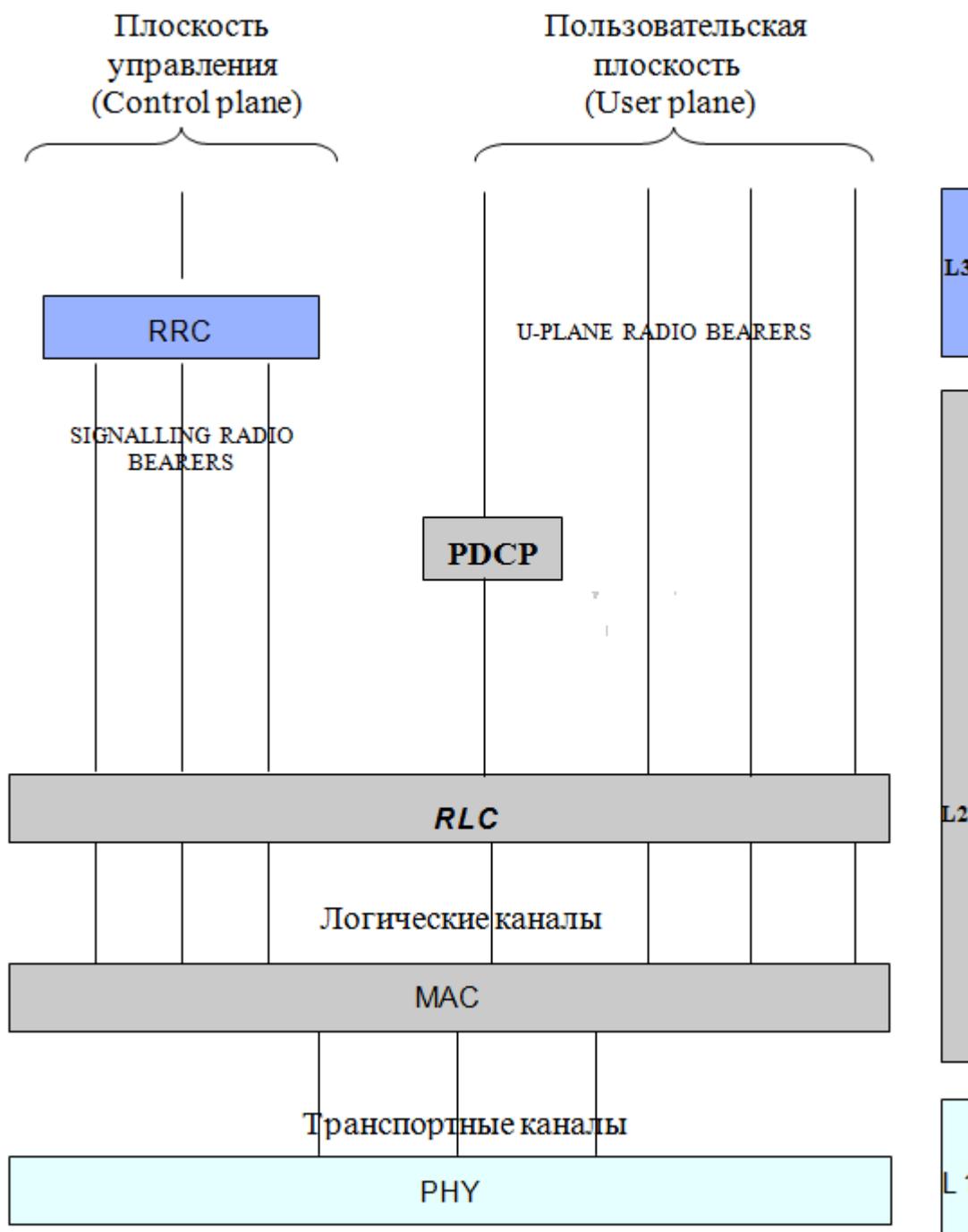


Рис. 11.1. Архитектура радиointерфейса UTRAN

На уровне RLC (Radio Link Control) производят:

- формирование пакетов (кадров) для передачи по радиointерфейсу,
- сегментацию и восстановление (объединение) данных,
- обеспечение требуемого режима передачи,
- повторную передачу кадров при наличии ошибок,
- обеспечение последовательности передаваемых пакетов,

- шифрацию при пакетной передаче данных.

В UTRAN используют 3 варианта обработки пакетов на RLC уровне.

RLC может быть прозрачен (transparent mode) для передаваемой информации. Это, как правило, информация голосового класса трафика. При этом данные не сегментируют и к ним не добавляют заголовков RLC протокола. Шифрацию этих потоков производят на уровне MAC. Так передают телефонный трафик, который обрабатывают только на уровне MAC.

Пакетный трафик обязательно обрабатывают на уровне RLC. Программное обеспечение этого уровня размещено в UE и RNC. При передаче пакетов возможны режимы без подтверждения и с подтверждением. При передаче без подтверждения (Unacknowledged Mode UM) доставка данных не гарантирована. При передаче с подтверждением (Acknowledged Mode - AM) работает алгоритм ARQ (Automatic Repeat Request) – автоматической повторной передачи, обеспечивающий доставку пакетов без ошибок.

На уровне MAC происходит:

- прикрепление логических каналов к соответствующим транспортным,
- выбор формата передачи в зависимости от скорости передачи данных,
- управление приоритетами,
- распределение канального ресурса между отдельными абонентами на общих транспортных каналах,
- мониторинг объема передаваемой информации,
- шифрация сообщений, если логический канал при передаче трафика прозрачен для RLC,
- коммутация (переключение) пакетов сообщений с одного типа транспортного канала на другой.

Программное обеспечение уровня MAC состоит из нескольких модулей. Большая часть этих модулей находится в UE и RNC. Но при реализации технологий HSPA специальные модули MAC располагают в NodeB.