

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.

Управление по схеме открытой петли в UMTS осуществляется до момента инициирования MC канала случайного доступа RACH, а затем передается менее инерционной схеме, работающей по принципу *быстрой замкнутой петли*. Данная схема обеспечивает более высокую точность управления, поскольку может быстрее реагировать на флюктуации условий распространения сигнала вследствие затенений и многолучевых замираний. Здесь базовая станция сама посылает MC команды на увеличение или уменьшение мощности передачи таким образом, чтобы обеспечить заданное отношение сигнал/помеха SIR_0 на входе своего приемника. Отношение это устанавливается в зависимости от текущих условий приема в соте и определяется на уровне контроллеров управления сетью RNC.

Отношение сигнал/помеха оценивается базовой станцией на выходе RAKE-приемника путем измерения мощности тестового сигнала в канале DPSSH и одновременно – общего уровня помех на данной частоте. Сгенерировав оценку SIR отношения сигнал/помеха (Signal-to-Interference Ratio), БС формирует команду TPC согласно правилу:

$$D_{\text{TPC}} = +1 \text{ (увеличить мощность на 1 дБ), если } SIR_i < SIR_0;$$
$$D_{\text{TPC}} = -1 \text{ (уменьшить мощность на 1 дБ), если } SIR_i > SIR_0.$$

В отдельных случаях также предусмотрен шаг изменения мощности на иную величину, например, 2 дБ. Команда управления мощностью содержится в каждом передаваемом слоте. При потребности в изменении мощности менее чем на 1 дБ, команда TRC в текущем слоте пропускается.

Различные режимы работы сети имеют свои особенности функционирования схемы управления мощностью передатчика. К примеру, при передаче обслуживания без смены частот («мягком» хэндовере) МС увеличивает мощность только в случае, если на необходимость этого указывают команды, принятые от всех без исключения конкурирующих БС. Если же хотя бы одна из команд указывает на необходимость уменьшения мощности (одна из БС находится в благоприятных условиях приема), то МС может продолжать уменьшать мощность своего передатчика. Наконец, если на необходимость снижения мощности МС указывают команды сразу нескольких БС, шаг изменения мощности может быть увеличен для более быстрого разрешения ситуации с конкурирующими БС.

Особенности функционирования схемы управления мощностью в нисходящем канале. Основываясь на данных об относительной частоте ошибок, передаваемых каждой МС в обратном канале, БС может распределять излучаемую мощность между обслуживаемыми МС с тем, чтобы обеспечить заданное качество предоставляемой услуги. Вместе с тем, канал от базовой станции к мобильной менее подвержен воздействию системных помех. Поэтому здесь на схему управления мощностью возложена дополнительная функция – выравнивание (оптимизация) нагрузки на различные соты сети. Чем более загружена БС данной соты, тем меньше уровень мощности сигналов, адресуемых обслуживаемым ей МС. Соответственно, сокращается радиус соты и уменьшается помеховое воздействие ее абонентов на соседние соты. Одновременно соседние БС, которые на текущий момент загружены меньше, «выигрывают» в конкурсе за обслуживание МС, находящихся на границах рассматриваемой соты, и забирают на себя часть ее нагрузки. Рабочее отношение сигнал/шум E_b/N_0 на входе приемника зависит от скорости передачи в выделенных физических каналах, поэтому последняя также существенно влияет на размеры зоны обслуживания.

Особенности реализации радиоинтерфейса UMTS в режимах FDD и TDD

Регламентом Радиосвязи МСЭ в странах Европы и большей части Азиатского континента для систем 3G предусматривается связь в режиме частотного дуплекса (FDD) в полосах частот 1920... 1980 МГц (uplink) и 2110...2170 МГц (downlink). В дополнение к FDD предусмотрен режим временного дуплекса TDD, который более эффективен в поддержке приложений, требующих асимметричного трафика.

Впрочем, изначально режим UMTS/TDD предусматривался для тех регионов, в которых сложившееся распределение частот в указанном диапазоне не позволяет выделить обе названные выше полосы (для линий «вниз» и «вверх»). К числу таких районов, в частности, относятся США. Для UMTS/TDD Регламентом МСЭ отведены т.н. непарные участки спектра: 1900... 1920 МГц, 2010...2025 МГц в Европе и 1850... 1910 МГц, 1930... 1990 МГц в США.

6.5.1. Общая характеристика и особенности радиоинтерфейса UMTS/TDD

На настоящий момент в проекте 3GPP определению облика системы UMTS в режиме TDD отведена второстепенная роль и приоритет отдан FDD как основному режиму использования спектра. По этой причине мы также рассмотрим физический уровень UMTS/TDD не вдаваясь в подробности и концентрируя внимание лишь на специфических аспектах построения этого радиоинтерфейса.

Физический уровень стандарта UMTS в обеих версиях, FDD и TDD, гармонизирован по спектральным характеристикам, скорости передачи, тактовым частотам, размеру фрейма (кадра) и т.п. (см. табл. 6.7 [1]).

Таблица 6.7

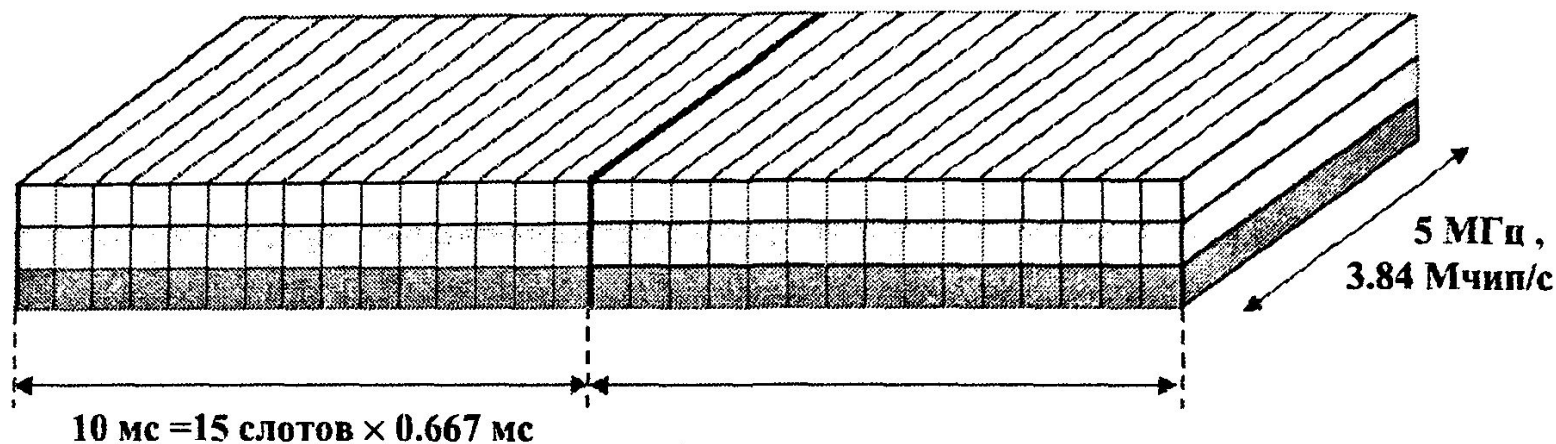
Основные характеристики радиointерфейса UMTS в режимах FDD и TDD

Метод дуплекса	FDD	TDD
Множественный доступ	CDMA/FDMA	CDMA/FDMA/TDMA
Частотный разнос между каналами	4.4 – 5 МГц	4.4 – 5 МГц
Длительность временного кадра	10 мс	10 мс
Число слотов в кадре	15	15
Максимальная скорость передачи	3.84 Мчип/с	3.84 Мчип/с
Метод модуляции	QPSK	QPSK
Коэффициент расширения спектра:		
UpLink	4 – 256	1 – 16
DownLink	4 – 512	1 или 16

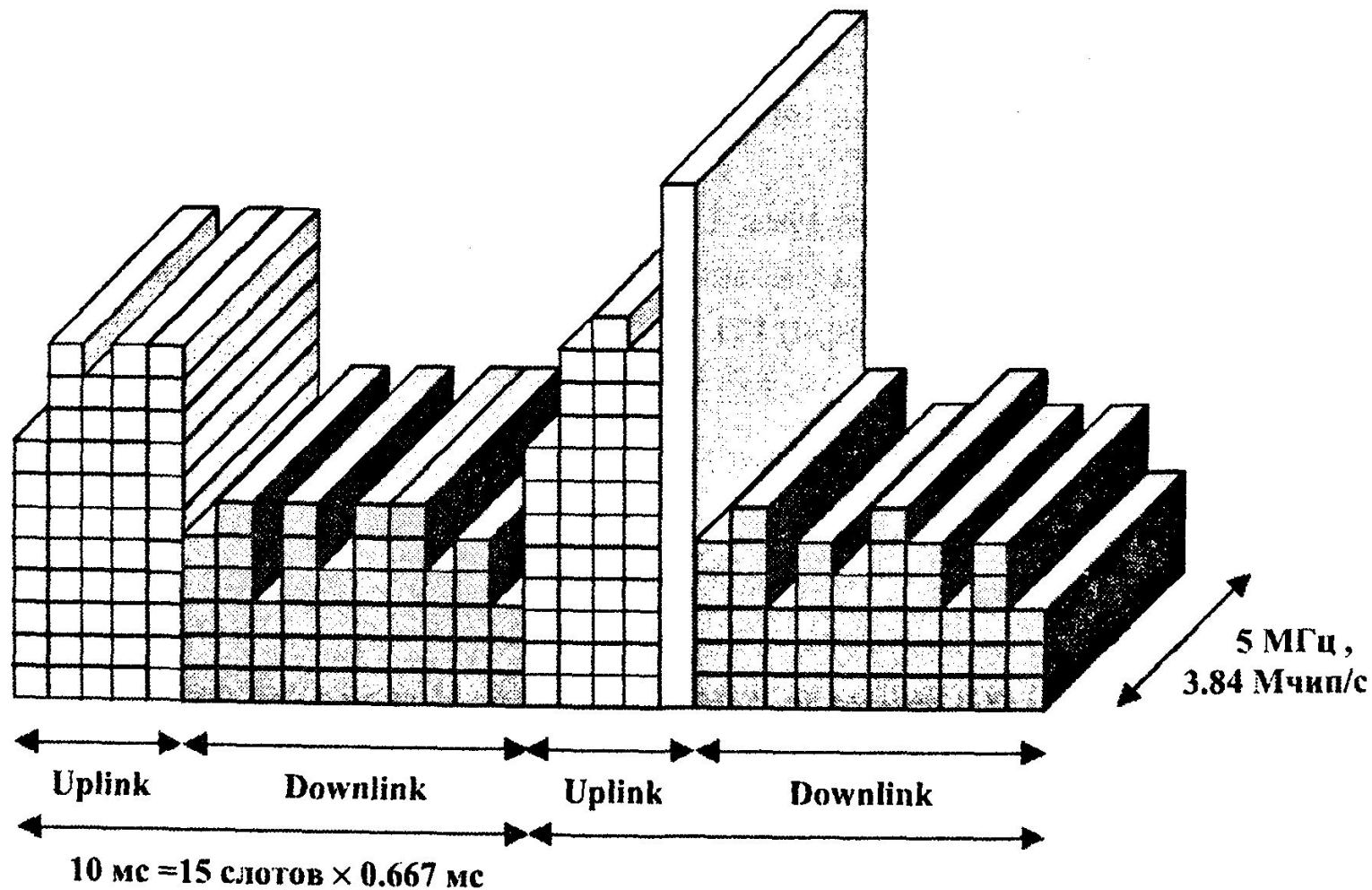
Из версии FDD в TDD была заимствована частота следования чипов расширяющего кода (3,84 Мчип/с), их длительность (~ 0.2604 мкс), структура фрейма (15 слотов × 2560 чипов/слот = 38 400 чипов) и его протяженность (10 мс), а также принцип организации канала синхронизации по линии «вниз».

Тем не менее, идеологии построения радиointерфейсов FDD и TDD в системе UMTS имеют существенные отличия. По-существу, в этих режимах используются не только различные схемы дуплекса, но и разные технологии множественного доступа. Практически все отличия между UMTS-TDD и UMTS-FDD сосредоточены на физическом уровне стека протоколов UTRA (остальные системные компоненты отличий не имеют).

В FDD временные слоты не позволяют определять какие-либо физические каналы и используются для реализации некоторых регулярных функций (например, контроль мощности). На рис. 6.23 (а) и (б) показаны частотно-временные диаграммы, характеризующие функционирование радиointерфейсов W-CDMA/FDD и TD-CDMA/TDD.



Частотно-кодо-временная структура радиointерфейсов
W-CDMA/FDD



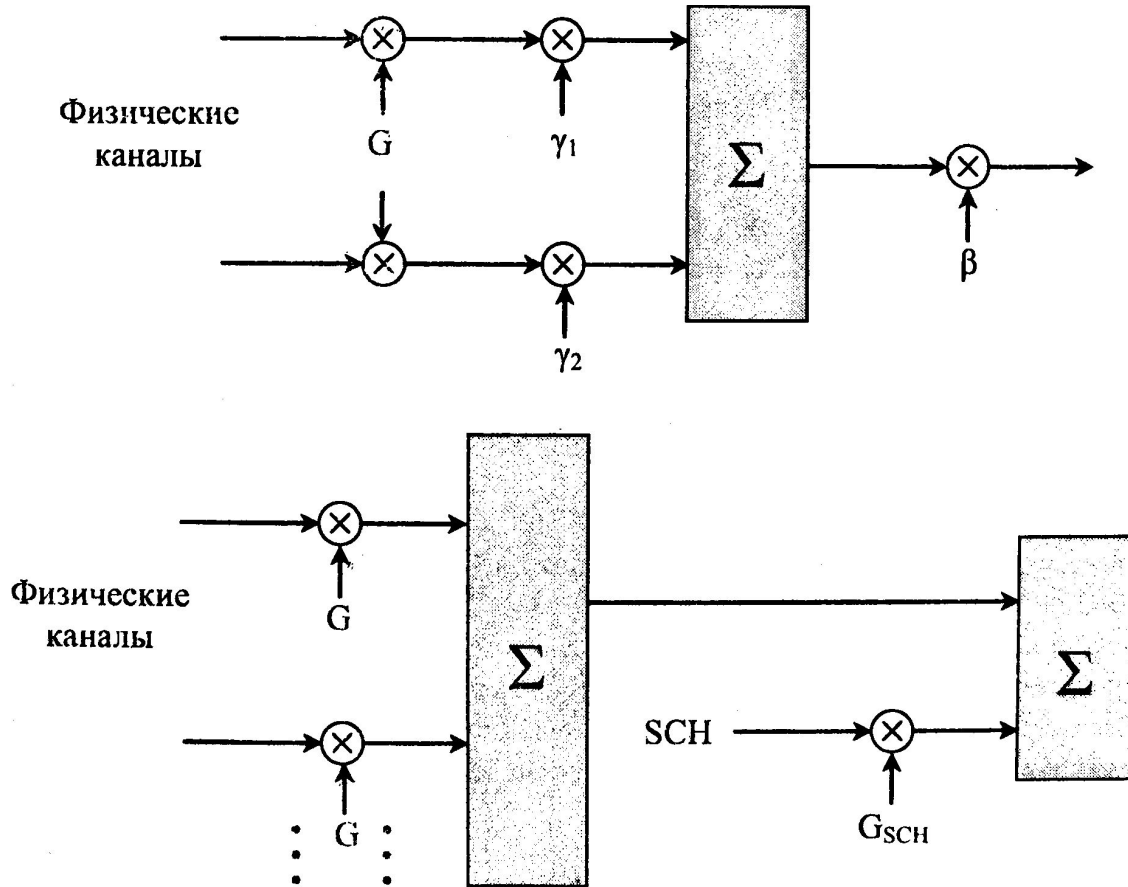
Частотно-кодо-временная структура радиointерфейсов
TD-CDMA/TDD

В отличие от FDD, в режиме TDD реализован комбинированный принцип множественного доступа, где разделение сигналов осуществляется на базе двух технологий: TDMA и CDMA. Если в радиointерфейсе FDD имеются два механизма управления скоростью передачи данных: варьирование коэффициентом расширения спектра и мультиплексирование кодовых каналов, то в TDD появляется третий механизм, связанный с выделением пользователю того или иного количества слотов в кадре (рис. 6.23).

Это обеспечивает высокую гибкость режима TDD и позволяет адаптироваться к информационным потребностям самых разнообразных пользователей. Кроме того, использование для восходящей и нисходящей линий одного и того же частотного канала упрощает частотное планирование, распределение каналов и поиск соты. Мультикадровая пакетная структура режима TDD за счет использования свободных окон позволяет обеспечить его совместимость с UMTS/FDD и GSM.

В то же время, если в режиме FDD межканальная интерференция не является критическим фактором, то для ее уменьшения в режиме TDD при размещении БС необходимо осуществлять специальную координацию между операторами связи. Кроме того, для уменьшения помех от МС и обеспечения требуемого качества связи в зоне обслуживания, в базовых станциях используется технология динамического выделения каналов.

Каждый кадр (фрейм) в режиме TDD содержит по меньшей мере один слот (временное «окно») для передачи по линии «вниз» и один – по линии «вверх». Коэффициент расширения спектра от 1 до 16 позволяет обеспечить значение групповой скорости передачи данных такое же, как и в режиме FDD. Принципы наращивания емкости сети путем добавления новых частотных каналов в режиме TDD и FDD аналогичны.



Кодовое мультиплексирование физических каналов в режиме TDD

Особенности организации физических каналов в режиме TDD

За немногими исключениями, перечень используемых в режимах TDD и FDD транспортных каналов одинаков, однако стек протоколов физического уровня имеет некоторые отличия. Физический канал в режиме TDD определяется не только кодом расширения спектра и частотным каналом, но и положением слота в пределах фрейма. В TDD выделяют следующие основные физические каналы [13].

Выделенный физический канал: Dedicated Physical Channel (DPCH). Он служит для передачи пользовательских данных и команд управления в обоих направлениях: как по линии «вверх», так и по линии «вниз».

- **Общий физический канал управления: Common Control Physical Channel (CCPCH).** Предназначен для предоставления широковещательных услуг в соте в линии «вниз», подразделяется на первичный (для передачи BCH, информации о соте) и вторичный (для отображения транспортных каналов FACH, PCH, передачи команд управления мощностью и информации пейджинга).
- **Физический канал случайного доступа Random Access Channel (PRACH)** по линии «вверх». В дополнение к нему в режиме TDD имеется канал «ускоренного» доступа FRACH, используемый при организации низкоскоростного сеанса передачи.

- Разделяемые физические каналы для линий «вверх» и «вниз»: Physical Uplink Shared Channel (PUSCH) и Physical Downlink Shared Channel (PDSCH). Эти каналы предназначены для передачи управляющей информации и данных пользователя.
- Канал индикации и пейджинга Paging Indicator Channel (PICH), эквивалентный нескольким субканалам пейджинга в канале S-CCPCH.
- Канал синхронизации базовой станции Physical Node B Synchronization Channel, используемый для организации квазисинхронного восходящего соединения. Так, в режиме TDD базовая станция контролирует задержку сигнала от МС, посылаемого в ответ на ее запрос, и передает всем МС управляющие команды, обеспечивающие (квази) синхронность их сигналов на входе приемника БС.

Во избежание коллизий пакетов, передаваемых различными МС, в БС UTRA TDD предусмотрен механизм *timing advance*, позволяющий ей определять смещение кодов разных МС в канале PRACH. Определив смещение, БС информирует МС о необходимости введения упреждающей задержки той или иной длительности. Пока разрешающая способность данного механизма ограничивается интервалом 1.04 мкс (т.е. 4 чипа). При таком сдвиге коды Уолша утрачивают взаимную ортогональность, кодовое разделение само по себе обеспечивает только 4 канала вместо 16. Есть основания надеяться на повышение точности механизма *timing advance* до $1/8$ длительности чипа, что позволит обеспечить практическую ортогональность кодов в режиме TDD и реализовать принцип синхронного кодового разделения для линии «вверх» [3].

Другие каналы режима TDD [13]:

- физический пакетный канал общего назначения PCPCH;
- пилотный канал общего назначения CPICH;
- канал синхронизации SCH (при низкоскоростной передаче расщепляется на восходящий и нисходящий каналы UpPCH и DwPCH);
- канал пейджинга и индикации PICH, – по структуре и назначению соответствуют каналам с аналогичными именами, определенным и для режима FDD.

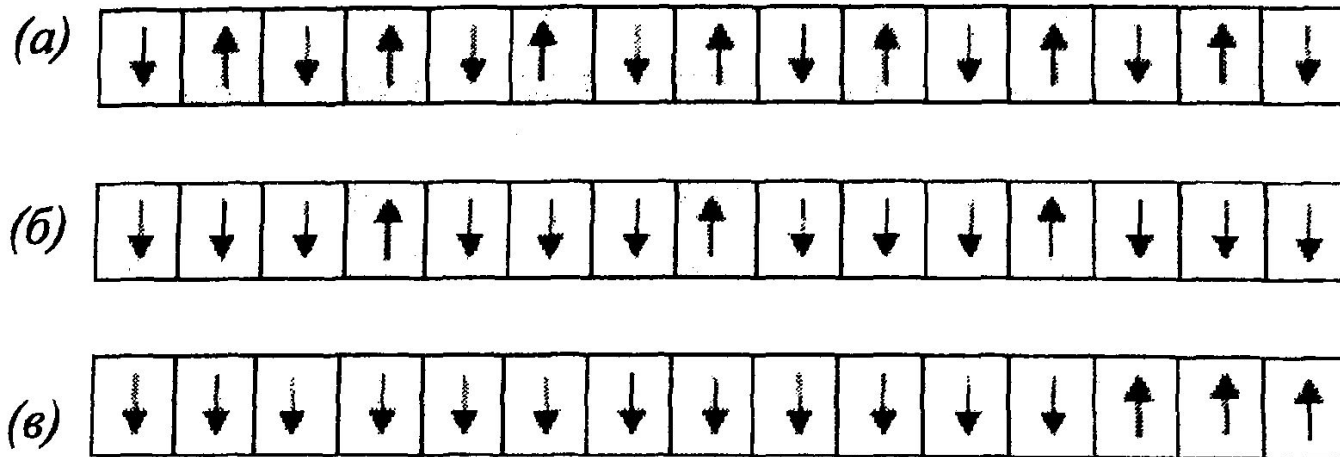
Отображение транспортных каналов на физические каналы в режиме TDD

Транспортные каналы	→	Физические каналы
Dedicated Channel (DCH)	→	Dedicated Physical Channel (DPCH)
Broadcast Channel (BCH)	→	Primary Common Control Physical Channel (P-CCPCH)
Forward Access Channel (FACH)	→	Secondary Common Control Physical Channel (S-CCPCH)
Paging Channel (PCH)	→	
Random Access Channel (RACH)	→	Physical Random Access Channel (PRACH)
Random Access Channel (ORACH)	→	
USCH	→	Physical Uplink Shared Channel (PUSCH)
DSCH	→	Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)
Common Packet Channel (CPCH)	→	Physical Common Packet Channel (PCPCH)
	→	Common Pilot Channel (CPICH)
	→	Paging Indicator Channel (PICH)
При стандартной (высокой) чиповой скорости	→	Synchronization Channel (SCH)
	→	Physical Node B Synchronization Channel (PNBSCH)
	→	Uplink/Downlink Synchronization Channel (UpPCH, DwPCH)
При пониженной чиповой скорости *	→	Uplink/Downlink Synchronization Channel (UpPCH, DwPCH)
	→	Fast Physical Access Channel (FPACH)

* Опция пониженной чиповой скорости 1.28 Мчип/с с частотным разносом между каналами 1.6 МГц была стандартизована в Релизе 4.

Временной дуплекс реализуется путем резервирования части слотов кадра за линией «вниз», а оставшихся – за линией «вверх». Примеры выделения слотов при симметричном (а) и асимметричном (б), (в) характере трафика показаны на рис. 6.25.

Данные, адресуемые БС некоторой МС, передаются в определенных слотах конкретных кадров. В пределах временных слотов передаются т.н. «пачки» (*bursts*), характеризующиеся определенной кодовой структурой. Кроме того, в каждом слоте используется свой канальный код (функции Уолша длиной $N=16$). В итоге, кодовое разделение обеспечивает до 16 каналов, в то время как остальная часть абонентской емкости обеспечивается за счет специального распределения кадров и слотов во времени.



Пример выделения слотов на передачу (uplink и downlink) в пределах кадра в режиме TDD

Структура пакетов в каналах трафика и управления

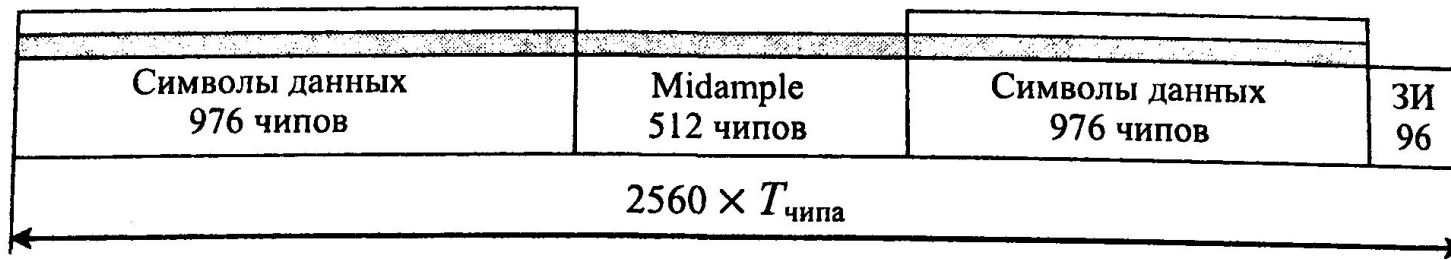
В режиме TDD применяются три вида пакетов (рис. 6.26) [13]. Каждый состоит из четырех полей: двух полей данных, обучающей последовательности (midamble), используемой для оценки характеристик канала – в середине кадра, и защитного интервала (ЗИ), учитывающего разницу в задержке прихода сигналов от различных абонентских станций в точку приема.¹

Для пакетов первого типа, используемых в обоих направлениях, характерны обучающая последовательность большой длины (512 чипов) и короткий защитный интервал. Одновременно в одном слоте и в одном направлении могут передаваться не более 16 пакетов типа 1 (в зависимости от длины кода расширения спектра).

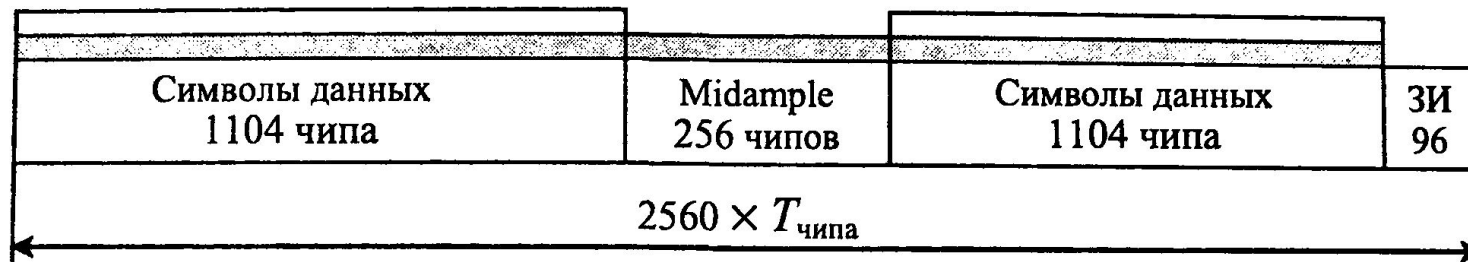
Основное отличие пакета второго типа от первого состоит в сокращении вдвое обучающей посылки за счет расширения полей данных. Пакеты с такой структурой преимущественно используются для линии «вниз», отличающейся более высокой точностью синхронизации (что позволяет использовать более короткую обучающую последовательность). В линии «вверх» эти пакеты могут использоваться только при одновременной передаче не более чем четырех пакетов на слот.

Наконец, пакет третьего типа отличается большей длиной защитного интервала, что объясняется его предназначением: использование в процедурах произвольного доступа и хэндовера.

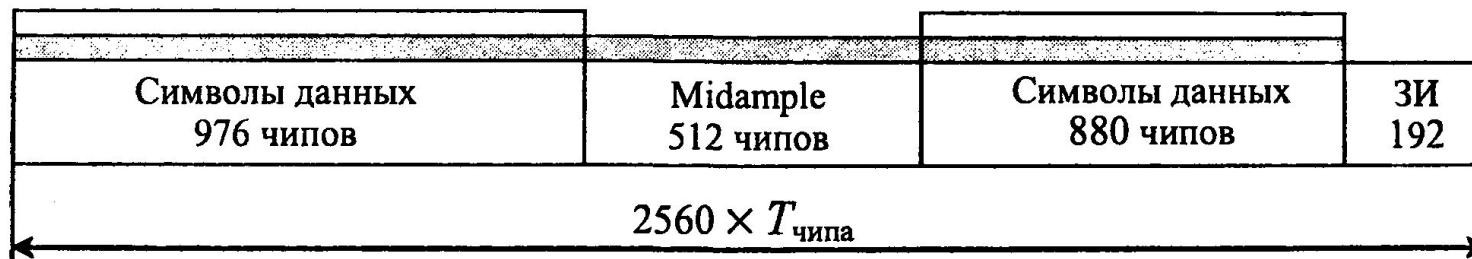
Структура пакета 1-го типа



Структура пакета 2-го типа



Структура пакета 3-го типа



Расширение спектра



Скремблирование



Типы и структуры пакетов в режиме TDD

Применение пакетов различного типа в физических каналах разного назначения

Физический канал	Тип 1	Тип 2	Тип 3
DPCH, PUSCH, PDCH	×	×	Только в Uplink
P-CCPCH	×	—	—
S-CCPCH	×	×	—
PRACH	—	—	×

Характеристики информационной емкости каналов в зависимости от значения коэффициента расширения спектра и типа используемых пакетов изменяются

Конфигурация канала DPCH и групповые скорости передачи данных в режиме TDD при кодовом мультиплексировании каналов (Gross Data Rates)

S_F	Число битов в слоте		Скорость передачи данных (1 слот), кбит/с		Скорость передачи данных (1 слот/фрейм), кбит/с	
	Тип 1	Тип 2	Тип 1	Тип 2	Тип 1	Тип 2
1	3904	4416	5856	6624	390.4	441.6
2	1952	2208	2928	3312	195.2	220.8
4	976	1104	1464	1656	97.6	110.4
8	488	552	732	828	48.8	55.2
16	244	276	366	414	24.4	27.6

24.4, 441.6 и 48.8 кбит/с – соответственно минимальная, максимальная и типовая (для цифровой речи, 12.2 кбит/с) скорость передачи данных на слот.

Особенности доступа и управления мощностью в режиме TDD

Процедура доступа инициализируется мобильной станцией по каналу RACH в случайные моменты времени, что связано с возникновением конфликтов. Для того, чтобы снизить их вероятность и повысить пропускную способность канала RACH, в каждом фрейме дополнительно используется 8 ортогональных кодов.

Механизмы управления мощностью передачи в режиме временного дуплекса описаны в [18]. В TDD применяются следующие принципы управления мощностью:

- коды, расположенные в пределах одного и того же временного интервала (слота) и используемые для реализации одной услуги, передаются с одинаковой мощностью;
- при работе в режиме реального времени (например, передаче речевых сообщений) используется управление мощностью по схеме «замкнутой петли»;
- в приложениях, не требующих передачи в режиме реального времени, существуют опции использования обеих схем управления мощностью: как «замкнутой петли», так и «разомкнутой»;
- начальный уровень мощности передатчика устанавливается путем определения оценки потерь на распространение сигналов на трассе до обслуживающей БС.