

Министерство образования и науки Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Приоритетный национальный проект «Образование»
Национальный исследовательский университет**

А.Л. ГЕЛЬГОР Е.А. ПОПОВ

СОТОВЫЕ СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА UMTS

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением по университетскому
политехническому образованию в качестве учебного пособия для студен-
тов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки
Техническая физика*

Санкт-Петербург
Издательство политехнического университета
2011

УДК 621.396.93(075.8)

ББК 32.84я73

Г 32

Рецензенты:

Кафедра радиопередающих устройств и средств подвижной связи СПбГУТ
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, зав. кафедрой д.т.н., профессор М. А. Сиверс

Кафедра военных телекоммуникационных систем Военной академии связи
им. С. М. Будённого, начальник кафедры к.в.н., проф. А. Боговик

Гельгор А.Л. Сотовые сети мобильной связи стандарта UMTS: учеб. пособие /
Гельгор А.Л., Попов Е.А. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. — 227 с.

Предлагаемое учебное пособие посвящено изучению сотовых сетей мобильной связи стандарта UMTS — наиболее активно развивающихся телекоммуникационных систем третьего поколения, построенных на технологии множественного доступа с кодовым разделением.

В пособии рассмотрены принципы построения архитектуры сети и организация в них сетевых услуг. Изучается структура логических, транспортных и физических каналов и их взаимного отображения. Рассмотрены процедуры первичной обработки сигналов на физическом уровне.

Учебное пособие рекомендовано Учебно-методическим объединением по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки “Техническая физика”. Оно также может быть полезно студентам, обучающимся по направлениям подготовки “Радиотехника” “Инфокоммуникационные технологии и системы связи”.

Работа выполнена в рамках реализации программы развития национального исследовательского университета “Модернизация и развитие политехнического университета как университета нового типа, интегрирующего мультидисциплинарные научные исследования и надотраслевые технологии мирового уровня с целью повышения конкурентоспособности национальной экономики”

Печатается по решению редакционно-издательского совета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

© Гельгор А.Л., Попов Е.А., 2011

© Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет, 2011

ISBN

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1. Основы построения сетей UMTS	10
1.1. Принципы построения сети UMTS	10
1.2. Функции сети UMTS	17
1.3. Принципы организации сетевых услуг	23
1.4. Услуги слоя доступа	32
1.5. Архитектура сети UMTS	40
Вопросы и задания	50
2. Радиointерфейс сетей UMTS	51
2.1. Общее описание протоколов радиointерфейса	51
2.2. Услуги и функции канального уровня	56
2.3. Физический уровень радиointерфейса	83
2.3.1. Отображение транспортных каналов на физические каналы в FDD-режиме	88
2.3.2. Отображение транспортных каналов на физические каналы в режиме 3,84М-TDD	99
2.3.3. Отображение транспортных каналов на физические каналы в режиме 1,28М-TDD	105
2.3.4. Отображение транспортных каналов на физические каналы в режиме 7,68М-TDD	110
Вопросы и задания...	115
3. Формирование физических каналов	116
3.1. Кодированный композитный транспортный канал	118
3.1.1. Канальное кодирование	122
3.1.2. Конкатенация кодовых блоков и выравнивание размера кадра	130
3.1.3. Выравнивание скоростей передачи данных	131
3.1.4. Первичная вставка бит индикации режима прерывистой передачи	152
3.1.5. Первичное перемежение и сегментация по кадрам ..	153

3.1.6. Мультиплексирование транспортных каналов, вторичная вставка бит индикации режима прерывистой передачи	155
3.1.7. Сегментация по физическим каналам, вторичное перемежение	156
3.2. Типы кодированных композитных каналов	158
3.3. Мультиплексирование транспортных каналов	162
3.4. Отображение на физические каналы	164
3.4.1. Восходящие физические каналы	165
3.4.2. Нисходящие физические каналы	172
3.5. Примеры формирования физических каналов	180
3.6. Формирование сигналов в системе UMTS	186
3.6.1. Формирование сигналов восходящих каналов	193
3.6.2. Формирование сигнала нисходящего канала	203
3.7. Первичная обработка сигналов сети UMTS	207
Вопросы и задания...	220
Библиографический список	221
Приложение	222

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время всё большее распространение в мире получают телекоммуникационные системы и сети третьего поколения (3G), функционирующие на основе множественного абонентского доступа с кодовым разделением каналов. Их сравнительная эффективность по отношению к существующим системам второго поколения, таких, как, например, GSM, DAMPS и др., обуславливают перспективность использования и в настоящее время, и в ближайшее будущее. То, что большая часть рынка связных услуг по-прежнему опирается на традиционные GSM-технологии вызвано, скорее, политико-экономическими причинами, когда сетевые операторы не желают расставаться с чётко отработанными технологиями предоставления пользовательских услуг.

Тем не менее, за прошедшие 3–5 лет произошли качественные изменения в политиках, проводимых сетевыми операторами, поскольку стало понятно, что даже усовершенствованные GSM-сети (при внедрении технологий GPRS, EDGE, AMR и др.) [2, 7] не в состоянии конкурировать с более прогрессивными технологиями 3G. Понимание этого вынудило операторов привлекать существенные ресурсы для внедрения нового оборудования. При этом, на первом этапе, по-видимому, главной задачей являлось (и является) возможность совместного функционирования различных по своей природе систем в рамках единой телекоммуникационной системы третьего поколения, позиционируемой в качестве универсальной телекоммуникационной системы (UMTS – Universal Mobile Telecommunications System) и выработка на её основе единых стандартов.

Отметим, что движение к стандартам третьего поколения оказалось не таким уж лёгким. Слепая вера операторов в перспективы будущих сетей без оглядки на реалии сегодняшнего дня заставила многих забыть о благоразумии, что повлекло за собой привлечение больших ресурсов в первые, далеко не совершенные стандарты третьего

поколения (в частности, они были несовместимы с GSM). В ряде европейских стран только за лицензии на такие стандарты были заплачены десятки миллиардов долларов и евро, в то время как реальный спрос на соответствующие услуги оказался на порядок меньше. В настоящее время политика сетевых операторов в области модернизации своих сетей является гораздо более осторожной и благоразумной.

Предлагаемое учебное пособие посвящено современным сетям сотовой мобильной связи стандарта UMTS. В пособии рассмотрены принципы построения архитектуры сети и организация в них сетевых услуг. Изучается структура логических, транспортных и физических каналов и их взаимного отображения.

Основная часть пособия состоит из трёх глав.

В первой главе рассматриваются основные принципы построения сетей третьего поколения, их архитектура, вводятся базовые понятия, имеющие отношение как к самим сетям, так и к предоставляемым услугам. Существенное внимание уделено принципам организации сетевых услуг, когда обмен данными между пользователем и провайдером конструируется на базе сетевых примитивов, используемых в различных моделях внутрисетевого взаимодействия.

Вторая глава посвящена изучению принципов функционирования протоколов радиointерфейса сетей UMTS, обеспечивающих физическую передачу пользовательских данных между различными ПТ, а также обмен служебной информацией между ПТ и функциональными узлами сети. Рассматривается совокупность логических, транспортных, физических каналов и их взаимное отображение в разных режимах на различных (под)уровнях.

В третьей главе описаны процедуры формирования кодированного композитного транспортного канала, представляющего собой результат мультиплексирования транспортных каналов одинаковой природы; описывается процедура отображения композитных каналов на физические каналы, приведены ограничения, накладываемые на

процедуры формирования и отображения, а также приведены примеры кодирования некоторых транспортных каналов.

Предваряя основную часть книги, целесообразно сделать ряд замечаний и пояснений, касающихся как существа излагаемых вопросов, так и особенностей самого пособия.

Прежде всего, необходимо отметить некоторую условность понятия “стандарт UMTS”. В отличие от многих телекоммуникационных систем, для которых спецификации (даже если их достаточно большое количество) имеют чётко выраженные “перечислимость и предназначенность”, техническая документация на систему UMTS представляет собой колоссальное количество разнообразных документов, разрабатываемых в рамках международного консорциума 3GPP (3rd Generation Partnership Project) и открыто публикуемых на страницах всемирного форума www.3gpp.net. Такие документы сгруппированы в соответствующие серии по признаку общности какого-либо аспекта. Например, в серии 25 собраны нормативные документы, касающиеся радиотехнических аспектов построения сетей UMTS (методы модуляции, кодирования, множественного доступа, излучения, управления мощностью, организация физических каналов и др.).

В этой связи авторам представляется нецелесообразным традиционный подход к использованию в тексте ссылок на нормативные документы, когда они представлены в библиографическом списке; вместо этого лучше прямо в тексте указывать номер соответствующей спецификации, полагая, что читатель активно работает с общим хранилищем технических документов, представленными на вышеуказанном форуме.

Далее, при написании предлагаемого учебного пособия авторы руководствовались идеей помочь студенту или инженеру, проектирующему, например, устройство обработки и анализа сигналов UMTS, разобраться в существе исследуемых проблем. Исходя из этой идеи, целью следует считать написание такого пособия, в котором бы последовательно изучались все процедуры обработки: от приёма вы-

сокочастотных сигналов до представления дешифрованного пользовательского трафика. Однако в такой формулировке цель, по-видимому, практически недостижима, поскольку требует весьма существенного “печатного текста”, далеко выходящего за рамки одного учебного пособия, так и привлечения большого числа разнообразных методов, относящихся к различным техническим направлениям. Достаточно сказать, что полноценный логический анализ связанных канальных структур требует знания такой специфической технологии программирования, как ASN.1. Именно поэтому авторы ограничились рассмотрением лишь первичных процедур обработки сигналов физического уровня (разд. 3.7), наполнив третью главу большим количеством материала, предусмотренного спецификациями, к которому необходимо будет обращаться впоследствии.

Указанные обстоятельства позволяют рассматривать данное пособие в качестве одной из составляющих целого комплекса пособий, предназначенного для всестороннего изучения сетей UMTS.

Наконец, следует сказать несколько слов о наличии отечественной и зарубежной литературы, посвященной рассматриваемой тематике. По-видимому, первое описание технологии UMTS на русском языке было дано в [5], и за прошедшее время был издан ряд отечественных и зарубежных книг, в том числе, учебных пособий [3, 4, 6], освещающих различные аспекты тематики построения сетей. К сожалению, освещение в указанных изданиях вопросов обработки и анализа сигналов оставляет желать лучшего.

Как обычно, имеет место ставшая уже традиционной в телекоммуникационной литературе проблема обращения с терминами. Реалии сегодняшнего дня таковы, что осваиваемая специалистами телекоммуникационная терминология представляет собой, по существу, набор языковых заимствований (как правило, англоязычных). Более того, наблюдается очевидная тенденция к изъятию из научной лексики устоявшихся русскоязычных терминов и ничем не обоснованная замена их “оригинальными” вариантами в виде языковых калек. По-

видимому, остановить такую тенденцию уже не представляется возможным. В этой связи авторы постарались по возможности сохранять традиционную отечественную терминологию и вводить заимствованные неологизмы лишь при очевидном отсутствии традиционного научного или технического термина. Как правило, наряду с вариантом перевода нового термина в тексте приводится его оригинальный (англоязычный) вариант, и авторы будут признательны, если им будет предоставлен более точный и удачный перевод.

Учебное пособие составлено преподавателями кафедры “Радиоэлектронные средства защиты информации” по материалам курсов лекций, читаемых авторами на радиофизическом факультете Санкт-Петербургского государственного политехнического университета и предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки “Техническая физика”, “Радиотехника”, “Инфокоммуникационные технологии и системы связи”. Также оно может оказаться полезным специалистам, занимающимся вопросами проектирования различных устройств сетей UMTS.

Авторы выражают глубокую признательность их молодому коллеге А. И. Горлову, чья плодотворная деятельность во многом способствовала успешной работе над книгой. Фактически, его с полным основанием можно считать соавтором данного учебного пособия.

1. ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТЕЙ UMTS

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) — технология сотовой связи, разработанная Европейским институтом стандартов телекоммуникаций (ETSI). Сотовые сети, использующие данную технологию, относят к сетям третьего поколения (сетям 3G). К основным отличиям сетей UMTS от сетей GSM относят использование широкополосных сигналов (сигнал может занимать полосу либо 5 МГц, либо 1,6 МГц), и внедрение широкополосной технологии множественного доступа с кодовым разделением каналов (W-CDMA).

В данной главе рассматриваются основные принципы построения сетей третьего поколения, их архитектура, вводятся базовые понятия, имеющие отношение как к самим сетям, так и к предоставляемым услугам.

Существенное внимание уделено принципам организации сетевых услуг, когда обмен данными между пользователем и провайдером конструируется на базе сетевых примитивов, используемых в различных моделях внутрисетевого взаимодействия.

1.1. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ UMTS

В основу принципов построения сети UMTS положено разделение двух аспектов: физической реализации отдельных сетевых блоков и формирования функциональных связей между ними. При этом задачи физической реализации решаются, исходя из концепции *области* (domain), а функциональные связи рассматриваются в рамках *слоя* (stratum).

Первичным разделением на физическом уровне является разделение архитектуры сети на *область пользовательского оборудования* (User Equipment Domain) и *область сетевой инфраструктуры* (Infrastructure domain.).

Пользовательское оборудование — это совокупность пользовательских терминалов (ПТ) с различными уровнями функциональных возможностей, используемых сетевыми абонентами для доступа к

UMTS-услугам. Заметим, что ПТ могут быть совместимы с другими, помимо UMTS, интерфейсами доступа, например, работать в совмещенном GSM-режиме.

Продолжая стратегию разделения мобильного пользователя и мобильного оборудования, принятую еще в стандартах второго поколения, область пользовательского оборудования, в свою очередь, подразделяется на *область мобильного оборудования* (Mobile Equipment Domain) и *область мобильного пользователя* (User Services Identity Module Domain), реализуемую в виде сменяемых идентификационных карт. Сопряжение областей (подобластей) принято идентифицировать логическими опорными (контрольными) точками, которые физически реализуются соответствующими интерфейсами. Так, опорная точка, находящаяся на стыке областей мобильного оборудования и мобильного пользователя (рис. 1.1), называется “точка Cu”.

Мобильное оборудование как физический объект предназначено для выполнения операций приемо-передачи сообщений, а также содержит в себе набор встроенных приложений. В соответствии с этим, область мобильного оборудования может быть разделена еще на два модуля: *оконечный мобильный терминал* (Mobile Termination), отвечающий за прием и передачу радиосигналов, и *терминальное оборудование* (Terminal Equipment), позволяющее реализовывать так называемые “сквозные” (в смысле маршрута передачи данных) приложения, например, подключать к ПТ переносной компьютер, факс-модем и др. В отличие от разделения на области, разделение на функциональные модули, как правило, не сопровождается идентификацией опорными точками.

В область мобильного пользователя относят данные и относящиеся к ним процедуры, позволяющие идентифицировать сетевого абонента, либо наоборот, отказать ему в доступе в сеть по каким-либо причинам. Как обычно, такие данные и процедуры реализованы в идентификационной карте, выдаваемой пользователю при приобретении ПТ.

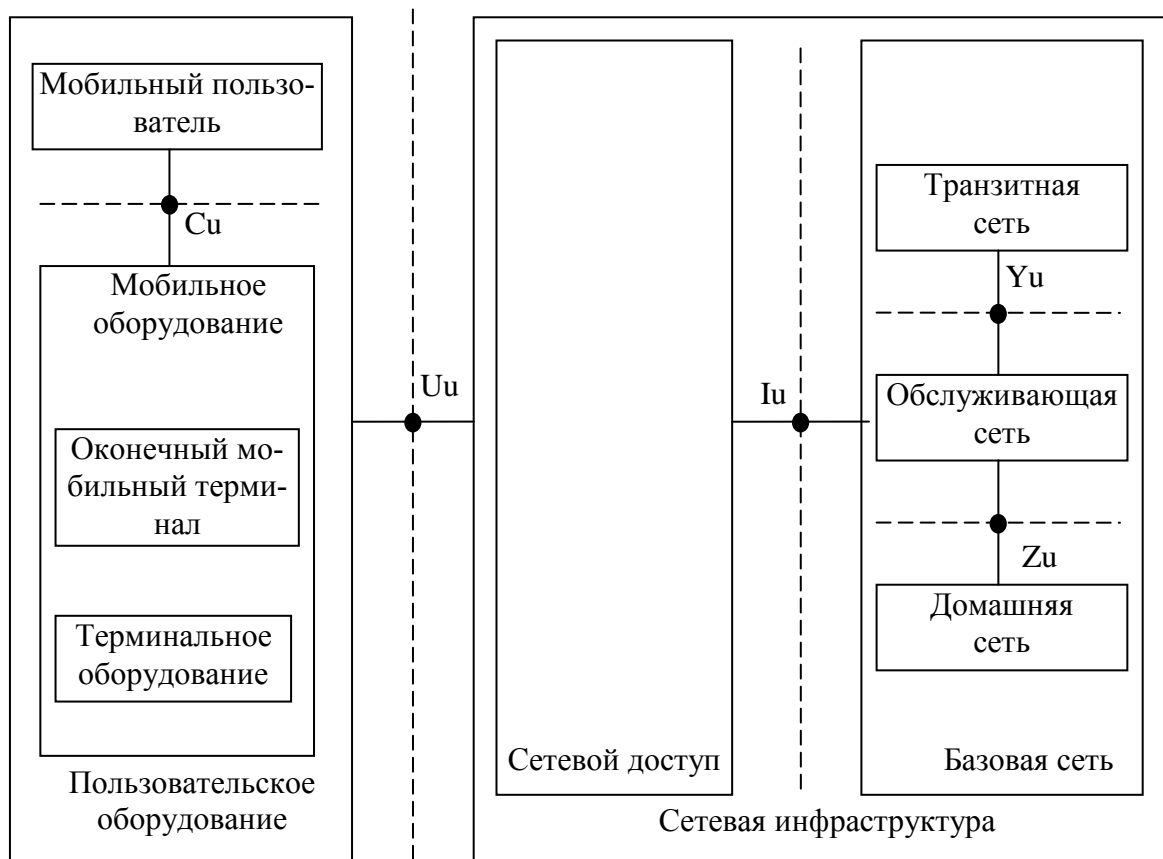


Рис. 1.1. Разделение сети UMTS на области

Обратимся к области сетевой инфраструктуры, которая, в свою очередь, разделена на *область сетевого доступа* (Access Network Domain) и *область базовой сети* (Core Network Domain). Такое разделение обусловлено желанием четко разграничить процессы, связанные с беспроводным доступом ИТ в сеть по радиointерфейсу, и все иные процессы. Другими словами, область доступа к сети содержит в себе функции, специфичные для данного метода беспроводного доступа, в то время как функции базовой сети в принципе могут использоваться с любыми методами доступа. Опорной точкой, разграничивающей области сетевого доступа и базовой сети, является “точка Iu”.

Область доступа к сети содержит физические элементы, позволяющие управлять ресурсами беспроводного доступа, а также обеспечивающие пользователю механизмы доступа к базовой сети.

Область базовой сети состоит из физических элементов, которые обеспечивают поддержку непосредственно сетевых и телекоммуникационных услуг, таких, как управление сетевыми ресурсами, определение местоположения пользователя, передача по сети служебной информации, сопряжение с другими сетями и др. Исходя из этих задач, область базовой сети подразделяется еще на три области: *область обслуживающей сети* (Serving Network Domain), *область домашней сети* (Home Network Domain) и *область транзитной сети* (Transit Network Domain).

Область обслуживающей сети (часто её называют просто обслуживающей областью) — это та часть базовой сети, к которой осуществлено пользовательское подключение, включающая в себя функции, локальные по отношению к точке пользовательского доступа и, следовательно, изменяющиеся при перемещении пользователя. Обслуживающая область предназначена для маршрутизации вызовов и пользовательской информации, она способна взаимодействовать и с домашней областью для обеспечения пользовательских услуг, и с транзитной областью — для обеспечения услуг по передаче служебной информации.

Область домашней сети (домашняя область) представляет собой часть базовой сети, в которой сосредоточены функции постоянного отслеживания, контроля и управления местоположением пользователя, т. е. безотносительно к текущей точке пользовательского доступа. Идентификационная карта связывает каждого пользователя со своей домашней областью, следовательно, в домашней области также должна находиться информация, необходимая для идентификации, а также информация об услугах доступных данному пользователю.

Наконец, область транзитной сети (транзитная область) является связующим звеном между обслуживающей областью и удаленным абонентом.

Опорными точками, разграничивающими обслуживающую и домашнюю области, а также обслуживающую и транзитную области, являются “точка Zu” и “точка Yu” соответственно (рис. 1.1).

Обратимся теперь к рассмотрению слоев, в рамках которых реализуются те или иные функциональные связи между сетевыми областями. В сети UMTS принято различать четыре основных слоя:

- домашний слой;
- обслуживающий слой;
- транспортный слой;
- слой приложений.

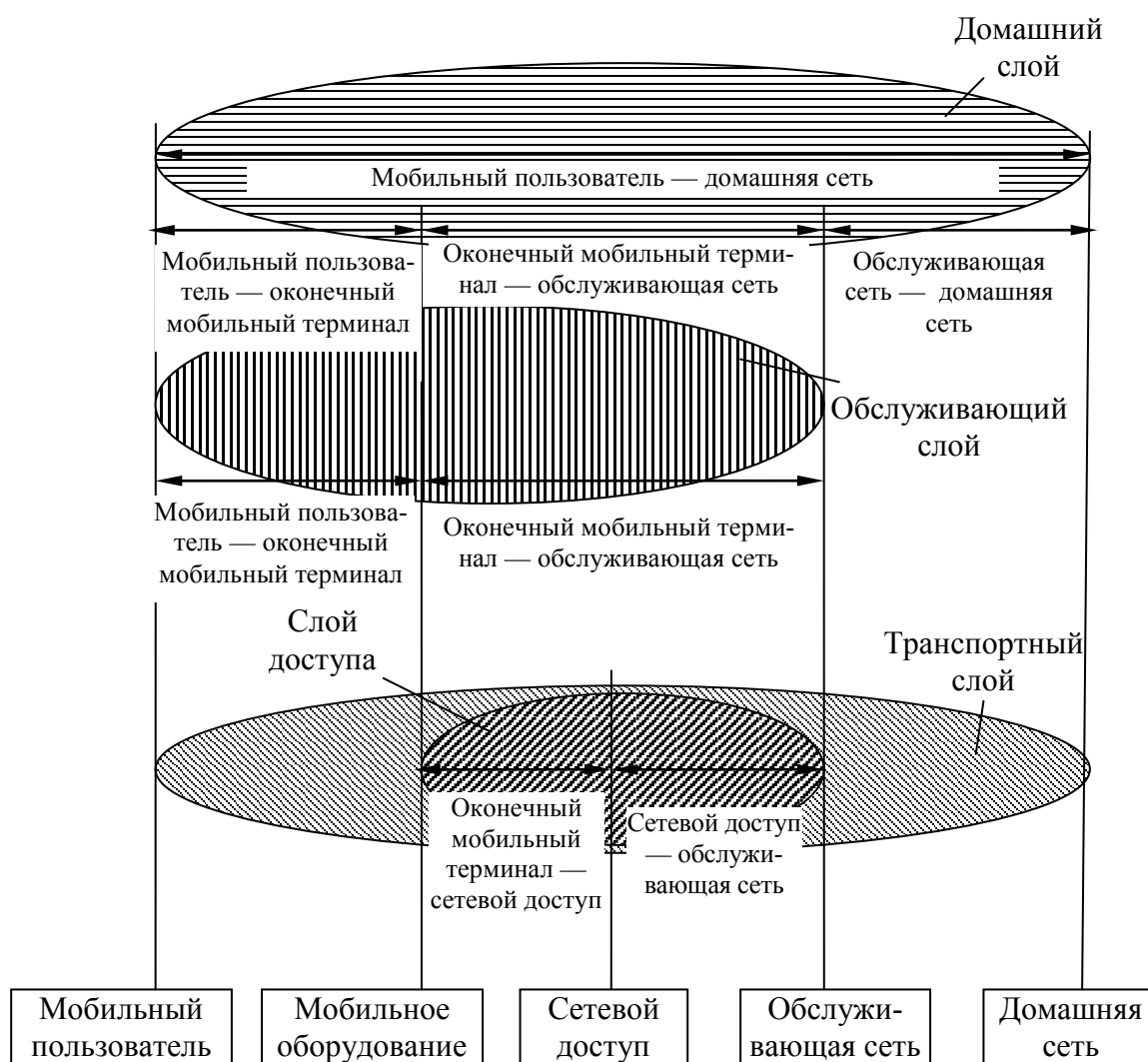


Рис. 1.2а. Сетевые протоколы, действующие в различных слоях

В домашний слой относят протоколы, имеющие отношение к управлению и хранению пользовательских данных, а также к определенным услугам, возможным для абонента домашней сети. Примера-

ми таких услуг являются: обслуживание пользовательских запросов, тарификация и составление счетов, управление мобильностью, идентификация и аутентификация и др. На домашний слой также возложены некоторые координирующие функции, позволяющие другим областям действовать в интересах домашней сети.

Домашний слой содержит протоколы для:

- координации идентификационной абонентской информации между мобильным пользователем и домашней сетью (протокол “Мобильный пользователь — домашняя сеть”);
- обеспечения доступа оконечного мобильного терминала к идентификационной информации и другим ресурсам, необходимым для выполнения действий в интересах домашней сети (протокол “Мобильный пользователь — оконечный мобильный терминал”);
- поддержки возможности изменения идентификационной информации между оконечным мобильным терминалом и обслуживающей сетью (протокол “Оконечный мобильный терминал — обслуживающая сеть”);
- обеспечения обслуживающей сети доступом к данным домашней сети и другим ресурсам, необходимым для выполнения действий в интересах домашней сети (протокол “Обслуживающая сеть — домашняя сеть”).

Обслуживающий слой содержит протоколы, предназначенные для передачи (маршрутизации) служебной или пользовательской информации, порожденной либо пользователем, либо сетью. При этом источник и получатель информации могут находиться и в одной, и в различных сетях. Таким образом, в этом слое локализованы функции, относящиеся к реализации телекоммуникационных услуг.

Обслуживающий слой содержит протоколы для:

- поддержки в области пользовательского оборудования доступа к информации, касающейся возможных для данного абонента услуг (протокол “Мобильный пользователь — оконечный мобильный терминал”);

- поддержки доступа мобильного оборудования к услугам, возможным в области обслуживающей сети (протокол “Оконечный мобильный терминал — обслуживающая сеть”);
- поддержки обмена управляющей информацией между мобильным оборудованием и обслуживающей сетью (протокол “Оконечный мобильный терминал — обслуживающая сеть”).

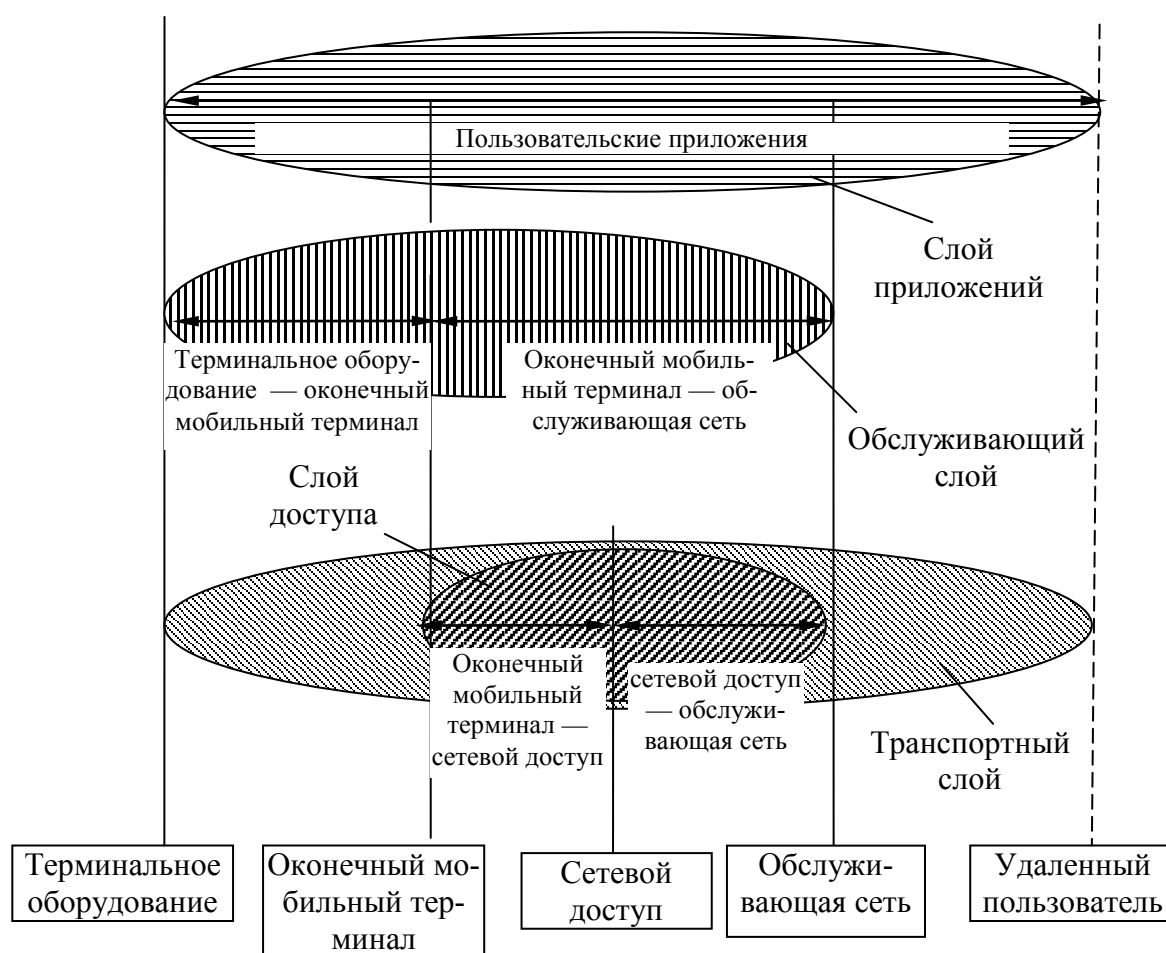


Рис. 1.2б. Сетевые протоколы, действующие в различных слоях

Главной задачей транспортного слоя является поддержка функций передачи по сети UMTS пользовательской и служебной информации от других слоев. В нем содержатся механизмы обнаружения и исправления ошибок; алгоритмы шифрования данных при передаче по радиоинтерфейсу; форматы представления данных при передаче по физическим каналам и механизмы адаптации данных к таким фор-

матам; алгоритмы эффективной маршрутизации; механизмы распределения сетевых ресурсов; механизмы транскодирования данных на стыке различных интерфейсов и др.

Наиболее значимой частью транспортного слоя (а фактически — всей сети беспроводного доступа) является *слой доступа* (Access Stratum), расположенный между крайним (с точки зрения последовательности действий) узлом обслуживающей области базовой сети и оконечным мобильным терминалом. Этот слой содержит набор функциональных связей, касающихся механизма беспроводного доступа и имеющих отношение к ряду элементов, находящихся как в области пользовательского оборудования, так и в области сетевой инфраструктуры, а также протоколов взаимодействия между этими элементами. Другими словами, он обеспечивает физическую среду для передачи информации между пользовательским оборудованием и сетевой инфраструктурой.

Слой доступа содержит протоколы для:

- поддержки передачи подробной информации, касающейся использования радиоресурсов (протокол “Оконечный мобильный терминал — сетевой доступ”);
- обеспечения обслуживающей сети информацией о доступе (протокол “Сетевой доступ — обслуживающая сеть”). Данный протокол не зависит от того, какой конкретно используется механизм беспроводного доступа между мобильным оборудованием и сетью.

В слой приложений входят собственно пользовательские приложения, порожденные оконечными пользователями. Данный слой содержит протоколы сквозной передачи услуг, обеспеченных домашним, обслуживающим и транспортным слоями.

Рассмотренные выше слои и действующие в них протоколы представлены на рис. 1.2а и б.

1.2. ФУНКЦИИ СЕТИ UMTS

Как уже было сказано, наиболее значимой частью транспортного слоя и всей сети доступа в целом является слой доступа, на который

возложено большинство задач, связанных с обеспечением и поддержкой сетевых услуг. Поэтому при рассмотрении различных сетевых функций принято акцентировать их принадлежность слою доступа или, наоборот, подчеркивать то, что они находятся вне этого слоя.

В табл. 1.1 представлен список основных функций, обеспечиваемых сетью UMTS, и их распределение между слоем доступа и остальной частью системы.

Таблица 1.1

Основные функции сети UMTS

Функция	Вне слоя доступа	Внутри слоя доступа
Установка / прекращение вызова	Есть	Нет
Установка / прекращение канала соединения	Есть	Нет
Локализация (определение местоположения) пользователя	Может поддерживаться	Есть
Идентификация местоположения ПТ	Может поддерживаться	Есть
Подключение / отключение	Есть	Может поддерживаться
Хэндовер	Может поддерживаться	Есть
Управление ресурсами	Есть	Есть
Макроразнесение каналов передачи	Может поддерживаться	Есть
Шифрование	Есть	Есть
Аутентификация	Есть	Нет
Компрессия	Есть	Есть
Кодирование данных источника	Есть	Нет
Кодирование информации в радиоканале	Нет	Есть
Тарификация	Есть	Нет

Как следует из табл. 1.1, реализация или исполнение некоторых функций может быть опциональным. Кратко рассмотрим основные особенности представленных в таблице функций.

Управление вызовом. Функция находится вне слоя доступа, поскольку оперирует с механизмами сигнализации (передачей служебной информации), расположенными в базовой сети. Примером исполнения функции является посылка сообщений из набора Q.931¹.

Управление каналом соединения. Функция находится вне слоя доступа. В управление каналом радиодоступа заложены следующие базовые принципы.

- Канал радиодоступа должен обеспечивать транспортные услуги по передаче информации между различными сетевыми узлами, находящимися вне слоя доступа, и областью пользовательского оборудования, поддерживать пользовательский трафик в режиме реального и отложенного времени, обеспечивать канальную и пакетную коммутацию.
- Канал радиодоступа должен быть достаточно гибким, чтобы поддерживать различные типы трафика, активность уровней, скорости передачи, задержки, показатели ошибок.
- Необходимо эффективное сопряжение свойств приложений пользовательского трафика, созданных на основе внешних (по отношению к сети UMTS) сетевых технологий, и свойств канала радиодоступа. При этом желательно избегать сложных процедур сопряжения.
- Определение атрибутов трафика и механизмов управления трафиком для канала радиодоступа должно быть согласовано с преобладающими сетевыми технологиями.

¹ Рекомендация ITU-T Q.931 определяет процедуры установления, поддержки и прекращения сетевых соединений в пользовательских интерфейсах цифровых сетей интегрального обслуживания.

- Определение атрибутов канала радиодоступа должно обеспечивать эффективное управление трафиком и радиоресурсами в слое доступа.

Локализация пользователя. Функция является частью слоя доступа, а также может поддерживаться вне его. Примерами действия данной функции являются процедуры оповещения внутри географической зоны и обновление информации о местоположении пользователя.

Идентификация местоположения ПТ. Функция, аналогичная предыдущей с той лишь разницей, что объектом применения является не пользователь, а мобильный терминал.. Является частью слоя доступа и может поддерживаться вне его.

Подключение / отключение. Функция, обеспечивающая подключение пользователя к сети и по его желанию (либо по каким-нибудь иным причинам) отключающая от сети. Помещена вне слоя доступа, однако в перспективе может поддерживаться и внутри слоя.

Хэндовер. Понятие хэндовера является одним из ключевых в любой сети мобильной связи. Изначально (в сетях первого поколения) хэндовер определялся как процедура эстафетной передачи активного (т. е. находящегося в стадии вызова или разговора) мобильного абонента при пересечении им границ сот. Однако в последующем понятие хэндовера было расширено; появилось понятие внутреннего хэндовера, когда, например, пользователь географически остается в пределах прежней соты, но происходит перевод его обслуживания в другой частотный диапазон [2, 7].

В системе UMTS предусмотрено большое число различных сценариев хэндовера, протекающего как в пределах слоя доступа, так и вне его. В настоящее время принята следующая классификация хэндоверов.

А-классификация описывает пути, по которым предполагается совершить хэндовер:

- A1-хэндовер, когда сеть информирует целевую соту перед тем, как ПТ сменит текущую соту;
- A2-хэндовер, когда сеть не информирует целевую соту перед тем, как ПТ сменит текущую соту;
- A3-хэндовер, когда ПТ информирует целевую соту перед тем, как он сменит текущую соту.

В-классификация определяет, сеть или ПТ принимает решение о совершении хэндовера:

- V1-хэндовер, когда решение принимает ПТ;
- V2-хэндовер, когда решение принимает сеть.

С-классификация отражает тип хэндовера:

- C1-хэндовер — хэндовер внутри соты;
- C2-хэндовер — хэндовер внутри сети доступа;
- C3-хэндовер — внешний хэндовер между сетями доступа, но без смены точки доступа к базовой сети;
- C4-хэндовер — хэндовер внутри базовой сети при однотипной сети доступа;
- C5-хэндовер — хэндовер внутри базовой сети с разнотипными сетями доступа;
- C6-хэндовер — внешний хэндовер между разными базовыми сетями одного типа при однотипной сети доступа;
- C7-хэндовер — внешний хэндовер между разными базовыми сетями одного типа с разнотипными сетями доступа;
- C8-хэндовер — внешний хэндовер между разными базовыми сетями разных типов при однотипной сети доступа;
- C9-хэндовер — внешний хэндовер между разными базовыми сетями разных типов при разнотипных сетях доступа;
- C10-хэндовер — внешний хэндовер без смены сети доступа.

Наконец, **Д-классификация** касается выполнения хэндовера с точкой привязки:

- D1-хэндовер выполняется с точкой привязки;
- D2-хэндовер выполняется без точки привязки.

Функция хэндовера считается расположенной в слое доступа, однако приведенные сценарии показывают, что в перспективе она может быть распространена и на внешность слоя.

Управление ресурсами. Функция находится и внутри слоя доступа, и вне его. Она предназначена для распределения ресурсов потоков служебной или пользовательской информации с целью его передачи с заданным качеством обслуживания. При этом управление ресурсами внутри слоя доступа должно быть прозрачным для механизмов, находящихся вне слоя доступа и наоборот.

Макроразнесение каналов передачи. Функция расположена вне слоя доступа, но может поддерживаться и внутри слоя в зависимости от выбранной технологии множественного доступа.

Шифрование. Поскольку передача пользовательских данных происходит по открытому радиоканалу, существует необходимость применения механизмов шифрования для защиты передаваемой информации, так что данная функция является неотъемлемой частью слоя доступа. Вне слоя доступа, например, в области базовой сети, проблема информационной безопасности менее остра, однако, как правило, шифрование опционально применяется и там.

Аутентификация пользователя. Пользовательские данные, необходимые для проведения процедуры аутентификации, хранятся вне слоя доступа, следовательно, и функция помещена вне слоя доступа.

Кодирование данных источника. Источники пользовательской информации (речь, изображение, видео) обладают определенной избыточностью, и для эффективного использования ресурсов системы применяются различные механизмы кодирования (сжатия) данных, позволяющие заметно снизить эту избыточность. Функция находится вне слоя доступа.

Кодирование информации в радиоканале. При передаче информации по радиоканалу из-за негативного влияния внешних помех возможно искажение информации. Для противодействия этому вводятся

различные механизмы помехоустойчивого кодирования. Функция находится в слое доступа.

Тарификация. Функция, не входящая в слой доступа, представляет собой собственно тарификацию, а также генерирование информации о тарификации, т. е. выставление счетов за услуги.

1.3. ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ СЕТЕВЫХ УСЛУГ

Ключевыми объектами сетевого взаимодействия являются *пользователь*, *провайдер* и *услуга*, взаимоотношения которых поясняются через совокупность связанных друг с другом определений.

Пользователь — объект, находящийся в границах системы и использующий набор разрешенных услуг.

Провайдер — абстрактное представление совокупности тех элементов системы, которые обеспечивают предоставление услуг пользователю.

Услуга — возможность провайдера к совершению некоторых действий, обеспечиваемая в определенных границах системы.

Из приведенных определений следует, что определение услуги — это полное выражение поведения провайдера с точки зрения пользователя. При этом само определение услуги не описывает внутреннее поведение провайдера, и существует много механизмов, могущих быть реализованными для ее обеспечения.

Услуга определяется как возможность провайдера, поэтому чтобы сделать услугу пригодной для использования, необходимо каким-то образом связать пользователя и услугу. В результате возникает понятие *определения услуги*, которое содержит поведение пользователя по отношению к данной услуге. Заметим, что полное поведение пользователя не является целью определения услуги.

В основе определения услуги лежит определенная *модель услуги*. Рассмотрим общую модель сетевой услуги, которая применима ко всем телекоммуникационным режимам (связь без установки соединения, связь с установкой соединения, одноранговая связь, многоранго-

вая связь и т.д.) на всех семи уровнях модели взаимодействия открытых систем (ВОС) [2].

Заданное в модели взаимодействие между пользователем и провайдером составляет абстрактный интерфейс границы услуги. Этот абстрактный интерфейс называется *локальным видом* (local view), и он определен в терминах *примитивов* — элементарных составляющих услуги. Состояние локального вида полностью определяется предшествующей последовательностью примитивов, рассматриваемых в пределах границы услуги.

Примитив услуги, исходящей от пользователя к провайдеру, определяется:

- содержанием информации, заключенной в примитиве;
- ограничениями, наложенными на пользователя, для того, чтобы сгенерировать примитив;
- требованиями к действию, которым должен ответить провайдер в результате получения примитива.

Аналогичным образом, примитив услуги, исходящей от провайдера к пользователю, определяется:

- содержанием информации, заключенной в примитиве;
- условиями, которым должен удовлетворять провайдер, для того, чтобы сгенерировать примитив;
- возможными ожидаемыми результатами провайдера, касающимися реакциями пользователя при получении примитива.

Таким образом, модель услуги описывает *виртуальное окружение* — содержание примитивов и полный набор взаимоотношений между пользователем и провайдером. В некоторых случаях модель (например, если она описывает услугу прикладного уровня) может быть явно описана в спецификациях.

Как это ни покажется странным, но, несмотря на большое разнообразие возможных сетевых услуг, изначально существуют всего два базовых типа примитивов:

SUBMIT (ЗАПРОС),

генерируемый пользователем с целью обмена информацией с провайдером, и

DELIVER (ДОСТАВКА),

отсылаемый провайдером к пользователю в процессе обмена информацией.

Пользователь, генерирующий примитив ЗАПРОС, а в результате могущий получить один или более примитивов ДОСТАВКА, называется *запросчиком* (REQUESTOR). Пользователь, который получает примитив ДОСТАВКА, а в результате может сгенерировать один или более примитивов ЗАПРОС, называется *получателем* (ACCEPTOR). При этом один и тот же пользователь может выступать в качестве запросчика для одних взаимодействий и в качестве получателя — для других.

Примитивы ДОСТАВКА, исходящие из локального вида, обычно взаимосвязаны с примитивами ЗАПРОС, запрашиваемыми пользователями из других локальных видов. В некоторых специальных случаях (например, инициированных провайдером) примитив ДОСТАВКА может быть отослан без каких-либо примитивов ЗАПРОС.

Имея два базовых типа примитивов, можно конструировать на их основе различные подтипы, отражающие взаимосвязь примитивов в одном или нескольких локальных видах, а затем — наборы примитивов различных типов (подтипов). Имена примитивов структурированы следующим образом:

<имя примитива>::=<имя услуги>-<имя примитива услуги>.<тип примитива>,

где

<тип примитива>::=<базовый примитив>

или

<тип примитива>::=<подтип примитива>.<базовый примитив>.

В данной структуре компонент **<имя услуги>** — слово, идентифицирующую услугу на одном из семи сетевых уровней.

Компонент **<имя примитива услуги>** представляет собой одно слово, состоящее из индикативной формы глагола (т. е. изъявительно-го наклонения) и предназначенное для имени примитива услуги, например,

CONNECT (СОЕДИНИТЬ).

Компонент **<базовый примитив>** указывает, является ли примитив типа SUBMIT (ЗАПРОС) или DELIVER (ДОСТАВКА).

Компонент **<подтип примитива>** — одно слово, уточняющее тип примитива, например, REQUESTOR (ЗАПРОСЧИК).

При желании структура имен может быть упрощена. В частности, используемые последовательно компоненты **<подтип примитива>** и **<базовый примитив>** сокращаются до простого имени в следующих очень часто встречающихся случаях:

- взамен REQUESTOR.SUBMIT используется REQUEST (ЗАПРОС);
- взамен ACCEPTOR.DELIVER используется INDICATION (ИНДИКАЦИЯ);
- взамен ACCEPTOR.SUBMIT используется RESPONSE (ОТКЛИК);
- взамен REQUESTOR.DELIVER используется CONFIRM (ПОДТВЕРЖДЕНИЕ).

Таким образом, несмотря на то, что исходно базовыми считаются два примитива SUBMIT и DELIVER, фактически для реализации сетевых услуг используются четыре базовых примитива: REQUEST, RESPONSE, CONFIRM, INDICATION.

Для полного описания примитива необходимо задать его имя, а также список всех его параметров и их значения, где каждый параметр может относиться к услуге, связанной с передачей служебной информации или пользовательских данных.

Итак, локальный вид, т. е. совместное поведение пользователя и провайдера в границах услуги можно описать посредством перечисления примитивов, генерируемых и принимаемых каждой из сторон

взаимодействия. При этом текущее состояние локального вида полностью определяется предшествующей последовательностью примитивов.

Определение набора локальных видов, значимых для определения услуги, требует определения набора возможных состояний для каждого локального вида. Набор состояний для данного локального вида определен посредством возможных последовательностей примитивов, которые могут появиться в границах услуги для такого локального вида. Возможная последовательность примитивов ограничена моделью, которая определяет содержание примитивов, а также связями между примитивами для данного локального вида и примитивами для других значимых локальных видов.

На рис. 1.3 показана модель услуги, предназначенной для четырех пользователей, трое из которых участвуют в обмене примитивами с провайдером. Каждому пользователю виден только соответствующий локальный вид. Заметим, что в реальности провайдер — это физический объект, характеризующийся неидеальностью характеристик, так что существуют времена задержки между отдельными составляющими услуги; возможность потери, ошибки связи или выполнения в неправильном порядке и т. п.

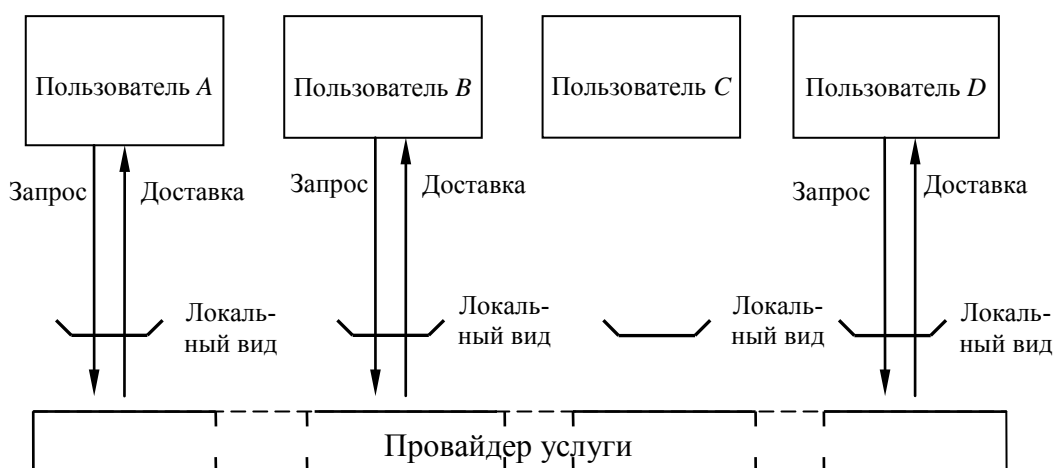


Рис. 1.3. Модель услуги для четырех пользователей

Обратимся теперь к концепции определения самой услуги. При этом заметим, что определение услуги содержит одно или более определений локальных видов. Когда существует только одно определение всех участвующих локальных видов, услуга называется *симметричной*, и нет необходимости в их дополнительной идентификации. Соответственно, когда услуга *асимметрична*, требуются уникальные имена для различения локальных видов, имеющих различные определения. Обычно стараются выбрать такие мнемонические имена, чтобы они облегчали понимание протекающих в сети процессов, например, CLIENT и SERVER.

Далее отметим, что поскольку услуга — это возможность провайдера к совершению действий, она может быть разделена на части, отражающие обязательность исполнения действий:

- обязательная часть;
- опциональная часть провайдера;
- опциональная часть пользователя.

Таким образом, опциональная часть пользователя может быть либо опциональной частью провайдера, либо обязательной частью, т. е. обязательной частью для провайдера, но опциональной — для пользователя.

Рассмотрим определение услуги на примере двух основных телекоммуникационных режимов: *режим без установления соединения* и *режим с установлением соединения*.

В режиме с установлением соединения:

- примитив ЗАПРОС всегда генерируется запросчиком;
- примитив ДОСТАВКА всегда принимается получателем, и в этом случае примитив называется ИНДИКАЦИЯ;
- определена связь между примитивом ЗАПРОС, порожденным запросчиком, и примитивом ДОСТАВКА, отправленным к одному или более получателям.

На рис. 1.4 показан пример многогранговой услуги с установлением соединения, в которой оба примитива ИНДИКАЦИЯ, полученные

пользователями *C* и *D*, связаны с примитивом ЗАПРОС, порожденным пользователем *A*, а примитив ПОДТВЕРЖДЕНИЕ, направленный к пользователю *A*, связан с обоими примитивами ОТКЛИК. Многограновость услуги понимается в том смысле, что пользователь *A* с более высоким рангом управляет процессами передачи и приема примитивов по отношению к пользователям *C* и *D*, имеющим более низкий ранг.

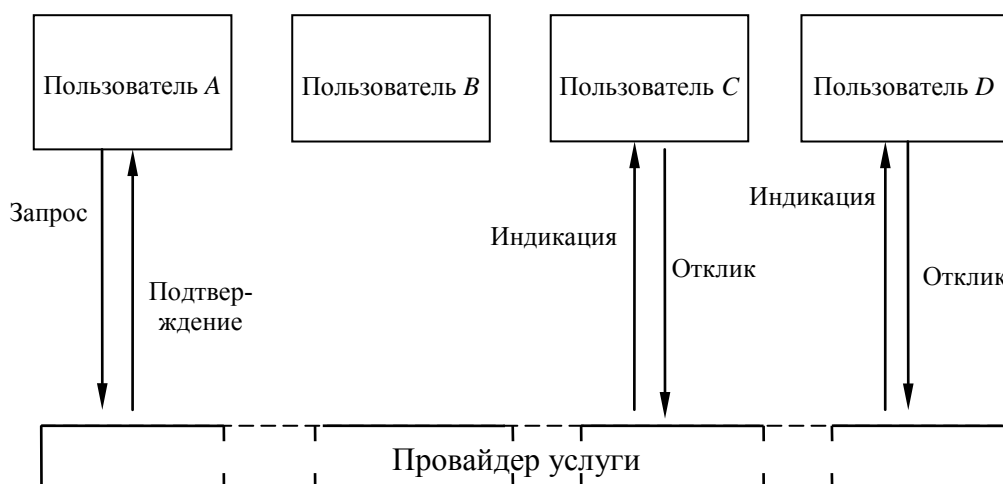


Рис. 1.4. Пример услуги в режиме с установлением соединения

В режиме без установления соединения:

- примитив ЗАПРОС может быть сгенерирован либо запросчиком (REQUESTOR.SUBMIT), либо получателем (ACCEPTOR.SUBMIT);
- примитив ДОСТАВКА может быть отправлен либо к запросчику (REQUESTOR.DELIVER), либо к получателю (ACCEPTOR.DELIVER);
- определены связи между примитивами ЗАПРОС, отправленными запросчиком или получателем, и примитивами ДОСТАВКА, отправленными к запросчику или к одному или более получателям.

Пример одноранговой (с равноправными пользователями) услуги в режиме без установления соединения показан на рис. 1.5, где каждый из примитивов ЗАПРОС и ПОДТВЕРЖДЕНИЕ пользователя *A*

связан соответственно с примитивами ИНДИКАЦИЯ и ОТКЛИК пользователя *B*.



Рис. 1.5. Пример услуги в режиме без установления соединения

Иллюстрацией (без претензии на полное и однозначное описание услуги) взаимодействия примитивов в границах услуги являются соответствующие *временные диаграммы*, которые могут отображать последовательность событий как в пределах одного локального вида, так и между различными пользователями.

Общий вид временной диаграммы включает в себя:

- представление различных локальных видов, например, набором окружностей с их идентификацией и отображение связей между ними посредством линий, соединяющих такие окружности;
- набор вертикальных линий под каждым локальным видом, отражающих, по направлению сверху вниз, течение времени;
- совокупность примитивов, представляемых стрелками, направленными в соответствии с процессами взаимодействия между локальными видами.

При этом для представления примитивов на временной диаграмме используются следующие соглашения: стрелки помещаются слева от примитивов запросчика и справа от примитивов получателя; стрелки направлены в сторону вертикальной линии при отображении

примитивов ЗАПРОС и в противоположную — при отображении примитивов ДОСТАВКА.

Иногда при построении временной диаграммы среди примитивов, относящихся к различным локальным видам, может возникнуть неопределенность в установлении связей. Для устранения такой неопределенности, если это не приводит к чрезмерному усложнению или нечитаемости диаграммы, возможно применение пунктирной линии между стрелками, помещенными у различных локальных видов, для отображения того, что примитивы, ассоциированные с данными локальными видами, связаны между собой. Кроме того, если необходима дополнительная информация, то она может быть представлена посредством записей на диаграмме.

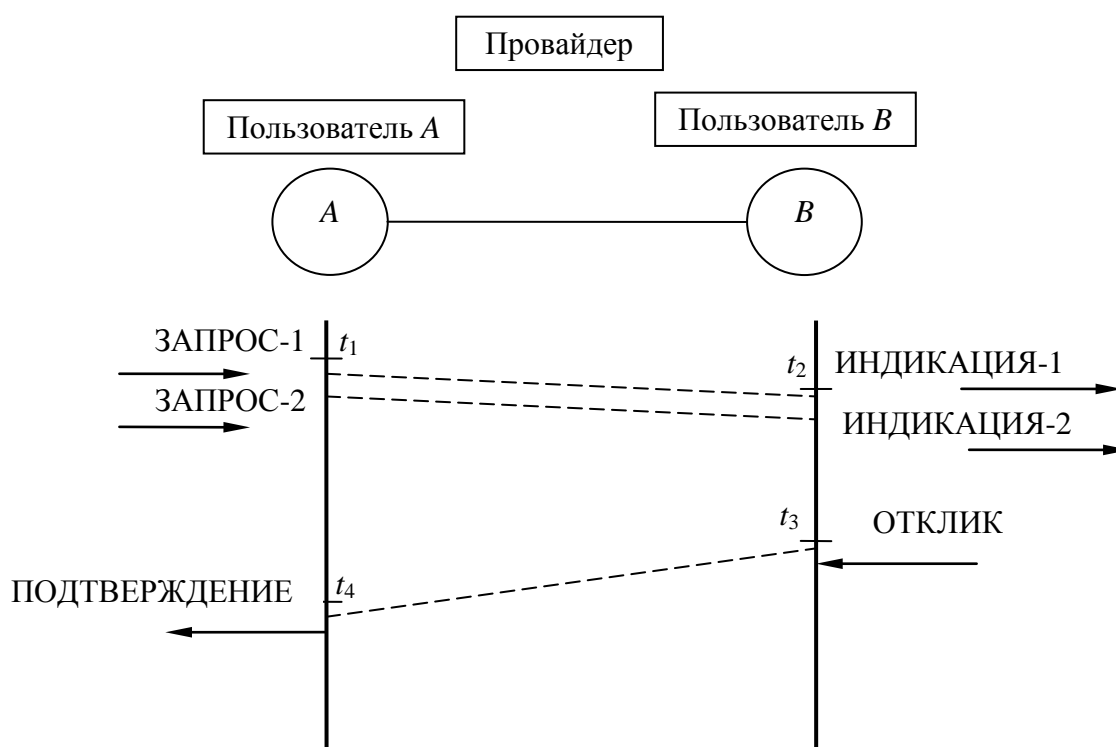


Рис. 1.6. Пример временной диаграммы

На рис. 1.6 показан пример временной диаграммы, иллюстрирующей простую (одноранговую) двухчастную услугу. Пользователь А в момент времени t_1 посылает два примитива ЗАПРОС, характеризующих две части одной услуги. В момент t_2 эти примитивы достав-

ляются пользователю *B* как примитивы ИНДИКАЦИЯ. В момент t_3 пользователь *B* отправляет запросный примитив ПОДТВЕРЖДЕНИЕ, а в момент t_4 пользователю *A* доставляется примитив ОТКЛИК, что и заканчивает услугу.

1.4. УСЛУГИ СЛОЯ ДОСТУПА

Обратимся теперь к рассмотрению непосредственно услуг слоя доступа, реализация которых базируется на следующих принципах.

- Слой должен содержать в себе все функции, необходимые для установления, поддержки и прекращения беспроводного доступа.
- Изменение функциональных свойств сети доступа должно иметь минимальное влияние на функции базовой сети и наоборот.
- Сеть беспроводного доступа должна обеспечивать доступ к базовым сетям различных типов через контрольную точку *Iu*.
- Пользовательские услуги, служебная информация, необходимая для осуществления доступа, а также управление пользовательской мобильностью должны быть полностью сосредоточены вне слоя доступа и, при необходимости, прозрачно (т. е. без внесения каких-либо изменений) передаваться сквозь него.
- Слой доступа должен обеспечивать гибкое беспроводное соединение, характеризуемое заданными параметрами качества обслуживания. При этом некоторые варианты беспроводного соединения могут быть асимметричными, т. е. иметь различные конфигурации в восходящем и нисходящем направлениях¹.
- При реализации беспроводного соединения должна быть предусмотрена канальная и пакетная коммутация.
- В течение времени беспроводного соединения параметры соединения могут меняться (требуемая полоса, качество обслуживания и др.).

¹ Восходящим направлением называется канал передачи от ПТ к базовым станциям сети; нисходящим — от базовых станций к ПТ. Часто нисходящее направление называют прямым каналом, а восходящее — обратным каналом.

- Слой доступа может обеспечивать несколько параллельных и независимых беспроводных соединений к одному ПТ, каждое — со своими характеристиками.

- Мультимедийная передача управляется вне слоя доступа посредством нескольких мультиплексированных потоков в одном беспроводном соединении с возможной их синхронизацией.

- Управление хэндоверами и макроразнесением каналов в пределах одной сети доступа сосредоточено внутри слоя доступа. Хэндовер между двумя сетями доступа (например, между двумя сетями UTRAN или сетью UTRAN и сетью GSM) может поддерживаться базовой сетью.

- Слой доступа не должен выдавать ввне параметры, касающиеся установления беспроводного доступа; например, данные о местоположении пользователя, выдаваемые в базовую сеть, не должны сопровождаться информацией о текущей конфигурации сети доступа.

- В перспективных вариантах сетевых реализаций ПТ может иметь соединение с несколькими базовыми сетями, т. е. различные контрольные точки Iu. В настоящее время этот вопрос находится в стадии исследований.

Реализация сетевых услуг основана на понятии *точки доступа к услуге* (SAP, Service Access Point). Точка доступа к услуге — это логическая точка, в которой услуга какого-либо уровня модели ВОС становится доступной ближайшему вышестоящему уровню. При этом наименование точек доступа производится в соответствии с уровнем, обеспечивающим данную услугу. Например, транспортные услуги обеспечиваются посредством *транспортных точек доступа* (TSAP, Transport Service Access Point) на верхней части транспортного уровня. В свою очередь, сетевые услуги представляются транспортному уровню через *сетевую точку доступа* (NSAP, Network Service Access Point), причем для каждого объекта транспортного уровня имеется одна сетевая точка доступа к услуге.

В сетях UMTS принята симметричная реализация точек доступа к услугам, т. е. одна и та же точка доступа отвечает за реализацию услуги как в области сетевой инфраструктуры (стык “Базовая сеть — сеть доступа”), так и в области пользовательского оборудования (стык “Пользовательское оборудование — сеть доступа”).

Точки доступа к услугам общего управления используются с целью предоставления базовой сети возможности выдачи пользовательской информации или служебных команд, не связанных с каким-либо пользователем или группами пользователей. Обычно выделяется одна точка доступа общего управления и в области пользовательского оборудования (на один ПТ), и в сетевой инфраструктуре (на каждую точку соединения “Сетевой доступ — базовая сеть”).

В системе UMTS с точками доступа общего управления связан процесс *вещания* — передача служебной или пользовательской информации по радиоканалу из области сетевой инфраструктуры в область пользовательского оборудования, ограниченную определенной географической зоной. Эта информация используется ПТ, например, для выбора точек доступа или в качестве приложения. Заметим, что данный процесс имеет отношение только к той информации, что порождается вне слоя доступа. Различают два вещательных примитива.

- *Запрос на вещание со стороны сетевой инфраструктуры.* Параметрами запроса являются: категория¹ (выбор точки доступа, начальный доступ, приложение); географическая зона; вещательная информация.

- *Индикация вещания в области пользовательского оборудования* с отображением собственно вещательной информации, а также контрольной точки доступа, т. е. точки в границах доступа (например, соты), где эта информация была принята.

Точки доступа к услугам подтверждения используются для передачи информации к идентифицированным пользователям, например,

¹ В спецификации под категорией понимается перечислимый список, т. е. значение категории — это одно из значений всего списка.

для инициализации вызова в область сетевого доступа. Аналогично предыдущему случаю, обычно выделяется одна точка доступа подтверждения и в области пользовательского оборудования, и в сетевой инфраструктуре.

В системе UMTS определены следующие примитивы, связанные с точками доступа подтверждения.

- *Запрос на вызов со стороны сетевой инфраструктуры.* Параметрами запроса являются: пользовательский или терминальный идентификатор; географическая зона, в пределах которой будет осуществлено вещание; параметры вызываемого источника (для выбора определенного источника из списка возможных); посылаемая информация.

- *Запрос на подтверждение вещания со стороны сетевой инфраструктуры.* Параметрами запроса являются: географическая зона, в пределах которой будет осуществлено вещание; параметры подтверждающего источника; вещательная информация.

- *Индикация подтверждения в области пользовательского оборудования с отображением собственно вещательной информации, а также контрольной точки доступа.*

Точки доступа к услугам выделенного управления предназначены для установления и поддержки соединений с определенными ПТ, а также для передачи изменяющейся информации, связанной с такими соединениями. При этом соединение определяется как *совокупность соотношений между временными контекстами* в области сетевого доступа и базовой сети¹. Контекст в области сетевого доступа иницируется в момент установления соединения и прекращается (“стирается”), когда соединение реализовано. Возможно как точечное соединение (с одним пользователем), так и многоточечное (групповое) соединение.

¹ Контекст (от лат. contextus — соединение) — текущий статус, режим работы или состояние системы; окружение, среда исполнения программы; текущая ситуация и т. п.

Как правило, в сетевой инфраструктуре имеется достаточно большое число точек доступа выделенного управления на одну точку соединения в сетевой инфраструктуре, в то время как в области пользовательского оборудования на один ПТ по-прежнему выделяется одна точка доступа выделенного управления. С каждой точкой доступ связан соответствующий идентификатор SAPI (Service Access Point Identifier), так что в течение времени своего существования любое соединение может быть однозначно определено посредством идентификатора SAPI.

Примитивов, связанных с точками выделенного управления в системе UMTS, существует достаточно большое число, и для удобства классификации их можно разделить на 7 групп.

1. Примитивы установления соединения, инициированного ПТ.

Запрос на установку соединения, инициированный ПТ. Параметрами запроса являются: контрольная точка местного соединения; параметры маршрутизации, используемые для выбора точки соединения “Сетевой доступ — базовая сеть”; начальное сообщение, пересылаемое во вне слоя доступа.

Индикация в области сетевой инфраструктуры запроса на установку соединения, инициированного ПТ. Параметрами индикации являются: контрольная точка местного соединения; начальное сообщение; локализационные данные, т. е. информация о местоположении ПТ в пределах какой-либо географической зоны.

Подтверждение в области сетевой инфраструктуры установки соединения, инициированного ПТ. Параметрами подтверждения являются: контрольная точка местного соединения; статус (законченный или продолжающийся); начальный ответ, отсылаемый в недоступный слой.

Отклик ПТ на установку соединения, инициированного ПТ. Параметрами отклика являются: контрольная точка местного соединения; статус; начальный ответ.

2. Примитивы окончания соединения.

Запрос со стороны сетевой инфраструктуры на окончание соединения, инициированного сетевой инфраструктурой, содержащий контрольную точку местного соединения.

Индикация со стороны ПТ окончания соединения, инициированного сетевой инфраструктурой, содержащая контрольную точку местного соединения. Следует иметь в виду, что данный, а также предыдущий примитивы являются завершающими при соединениях, и их использование может привести к тому, что ранее начавшиеся при этом же соединении процессы (например, процесс “прозрачной” передачи данных) не будут полностью завершены.

3. Примитивы, связанные с передачей данных.

Запрос из области сетевой инфраструктуры на передачу данных. Параметрами запроса являются: контрольная точка местного соединения; маршрут; идентификатор транзакции¹; управление транзакцией (единичная, первая, последовательная, последняя); индикатор качества обслуживания; сообщение.

Индикация в области ПТ передачи данных. Параметрами индикации являются: контрольная точка местного соединения; маршрут; идентификатор транзакции; управление транзакцией; индикатор режима передачи; сообщение.

Запрос ПТ на передачу данных. Параметрами запроса являются: контрольная точка местного соединения; маршрут; идентификатор транзакции; управление транзакцией (единичная, первая, последовательная, последняя); индикатор качества обслуживания; сообщение.

Индикация в области сетевой инфраструктуры передачи данных. Параметрами индикации являются: контрольная точка местного соединения; маршрут; идентификатор транзакции; управление транзакцией; индикатор режима передачи; сообщение.

¹ Транзакция — единица информационного обмена, состоящая из запроса и ответного сообщения. Обычно представляет собой небольшое сообщение, передаваемое в диалоговом режиме между равноправными объектами прикладного уровня.

4. Прimitives установления беспроводного соединения, инициированного сетью.

Запрос со стороны сети на установление беспроводного соединения, инициированный сетью. Параметрами запроса являются: контрольная точка местного соединения; идентификатор радиодоступа; идентификатор соединения в контрольной точке Iu; запрос на показатель качества обслуживания.

Индикация в ПТ установления беспроводного соединения, инициированного сетью. Параметрами индикации являются: контрольная точка местного соединения; идентификатор радиодоступа; идентификатор соединения в контрольной точке Iu.

Отклик ПТ на установление беспроводного соединения, инициированного сетью. Параметрами отклика являются: контрольная точка местного соединения; идентификатор радиодоступа; статус.

Подтверждение сетью установления беспроводного соединения, инициированного сетью. Параметрами подтверждения являются: контрольная точка местного соединения; идентификатор радиодоступа; статус.

5. Прimitives окончания беспроводного соединения, инициированного сетью.

Запрос со стороны сети на окончание беспроводного соединения, инициированного сетью. Параметрами запроса являются: контрольная точка местного соединения; идентификатор радиодоступа.

Индикация в ПТ окончания беспроводного соединения, инициированного сетью. Параметрами индикации являются: контрольная точка местного соединения; идентификатор радиодоступа.

6. Прimitives, функционирующие только в области сетевой инфраструктуры.

Индикация обновления местоположения. Параметрами индикации являются: контрольная точка местного соединения; местоположение.

Индикация потери соединения. Параметром индикации является контрольная точка местного соединения.

Индикация требуемого направления используется слоем доступа для указания на то, что в установленном канале существует риск потери соединения. Параметрами индикации являются: контрольная точка местного соединения; предлагаемый список альтернативных точек соединения.

Запрос на установку пути. Параметрами запроса являются: контрольная точка местного соединения; список требуемых транзакций.

Подтверждение установки пути. Параметром индикации является контрольная точка местного соединения.

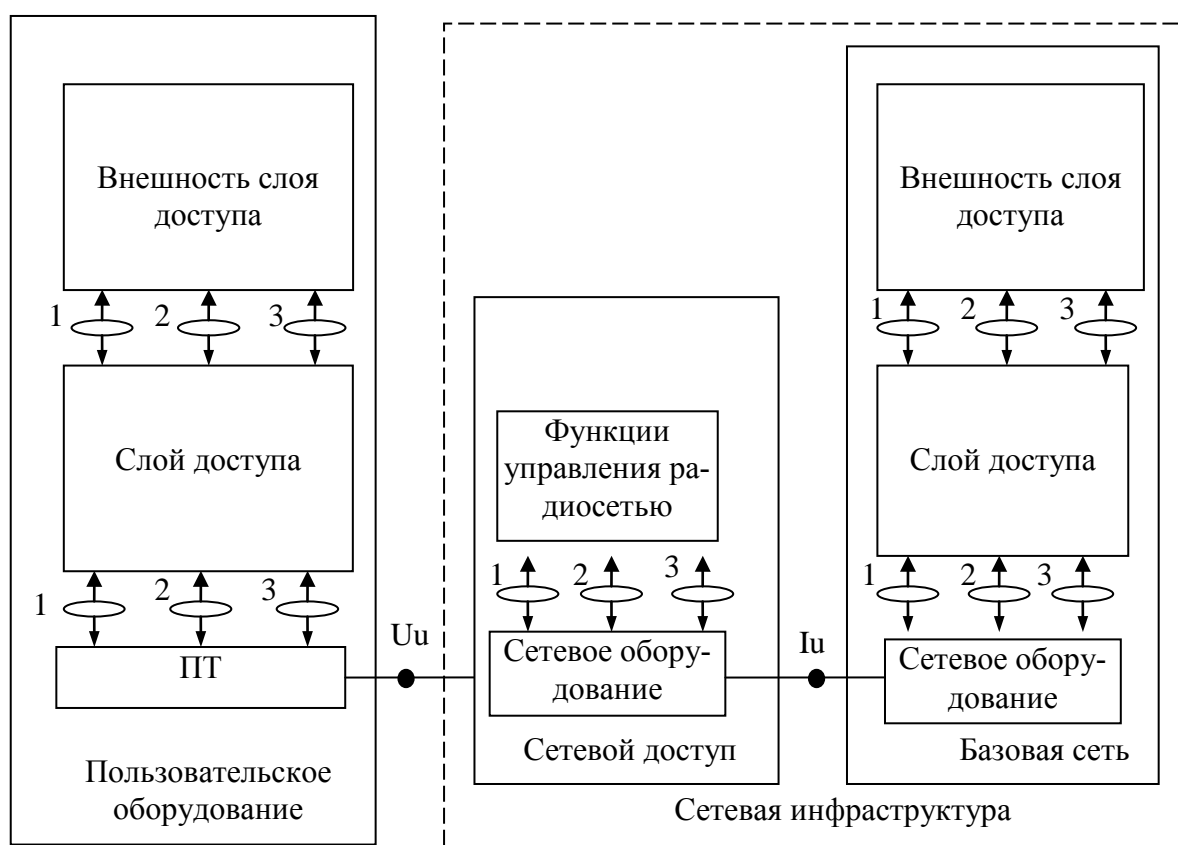


Рис. 1.7. Использование точек доступа в слое доступа

Запрос на информацию о местоположении ПТ. Параметрами запроса являются: контрольная точка местного соединения; показатель

точности (базовая или повышенная); тип запроса (текущая локализация или при выполнении дополнительных условий); список дополнительных условий.

Подтверждение получения информации о местоположении ПТ. Параметрами подтверждения являются: контрольная точка местного соединения; идентификатор зоны (например, глобальный сотовый идентификатор); географические координаты; список дополнительных условий.

7. Примитивы, функционирующие только в области ПТ.

Индикация потери соединения. Параметром индикации является контрольная точка местного соединения.

На рис. 1.7 показано совокупная структура использования точек доступа в слое доступа. Цифрами 1, 2 и 3 обозначены соответственно точки доступа общего управления, точки доступа подтверждения и точки доступа выделенного управления.

1.5. АРХИТЕКТУРА СЕТИ UMTS

На рис. 1.8 представлена обобщенная структурная схема сети UMTS (ср. с рис. 1.1). Основными функциональными блоками являются базовая сеть (Core Network), сеть наземного радиодоступа (UTRAN, Universal Terrestrial Radio Access Network) и совокупность пользовательских терминалов (ПТ). Базовая сеть и сеть наземного радиодоступа связаны между собой интерфейсом Iu; доступ в сеть пользовательских терминалов осуществляется посредством радиointерфейса Uu.

С позиции функционирования протоколов интерфейсов Uu и Iu сеть разделена на две части, называемых *плоскостями*: пользовательскую плоскость и плоскость управления.

Пользовательская плоскость содержит протоколы, реализующие существующие сетевые услуги посредством радиодоступа, т. е. переносящие пользовательские данные через слой доступа.

В плоскость управления входят протоколы, предназначенные для управления радиодоступом и соединений между ПТ и сетью в раз-

личных ситуациях: запрос на услугу, контроль радиоресурсов при приеме/передаче, хэндовер, маршрутизация и др. Также в плоскость управления включены протоколы прозрачной передачи вне слоя доступа: управление связью (Communication Management, CM), управление мобильностью (Mobility Management, MM), управление сеансами (Session Management, SM), и др.

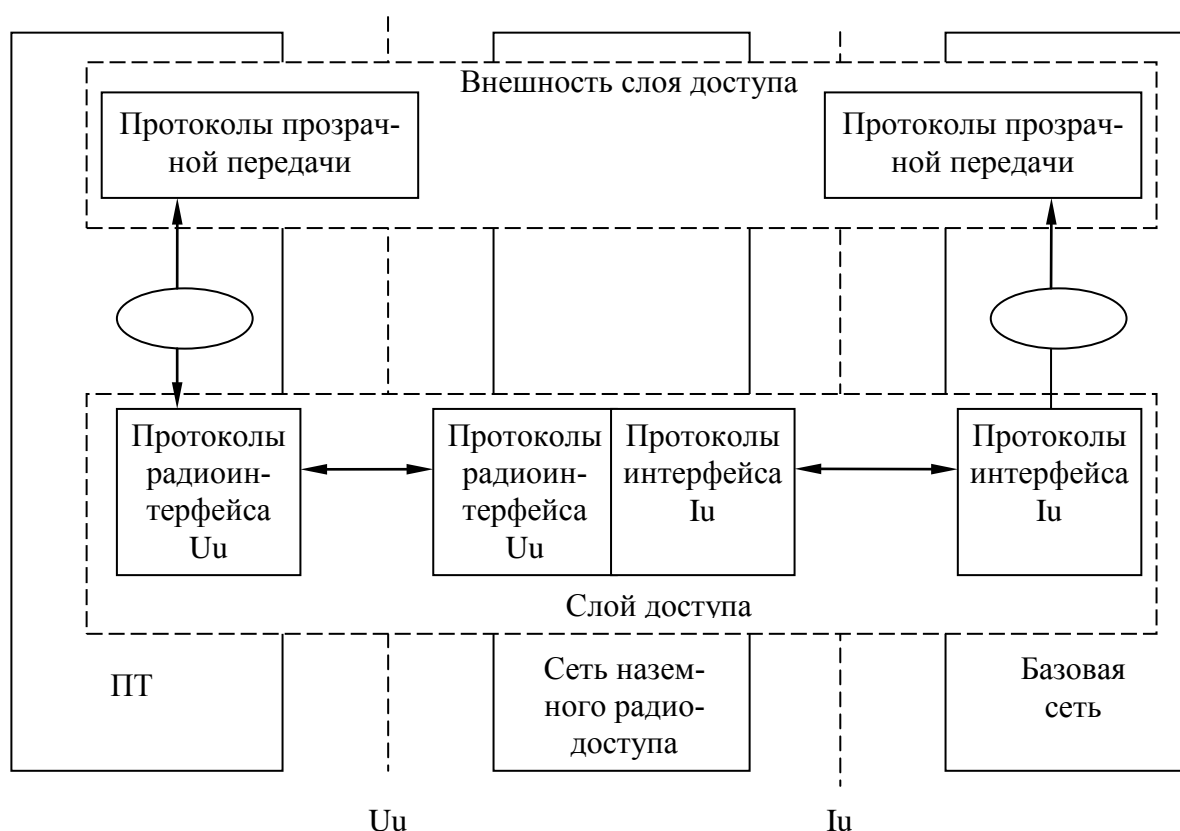


Рис. 1.8. Обобщенная структурная схема сети UMTS

Общими принципами, лежащими в основе функционирования сети UMTS, а также ее интерфейсов, являются следующие.

- Транспортные механизмы, передающие служебную информацию (сигнализацию) и полезную информацию логически разделены.
- С базовой сети и сети наземного радиодоступа сняты транспортные функции, и, следовательно, схемы адресации в таких сетях не должны быть привязаны к схемам адресации транспортных функций.

- Управление в режиме частотного разделения полностью осуществляется сетью наземного доступа.
- Управление мобильностью при соединении с управлением ресурсами осуществляется сетью наземного доступа.
- Реализуемые в сети интерфейсы должны базироваться на логических моделях тех блоков, которые должны управляться этими интерфейсами. При этом логическая модель определяется совокупностью информационных объектов, соответствующих сетевым элементам, и их соединений, топологическими связями между элементами конечных точек соединений (терминальных точек), а также транспортных модулей, обеспечивающих передачу информации между двумя и более терминальными точками.
- Один физический элемент сети может реализовывать несколько логических узлов.

Рассмотрим, прежде всего, особенности построения и основные характеристики сети наземного радиодоступа.

Сеть наземного радиодоступа представляет собой совокупность нескольких подсистем, соединенных с базовой сетью через Iu-интерфейс. Такими подсистемами являются: *контроллер радиосети* KPC (Radio Network Controller, RNC), набор базовых станций, ответственных за прием-передачу данных к ПТ и обратно — в UMTS их принято называть *узлами B* (каждый узел может состоять из одной или нескольких базовых станций), а также, опционально, *автономный обслуживающий центр* ОЦ (Serving Mobile Location Centre, SMLC).

Узел *B*, соединенный с KPC посредством Iub-интерфейса, может поддерживать частотное (Frequency Division Duplex, FDD), временное (Time Division Duplex, TDD) или совместное дуплексирование каналов. При этом в режиме с временным дуплексированием возможны три режима различными скоростями передачи данных: 1,28, 3,84 и 7,68 Мчип/с.

На сеть наземного радиодоступа возложено выполнение следующих основных функций.

Передача пользовательских данных между контрольными точками U_u и I_u .

Управление доступом к системе. Доступ в систему — это набор средств, при помощи которых пользователь осуществляет соединение с сетью радиодоступа с целью получения возможных сетевых услуг. Базовыми действиями, связанными с функцией управления доступом, являются регулирование допуска в сеть новых пользователей, управление перегрузками, вещание системной информации, поддержка конфигурации многооператорной базовой сети.

Целью управления допуском является прием или, наоборот, запрет на прием в сеть новых пользователей. При осуществлении управления необходимо пытаться избегать ситуаций, связанных с перегрузкой сети.

Задача управления перегрузками — мониторинг, определение и исправление ситуаций, при которых система приближается к перегрузке либо уже находится в перегруженном состоянии, т. е. в некоторой части сети заканчиваются либо уже закончились ресурсы. Следовательно, необходимо как можно быстрее вернуть систему в стабильное состояние.

Вещание системной информации необходимо для обеспечения функционирования ПТ, находящегося как в слое доступа, так и вне его.

Шифрование-дешифрование данных в радиоканале с целью их защиты от несанкционированного доступа третьей стороны.

Управление мобильностью абонента, где основными процедурами являются хэндовер, переопределение обслуживающей радиосети, поддержка вещательной информации, позиционирование, выбор узла вне слоя доступа, управление общим доступом.

Основное назначение хэндоверов, общая классификация которых представлена в разд. 1.2, — эффективное управление мобильностью абонента по радиointерфейсу с целью удовлетворения требований

качества обслуживания, основанное на анализе измерений параметров радиоканала.

Процедура переопределения обслуживающей радиосети для базовой сети координирует действия сетевых узлов, участвующих в этой смене.

Поддержка вещательной информацией обеспечивает возможность запросов со стороны ПТ на контакт с радиосетью. Также в эту процедуру входят задачи координации между различными базовыми сетями.

Процедура позиционирования позволяет определить географическое местоположение и, возможно, скорость передвижения ПТ.

Процедура выбора узла вне слоя доступа дает возможность изначально назначить ресурсы базовой сети для обслуживания ПТ.

Процедура управления общим доступом позволяет базовой сети осуществить запрос к сети радиодоступа на установление определенного механизма контроля доступа.

Функции контроля и управления радиоресурсами. Данные функции, основными из которых являются конфигурация радиоресурсов, анализ радиоканала, мультиплексирование потоков данных, установка и снятие соединений, распределение (возможно, динамическое) радиоканалов, управление мощностью излучения, канальное кодирование-декодирование, управление случайным доступом, должны быть, вообще говоря, разделены между режимами канальной и пакетной коммутации.

Назначение функции анализа радиоканала — непрерывное измерение параметров радиоканала (причем, как в обслуживающей, так и в соседних сотах) и формирование на основании этих измерений оценок качества радиоканала. Измерения включают в себя: мощность принимаемого сигнала; уровень интерференции в принимаемом сигнале; коэффициент битовых ошибок; доплеровский сдвиг; состояние синхронизации; общий уровень мощности нисходящего канала в соте и др.

Функция мультиплексирования (объединения-разделения) потоков данных в приемопередатчике обеспечивает передачу одинаковой информации по нескольким физическим каналам (возможно, в различные соты), предназначенной для одного ПТ.

Функция установки и снятия соединений обеспечивает управление отдельными транзакциями вызовов и сеансов связи в сети радиодоступа.

Назначение функции распределения радиоканалов — преобразование потока запросов на соединение в последовательность решений о выделении физических каналов в соответствии с требованиями качества обслуживания, налагаемыми на каналы радиодоступа. При временном дуплексировании может использоваться динамическое (быстрое и медленное) распределение каналов.

Группа функций управления мощностью излучения осуществляет контроль и управление уровнем излучаемой мощности с целью минимизации интерференционных помех и удовлетворению качества излучения.

Функции канального кодирования-декодирования обеспечивают избыточное введение в передаваемые потоки данных специальных механизмов, на основании которых возможны обнаружение и автоматическое исправление возникающих в канале ошибок. Алгоритмы кодирования могут различаться для различных типов логических каналов и типов данных.

Назначение функции управления случайным доступом — прием и удовлетворение запросов от абонента на выделение ресурсов сети для организации и поддержки сеансов связи.

Функции широковещательной (в том числе, многопользовательской) передачи. В данную функцию входят процедуры распределения вещательной информации, управления потоком, формирования отчетов о статусе вещательных услуг.

Трассировка радиоканалов.

Составление отчетов об объемах переданной информации в целях тарификации и составления счетов.

Обратимся к рассмотрению интерфейсов сети радиодоступа, которые построены на основе модели, представленной на рис 1.9. Основной принцип, положенный в основу этой модели, заключается в том, что уровни и плоскости не зависят друг от друга. Следовательно, при необходимости стеки протоколов легко могут быть изменены под соответствующие требования.

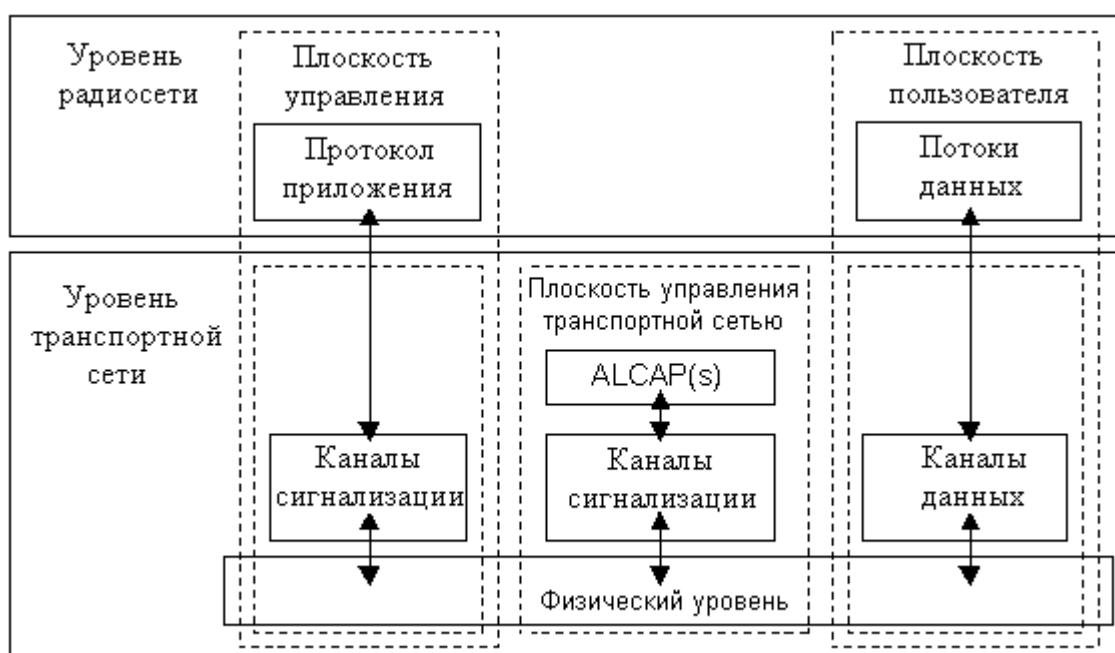


Рис. 1.9. Модель интерфейсов сети радиодоступа

Структура протоколов содержит два основных уровня: *уровень радиосети* и *уровень транспортной сети*. Все элементы сети радиодоступа относятся только к уровню радиосети, уровень транспортной сети содержит стандартные транспортные механизмы, приспособленные под сеть радиодоступа, но без каких-либо требований с ее стороны.

Плоскость управления включает протокол приложения, т. е. прикладную часть протоколов интерфейса сети радиодоступа (Radio

Access Network Application Part, RANAP) и канал сигнализации, предназначенный для передачи сообщений, относящихся к протоколу приложений. Кроме всего другого, протокол приложений используется, в частности, для установки сквозного канала на уровне радиосети, параметры которого непосредственно не привязаны к механизмам пользовательской плоскости.

Пользовательская плоскость включает в себя потоки данных и каналы, предназначенные для их передачи. Каждый поток данных характеризуется одним или более протоколами передачи кадров.

Плоскость управления транспортной сетью не содержит какой-либо информации, касающейся уровня радиосети, и полностью относится к транспортному уровню. В нее входят прикладная часть протоколов управления доступом к соединению (Access Link Control Application Part, ALCAP), необходимая для установления транспортных каналов в пользовательской плоскости, и соответствующие каналы сигнализации.

Как следует из рис. 1.9, плоскость управления транспортной сетью является связующим звеном между плоскостью управления и пользовательской плоскостью на уровне радиосети — это сделано с целью обеспечить полную независимость прикладного протокола в плоскости управления радиосети от выбранных механизмов формирования каналов передачи данных в пользовательской плоскости.

В пользовательской плоскости транспортной сети располагаются каналы передачи данных и каналы сигнализации для протокола приложения. Каналы передачи данных непосредственно контролируются из плоскости управления транспортной сети.

Рассмотрим модели формирования стека протоколов для различных транспортных каналов и режимов конфигураций сетевых элементов.

На рис. 1.10 показана модель стека для канала случайного доступа (Random Access Channel, RACH) в случае, когда управляющий и обслуживающий контроллеры радиосети совпадают.

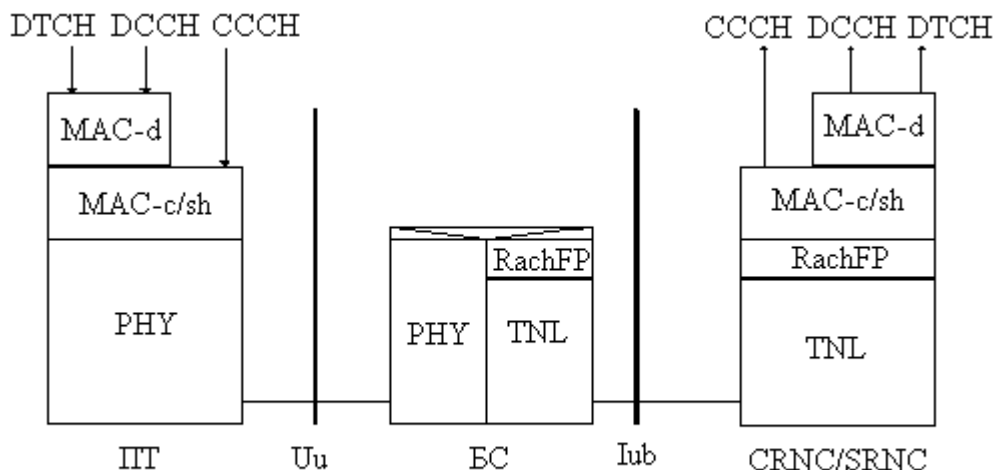


Рис. 1.10. Модель стека для канала случайного доступа

Взаимодействие логических каналов в стеке описывается в терминах специальных модулей MAC-подуровня (Media Access Control) канального уровня семиуровневой модели взаимодействия открытых систем (ВОС), либо различных её модификаций (см. разд. 2).

Для каждого транспортного RACH-канала формируется выделенный модуль MAC-подуровня (Dedicated MAC, MAC-d), который использует услуги общего модуля MAC-подуровня (Common MAC, MAC-c/sh). Модуль MAC-c/sh, относящийся к ПТ, должен передать, используя *функции взаимодействия* (Interworking Function, IWF), в соответствующий (т. е. находящийся на одном уровне) модуль MAC-c/sh, который относится к контроллеру радиосети, некоторый пакет данных (Protocol Data Unit, PDU). Для этого на физическом уровне (PHY) через радиоинтерфейс осуществляется передача пакета данных кадра от ПТ к базовой станции. Далее, на БС происходит обработка полученного кадра, а именно, к нему добавляется заголовок протокола кадра канала случайного доступа (RACH Frame Protocol, RACH FP), в результате чего формируется пакет данных канала случайного доступа (RACH FP PDU). Далее, сформированный пакет пе-

редается контроллеру радиосети, в котором из него извлекается пакет данных подуровня MAC-c/sh.

Более подробное изложение особенностей функционирования протоколов MAC-уровня системы UMTS в рамках данного пособия представляется нецелесообразным, поскольку требует как большого объёма, так и необходимости описания взаимодействия с ниже- и вышележащими уровнями.

Вопросы и задания

1. Объясните понятие слоя сети. Приведите примеры протоколов, действующих на различных слоях сети UMTS.
2. Какие функции сети UMTS относятся к слою доступа? Какие не относятся?
3. Перечислите основные слои сети UMTS.
4. Что такое хэндовер? Приведите классификацию хэндоверов.
5. Что такое примитив? Изобразите пример временной диаграммы услуги, используя примитивы.
6. Перечислите основные функциональные блоки сети UMTS.
7. Что означает понятие прозрачной передачи?
8. Опишите понятие точки доступа к услуге.
9. Входит ли тарификация в функции сети UMTS?
10. Каково назначение интерфейса Iu?

2. РАДИОИНТЕРФЕЙС СЕТЕЙ UMTS

В данной главе изучаются принципы функционирования протоколов радиointерфейса сетей UMTS, обеспечивающих физическую передачу пользовательских данных между различными ПТ, а также обмен служебной информацией между ПТ и функциональными узлами сети.

Рассматривается совокупность логических, транспортных, физических каналов и их взаимное отображение в разных режимах на различных (под)уровнях.

2.1. ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ПРОТОКОЛОВ РАДИОИНТЕРФЕЙСА

Протоколы, функционирующие в границах радиointерфейса, относятся к трем уровням модели ВОС: физическому (уровень 1, L1), каналному (уровень 2, L2) и сетевому (уровень 3, L3).

Как это обычно бывает, реальные протоколы, используемые в существующих системах, в той или иной степени не соответствуют представлениям, заложенным в каноническую модель ВОС, поскольку требуют обеспечения непредусмотренных функциональных возможностей, так что привязка некоторых из них к стандартным уровням является достаточно условной. Несколько повысить степень адекватности теоретической модели к реальной системе можно посредством разделения канонических уровней на определенные подуровни, наделяя последние рядом дополнительных функций.

Согласно технической документации, каналный уровень радиointерфейса сетей UMTS, описываемый спецификациями серии 25.300, разделен на четыре подуровня:

- *подуровень управления доступом к среде* (Medium Access Control, MAC-подуровень);
- *подуровень управления радиоканалом* (Radio Link Control, RLC-подуровень);

- *подуровень протокола совмещения пакетных данных* (Packet Data Convergence Protocol, PDCP-подуровень);
- *подуровень управления вещанием* (Broadcast/Multicast Control, BMC-подуровень).

С позиции распределения между функциональными узлами сети протоколы радиointерфейса разделены между различными плоскостями: протоколы третьего (сетевого) уровня и также RLC-подуровня отнесены и в плоскость управления, и в пользовательскую плоскость; протоколы подуровней PDCP и BMC сосредоточены только в пользовательской плоскости.

Те протоколы сетевого уровня, которые отнесены в плоскость управления, также распределены в несколько подуровней. Самым нижним является *подуровень управления радиоресурсами* (Radio Resource Control, RRC-подуровень), взаимодействующий с протоколами канального уровня — он ограничен в пределах сети радиодоступа.

Следующим является *подуровень “избегание дублирования”* (Duplication Avoidance, DA), обеспечивающий услуги слоя доступа по отношению к более высоким уровням. Данный подуровень отнесен к слою доступа, но его функциональность ограничена базовой сетью.

Более высокие подуровни — *подуровень управления мобильностью* (Mobility Management, MM) и *подуровень управления вызовами* (Call Control, CC) — считаются расположенными вне слоя доступа.

На рис. 2.1 показана архитектура протоколов радиointерфейса. Каждый блок-прямоугольник соответствует определенному протоколу, а овалами помечены точки доступа, в которых происходит взаимодействие подуровней. Точка доступа между физическим уровнем и MAC-подуровнем канального уровня представляет собой *транспортные каналы*, а точка доступа между подуровнями RLC и MAC — *логические каналы*.

RLC-подуровень обеспечивает существование трех типов точек доступа — по одной для каждого режима функционирования:

- режима с подтверждением;

- режима без подтверждения;
- транспарентного (прозрачного) режима.

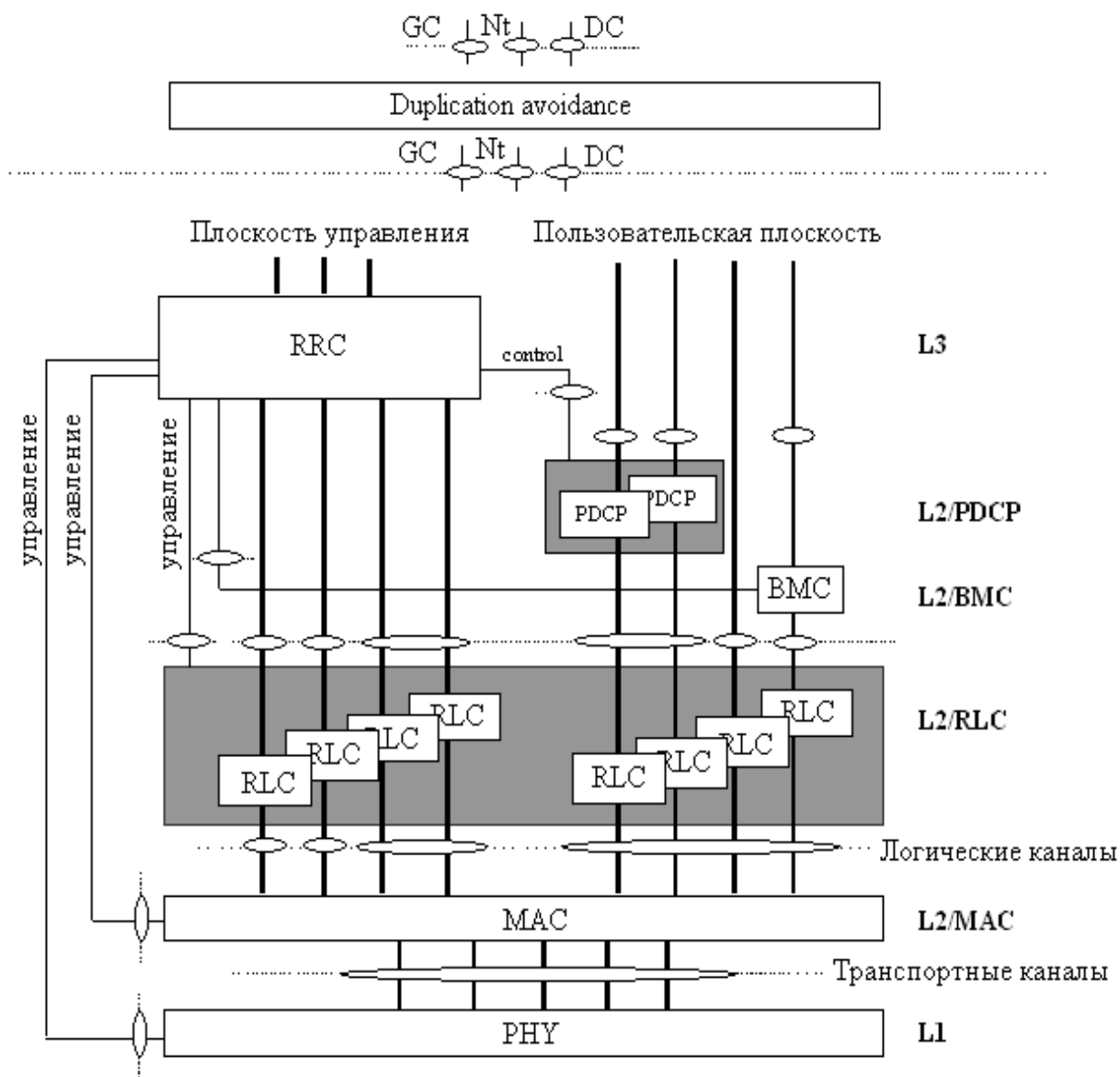


Рис. 2.1. Архитектура протоколов радиointерфейса

Подуровни PDCP и BMC также доступны через соответствующие точки доступа. Доступные услуги канального уровня связаны с радиоканалом, и та его часть, что относится к плоскости управления, называется *каналом сигнализации*. В плоскости управления взаимодействие между подуровнем DA и более высокими подуровнями —

управления мобильностью и управления вызовами — определяется точками доступа общего управления (General Control, GC), подтверждения (Notification, Nt) и выделенного управления (Dedicated Control, DC).

Также на рис. 2.1 показаны соединения между подуровнями, обеспечивающие услуги локального, внутриуровневого управления. Между парами подуровней RRC и RLC, RRC и PDCP, RRC и BMC существует одинаковый управляющий интерфейс — это позволяет RRC-подуровню осуществлять конфигурацию и управление более низкими уровнями через соответствующие точки доступа.

На RLC-подуровне и в плоскости управления, и в пользовательской плоскости обеспечивается механизм автоматического запроса на повторную передачу (Automatic Request for Retransmission, ARQ), жестко привязанный к используемому методу передачи.

MAC-подуровень, в свою очередь, трактуется как совокупность нескольких модулей: MAC-d, MAC-c/sh/m, MAC-hs/MAC-ehs, MAC-es/MAC-e, MAC-i/is и MAC-m. Каждый модуль отвечает за определенное количество функций и используется с различными физическими и транспортными каналами.

Услуги управления, позволяющие RRC-подуровню локально (т. е. без установки связи между равноправными устройствами) осуществлять управление более низкими уровнями, обеспечиваются соответствующими точками доступа C-SAP (Control Service Access Point). Как уже было сказано в разд. 1.3, произвольная услуга может быть определена посредством набора из базовых услуг — примитивов. В спецификациях по протоколам радиointерфейса UMTS приняты следующие принципы, лежащие в основе наименования примитивов.

- Услуги-примитивы, обеспеченные точками доступа, расположенными между соседними (под)уровнями, должны быть снабжены префиксом по имени обеспечивающего (под)уровня: PHY, MAC, RLC, PDCP, BMC.

- Услуги-примитивы, обеспеченные точками доступа к приложениям, должны быть снабжены префиксом по имени обеспечивающего (под)уровня, т. е. RRC.

- Услуги-примитивы, обеспеченные точками доступа к управлению, должны быть дополнительно к префиксу обеспечивающего (под)уровня снабжены еще и префиксом “C”: CPHY, CMAC, CRLC, CPDCP, CBMS.

Использование таких принципов приводит к следующей записи услуг-примитивов.

Примитивы между физическим уровнем и MAC-подуровнем:

PHY-<Generic name>-<Type>.

Примитивы между физическим уровнем и RRC-подуровнем (управление “над уровнем”, т. е. обходя соседний уровень):

CPHY-<Generic name>-<Type>.

Примитивы между подуровнями MAC и RLC:

MAC-<Generic name>-<Type>.

Примитивы между подуровнями MAC и RRC (управление “над уровнем”):

CMAC-<Generic name>-<Type>.

Примитивы между RLC и более высокими подуровнями, между RLC и RRC при передаче данных, между RLC и PDCP:

RLC-<Generic name>-<Type>.

Примитивы между подуровнями RLC и RRC для управления RLC-подуровня (управление “над уровнем”):

CRLC-<Generic name>-<Type>.

Примитивы поверх Uu-слоя:

UUS-<Generic name>-<Type>.

Примитивы между подуровнем PDCP и внешностью слоя доступа:

PDCP-<Generic name>-<Type>.

Примитивы между подуровнем BMS и более высоким уровнем:

BMC-<Generic name>-<Type>.

Примитивы между подуровнями BMS и RRC для управления BMS-подуровня (управление “над уровнем”):

CBMC-<Generic name>-<Type>.

2.2. УСЛУГИ И ФУНКЦИИ КАНАЛЬНОГО УРОВНЯ

Основными услугами, обеспечиваемыми на MAC-уровне, являются:

- передача данных;
- перераспределение радиоресурсов и MAC-параметров;
- предоставление отчетов об измерениях.

Реализация таких услуг обеспечивается выполнением следующих функций MAC-уровня.

- Отображение логических каналов на транспортные каналы.
- Выбор соответствующего транспортного формата для каждого транспортного канала в зависимости от текущей скорости передачи данных от источника.
- Приоритетное управление потоками данных, предназначенными для одного ПТ.
- Приоритетное управление потоками данных, предназначенными для разных ПТ, посредством динамического планирования.
- Идентификация различных ПТ в общем транспортном канале.
- Мультиплексирование пакетов данных, полученных от более высокого уровня, в транспортные блоки, направляемые на физический уровень по транспортным каналам, а также обратные операции демультиплексирования.
- Измерение объема трафика.
- Переключение типов транспортных каналов.
- Шифрование.
- Выбор класса доступа.
- Реализация механизма гибридного ARQ (HARQ).
- Сегментация и обратное восстановление данных.
- Последовательное отображение пакетов данных более высокого уровня на транспортные каналы.

Передача данных на МАС-подуровне обеспечивается посредством логических каналов. Каждый логический канал определяется типом информации, которая по нему передается.

Всю совокупность логических каналов принято разделять на две группы: *группу каналов управления*, передающих данные в плоскости управления, и *группу каналов трафика*, передающих данные в пользовательской плоскости.

Группу логических каналов управления образуют следующие каналы:

- *вещательный управляющий канал* (Broadcast Control Channel, BCCH);
- *вызывной (пейджинговый) управляющий канал* (Paging Control Channel, PCCH);
- *выделенный управляющий канал* (Dedicated Control Channel, DCCH);
- *общий канал управления* (Common Control Channel, CCCH);
- *канал управления общим каналом* (Shared Channel Control Channel, SHCCCH);
- *канал управления мультимедийным вещанием* (Multimedia Broadcast / Multicast Service point-to-point Control Channel, MCCH);
- *канал планирования мультимедийным вещанием* (Multimedia Broadcast / Multicast Service point-to-point Scheduling Channel, MSCH).

Группу логических каналов трафика образуют следующие каналы:

- *выделенный канал трафика* (Dedicated Traffic Channel, DTCH);
- *общий канал трафика* (Common Traffic Channel, CTCH);
- *канал трафика для передачи мультимедийной информации* (Multimedia Broadcast / Multicast Service point-to-point Traffic Channel, MTCH).

Список логических каналов, их направление и назначение представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Логические каналы и их назначение

№	Канал	Направление	Назначение
Логические каналы управления			
1.	Вещательный управляющий канал, BCCH	Нисходящий	Вещание системной информации
2.	Вызывной (пейджинговый) управляющий канал, PCCH	Нисходящий	Передача вызывной информации с целью локализации ПТ
3.	Выделенный управляющий канал, DCCH	Восходящий, нисходящий	Передача служебной информации между сетью и ПТ через RRC-соединение
4.	Общий канал управления, CCCH	Восходящий, нисходящий	Передача служебной информации между сетью и ПТ, не имеющей RRC-соединения
5.	Канал управления общим каналом, SHCCCH	Восходящий, нисходящий	Передача управляющей информации между сетью и ПТ в TDD-режиме
6.	Канал управления мультимедийным вещанием, MCCH	Нисходящий	Передача управляющей информации (“точка — мультиточка”) между сетью и ПТ, обеспечиваемый мультимедийной информацией

Окончание таблицы 2.1

№	Канал	Направление	Назначение
7.	Канал планирования мультимедийным вещанием, MSCH	Нисходящий	Передача управляющей информации (“точка — мультиточка”) между сетью и ПТ, обеспечиваемый мультимедийной информацией
Логические каналы трафика			
8.	Выделенный канал трафика, DTCH	Восходящий, нисходящий	Передача пользовательской информации (“точка — точка”) для выделенного ПТ
9.	Общий канал трафика, CTCH	Однонаправленный (либо восходящий, либо нисходящий)	Передача выделенной пользовательской информации (“точка — мультиточка”) для группы ПТ
10.	Канал трафика для передачи мультимедийной информации, MTCH	Нисходящий	Передача пользовательских данных для ПТ, обеспечиваемый мультимедийной информацией

Функции MAC-подуровня, связанные с доставкой пакетов данных на более низкие уровни, реализуются совместно со следующими функциями RLC-подуровня.

- Сегментация и повторная сборка пакетов данных более высокого уровня.

- Конкатенация (сцепление) пакетов данных.
- Дополнение пакетов данных пустыми битами.
- Передача пользовательских данных.
- Коррекция ошибок.
- Последовательная доставка пакетов данных более высокого уровня.
- Выявление дублирования в принятых пакетах данных.
- Управление скоростью потока передачи данных.
- Контроль порядковых номеров пакетов данных при повторной сборке.
- Выявление и устранение ошибок в работе протоколов RLC-подуровня.
- Шифрование.
- Получение пакетов данных из буфера.

Одним из главных механизмов сопряжения RLC- и MAC-подуровней является отображение логических каналов, действующих на RLC-подуровне, на транспортные каналы, функционирующие в границах MAC-подуровня.

Существующие транспортные каналы можно разделить на две группы: *группа общих каналов* и *группа выделенных каналов*.

В группу общих транспортных каналов входят:

- 1) *канал случайного доступа* (Random Access Channel, RACH);
- 2) *канал прямого доступа* (Forward Access Channel, FACH);
- 3) *вещательный канал* (Broadcast Channel, BCH);
- 4) *вызывной (пейджинговый) канал* (Paging Channel, PCH);
- 5) *нисходящий общий канал* (Downlink Shared Channel, DSCH);
- 6) *восходящий общий канал* (Uplink Shared Channel, USCH);
- 7) *высокоскоростной нисходящий общий канал* (High Speed Downlink Shared Channel, HS-DSCH);
- 8) *улучшенный выделенный канал* (Enhanced Dedicated Channel, E-DCH).

В табл. 2.2 представлены основные особенности общих транспортных каналов.

Таблица 2.2

Общие транспортные каналы

№	Канал	Направление	Основные особенности
1.	Канал случайного доступа, RACH	Восходящий	ограниченное поле для передачи данных; риск возникновения коллизий; открытый цикл управления мощностью.
2.	Канал прямого доступа, FACH	Нисходящий	возможность медленного управления мощностью; возможность быстрой (каждые 10 мс) смены битовой скорости; отсутствие внутреннего цикла управления мощностью.
3.	Вещательный канал, BCCH	Нисходящий	фиксированная низкая битовая скорость; вещание на всей территории покрытия одной соты.
4.	Вызывной (пейджинговый) канал, PCCH	Нисходящий	содержит индикатор вызова; вещание на всей территории покрытия одной соты.
5.	Нисходящий общий канал, DSCH	Нисходящий	используется в TDD-режимах; вещание на всей территории покрытия одной соты; использование внутреннего цикла управления мощностью при установлении связи с выделенным каналом; использование узких лучей диаграммы направленности; возможность медленного управления мощностью; ассоциированность с другими каналами.

Продолжение таблицы 2.2

№	Канал	Направление	Основные особенности
6.	Восходящий общий канал, USCH	Восходящий	используется только в TDD-режимах; возможность быстрой смены битовой скорости; использование управления мощностью; возможность использования узких лучей диаграммы направленности; синхронизация в восходящем направлении; использование временного упреждения.
7.	Высокоскоростной нисходящий общий канал, HS-DSCH	Нисходящий	возможность использования узких лучей диаграммы направленности; возможность применения гибридного механизма ARQ (HARQ) ¹ ; возможность канальной адаптации посредством динамической смены методов модуляции, кодирования и уровня излучаемой мощности; возможность вещания во всей соте; ассоциированность с другими транспортными и физическими каналами.

¹ HARQ — механизм гибридного ARQ. Позволяет обеспечить надёжную передачу данных в условиях плохого качества канала, в отличие от обычного ARQ, который работает эффективно лишь в том случае, когда количество ошибок невелико.

Окончание таблицы 2.2

№	Канал	Направление	Основные особенности
8.	Улучшенный выделенный канал, E-DCH (в режимах FDD и 1,28M-TDD)	Восходящий	<p>возможность быстрой (но в пределах времени передачи) смены битовой скорости;</p> <p>внутренний цикл управления мощностью;</p> <p>возможность применения механизма HARQ;</p> <p>возможность канальной адаптации посредством динамической смены методов модуляции, кодирования и уровня излучаемой мощности;</p> <p>ассоциированность с другими транспортными и физическими каналами.</p>

В группу выделенных транспортных каналов входят:

- 1) *выделенный канал* (Dedicated Channel, DCH);
- 2) *улучшенный выделенный канал* (Enhanced Dedicated Channel, E-DCH).

В табл. 2.3 представлены основные особенности выделенных транспортных каналов. Обратим внимание на то, что в зависимости от режима работы сети UMTS канал улучшенный выделенный канал E-DCH, используемый для высокоскоростной пакетной передачи данных в восходящем направлении в целях предоставления мобильного широкополосного доступа в интернет при более высоких показателях работы (увеличение скорости в восходящем канале до 5,8 Мбит/с, уменьшение задержки сигнала и увеличение, совокупной емкости системы на 150...200%) может быть и общим, и выделенным транспортным каналом (ср. табл. 2.2 и 2.3).

Таблица 2.3

Выделенные транспортные каналы

№	Канал	Направление	Основные особенности
1.	Выделенный канал, DCH	Нисходящий или восходящий	<p>возможность использования узких лучей диаграммы направленности;</p> <p>возможность быстрой (каждые 10 мс) смены битовой скорости;</p> <p>внутренний цикл управления мощностью;</p> <p>возможность использования временного упреждения (только в режиме TDD);</p> <p>возможность синхронизации в восходящем направлении.</p>
2.	Улучшенный выделенный канал, E-DCH	Восходящий	<p>возможность быстрой (но в пределах времени передачи) смены битовой скорости;</p> <p>внутренний цикл управления мощностью;</p> <p>возможность применения механизма HARQ;</p> <p>возможность канальной адаптации посредством динамической смены методов модуляции, кодирования и уровня излучаемой мощности;</p> <p>ассоциированность с другими транспортными и физическими каналами.</p>

Для каждого транспортного канала с фиксированной или медленно изменяющейся скоростью формируется соответствующий транспортный формат, а для транспортных каналов с быстро изменяющейся

ся скоростью — набор транспортных форматов. Чтобы описать, каким образом выполняется такое формирование, введем, прежде всего, некоторые термины и определения.

Основной единицей обмена данными между физическим уровнем и MAC-уровнем является *транспортный блок* (ТВ, Transport Block), представляющий собой упорядоченную строку бит. Понятие транспортного блока эквивалентно определению пакета данных MAC-уровня (MAC-PDU). Реально обмен данными происходит посредством набора (TBS, Transport Block Sets) из нескольких транспортных блоков TB_1, TB_2, \dots, TB_M с одинаковыми временными параметрами при задействовании одного транспортного канала. Исключения составляют каналы HS-DSCH и E-DCH, в которых обмен всегда происходит одним транспортным блоком.

Число A бит, входящих в транспортный блок, определяет *размер транспортного блока*, который всегда фиксирован в наборе транспортных блоков, т. е. все транспортные блоки в наборе имеют одинаковый размер. Общее количество бит в наборе определяет совокупный *размер набора транспортных блоков*.

Для идентификации отдельных бит в транспортном потоке вводится трехиндексная нумерация a_{imj} : i — номер транспортного канала, m — позиция транспортного блока TB_m в наборе транспортных блоков ($m = 1, \dots, M$), j — позиция данного бита в пределах транспортного блока ($j = 1, \dots, A$).

Временной интервал (Transmission Time Interval, TTI) — это временной интервал между началом текущего и последующего наборов транспортных блоков, т. е. интервал периодичности с которым транспортные блоки передаются физическим уровнем по радиоинтерфейсу. Данный интервал всегда кратен 10 мс, что соответствует длительности физического кадра (см. далее). MAC-уровень получает один набор транспортных блоков для каждого значения TTI времени передачи.

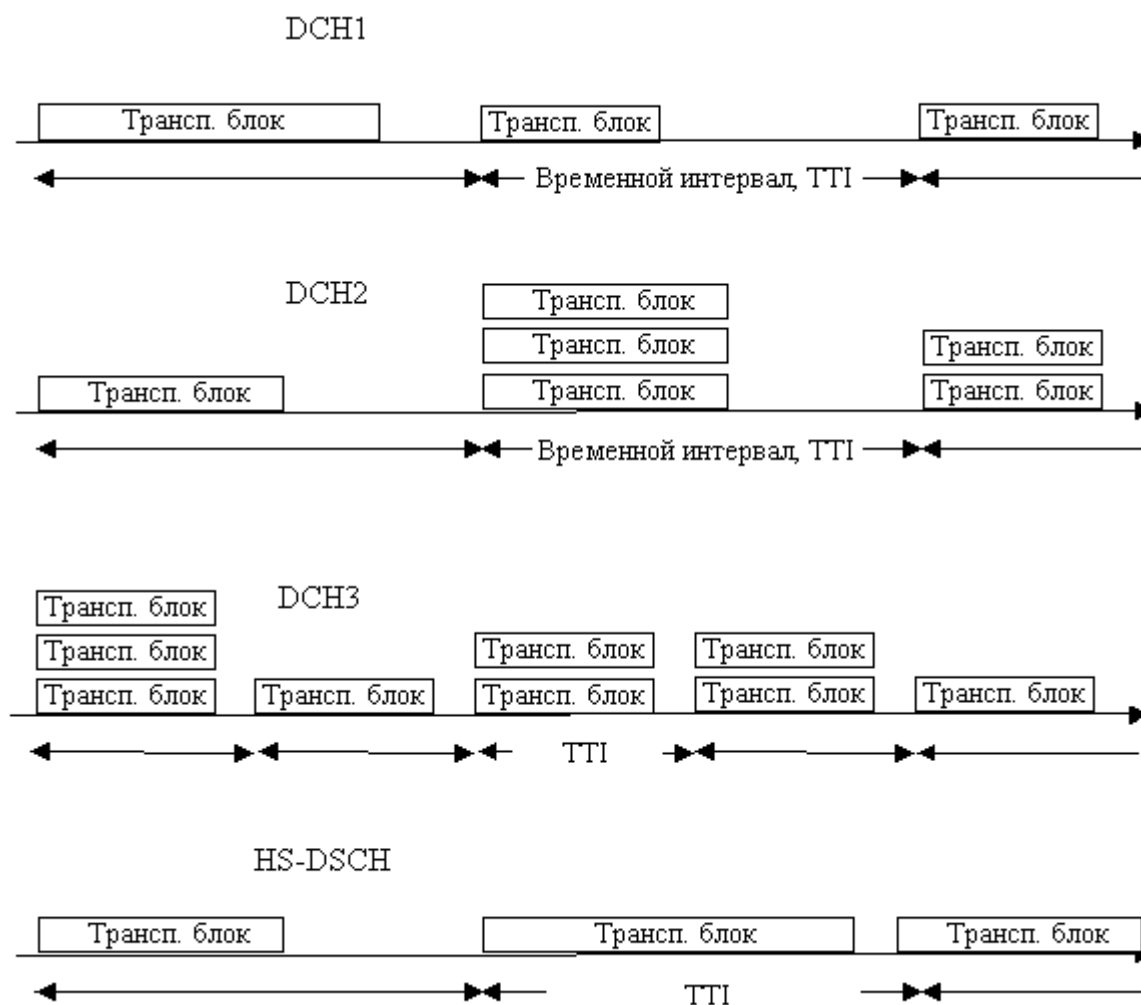


Рис. 2.2. Примеры передачи транспортных блоков

На рис. 2.2 показаны различные примеры передачи транспортных блоков через три транспортных канала.

В целях доставки транспортных блоков от физического уровня к MAC-подуровню (и наоборот) определяют *транспортный формат*, состоящий из двух частей: динамической и полустатической. Атрибутами динамической части являются:

- размер транспортного блока;
- размер набора транспортных блоков;
- время передачи (опционально, только для режима с временным мультиплексированием).

Атрибутами полустатической части являются:

- время передачи (обязательно для FDD-режима, опционально для TDD-режима);
- используемый механизм помехоустойчивого кодирования, т. е. тип кода (сверточный код, турбокод, отсутствие кодирования), кодовая скорость, параметры выравнивания скоростей;
- размер проверочной суммы.

Например, динамическая часть: {320 бит, 640 бит}; полустатическая часть: {10 мс, сверточное кодирование, параметр выравнивания скоростей = 1}.

Пустой транспортный формат определен как транспортный формат, в котором размер набора блоков равен нулю. При этом возможны два варианта представления такого формата. В первом случае $A = 0$, но $M \neq 0$, и по каналу передаются только проверочные символы. Во втором случае $M = 0$ (т. е. транспортные блоки вообще отсутствуют), и по каналу ничего не передается.

Описанный транспортный формат, включающий динамическую и полустатическую части, применим ко всем транспортным каналам за исключением каналов HS-DSCH и E-DCH, для которых определены свои собственные форматы.

Для канала HS-DSCH транспортный формат состоит из трех частей: динамической, полустатической и статической. Атрибутами динамической части являются:

- размер транспортного блока и набора транспортного блока;
- используемая избыточность;
- схема модуляции.

Атрибуты полустатической части канала HS-DSCH в настоящее время в спецификациях не определены.

Атрибутами статической части являются:

- время передачи (2 мс в режиме FDD, 10 мс в режимах 3,84M-TDD и 7,68M-TDD, 5 мс в режиме 1,28M-TDD);

- схема помехоустойчивого кодирования — используется турбокодирование, кодовая скорость $1/3$, размер проверочной суммы 24 бита.

Такую же трехчастную структуру имеет транспортный формат для канала E-DCH. При этом атрибутами динамической части являются:

- размер транспортного блока и набора транспортного блока;
- используемая избыточность.

Атрибуты полустатической части:

- время передачи (2 мс или 10 мс для режима FDD, 10 мс для режимов 3,84M-TDD и 7,68M-TDD, 5 мс для режима 1,28M-TDD).

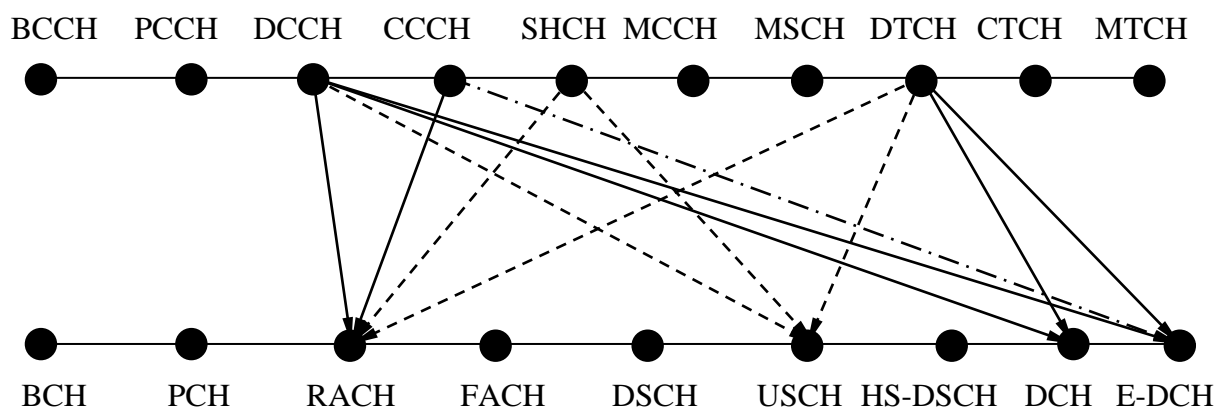
Атрибуты статической части:

- схема помехоустойчивого кодирования — используется турбокодирование, кодовая скорость $1/3$, размер проверочной суммы 24 бита.

Итак, для сопряжения подуровней RLC и MAC необходимо обеспечить отображение логических каналов на транспортные каналы. Согласно спецификациям, имеют место быть следующие отображения.

В восходящем направлении:

- логический канал CCCH может отображаться на транспортные каналы RACH и E-DCH (только в режимах FDD и 1,28M-TDD);
- логический канал DCCH может отображаться на транспортные каналы RACH, DCH и USCH (только в режиме TDD), E-DCH;
- логический канал DTCH может отображаться на транспортные каналы RACH, DCH и USCH (только в режиме TDD), E-DCH;
- логический канал SHCH может отображаться на транспортные каналы RACH (только в режиме TDD) и USCH (только в режиме TDD);

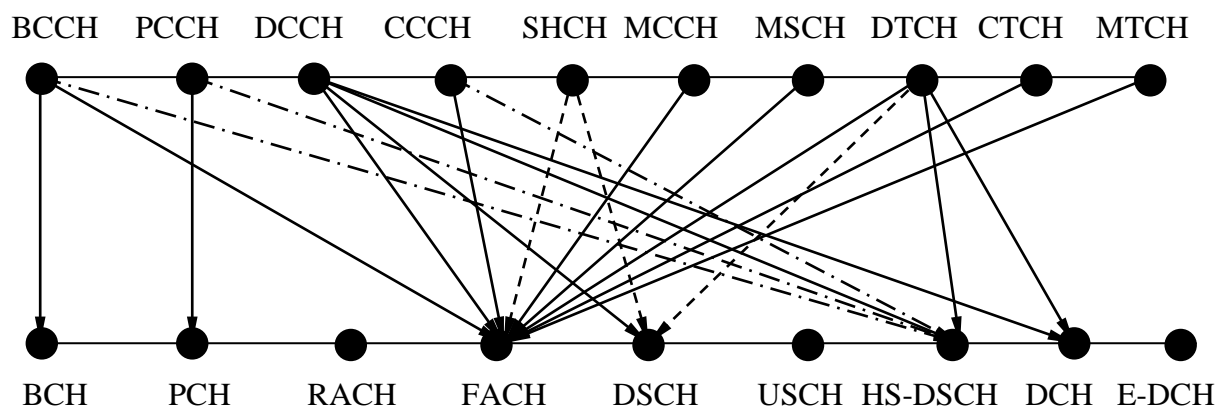


**Рис. 2.3. Карта отображений логических каналов
в восходящем направлении**

В нисходящем направлении:

- логический канал BCCH может отображаться на транспортные каналы BCH, FACH и HS-DSCH (только в режимах FDD и 1,28M-TDD);
- логический канал PCCH может отображаться на транспортные каналы PCH и HS-DSCH (только в режимах FDD и 1,28M-TDD);
- логический канал CCCH может отображаться на транспортные каналы FACH и HS-DSCH (только в режимах FDD и 1,28M-TDD);
- логический канал DCCH может отображаться на транспортные каналы FACH, DSCH (только в режиме TDD), HS-DSCH и DCH;
- логический канал MCCH может отображаться на транспортный канал FACH;
- логический канал MSCH может отображаться на транспортный канал FACH;
- логический канал DTCH может отображаться на транспортные каналы FACH, DSCH (только в режиме TDD), HS-DSCH и DCH;
- логический канал CTCH может отображаться на транспортный канал FACH;
- логический канал MTCH может отображаться на транспортный канал FACH;

- логический канал SHCH может отображаться на транспортные каналы FACH (только в режиме TDD) и DSCH (только в режиме TDD).



**Рис. 2.4. Карта отображений логических каналов
в нисходящем направлении**

На рис. 2.3 и 2.4 показаны карты отображений логических каналов в восходящем и нисходящем направлениях соответственно. При этом сплошными стрелками показаны отображения, возможные для всех режимов, пунктирными стрелками (---) — для TDD-режимов, а штрихпунктирными стрелками (— · —) — для режимов FDD и 1,28-M TDD.

Потоки данных, следующих через каналный уровень, характеризуются применением различных режимов передачи данных RLC-подуровня — режимом с подтверждением, режимом без подтверждения, а также режимом прозрачной¹ (транспарентной) передачи данных — в сочетании с различными типами передачи MAC-подуровня, связанными с тем, требуется или нет передача соответствующего заголовка. Когда не требуется передача MAC-заголовка, го-

¹ Термин “прозрачная передача” означает ситуацию, когда использование RLC- или MAC-протоколов не требует применения какой-либо управляющей информации данных протоколов, например, вставки заголовков, сегментации и др.

ворах о прозраной перадаче по МАС-подуровню. Непрозрачная перадача даных через RLC-подуровень, т. е. и с подтверждением, и без подтверждения требует наличия RLC-заголовка, причем в режиме без подтверждения возможен обмен только одним типом неподтвержденных пакетов — пакетом даных. В режиме с подтверждением возможен обмен как (подтвержденными) пакетами даных, так и пакетами управляющей информации.

В табл. 2.4 представлены режимы передачи на RLC- и МАС-подуровнях при возможных отображениях логических каналов на транспортные. Стрелка вверх ↑ означает, что данный канал функционирует только в восходящем направлении; стрелка вниз ↓ — только в нисходящем направлении.

Таблица 2.4

**Режимы отображения логических каналов
на RLC и МАС-подуровнях**

Отображение	Направление	Режим на RLC	Режим на МАС	Примечание
BCCH → BCH	↓	Прозрачный	Прозрачный	
BCCH → FACH	↓	Прозрачный	Непрозрачный	МАС-заголовок идентифицирует BCCH, среди других логических каналов
BCCH → HS-DSCH (FDD, 1,28-M TDD)	↓			
PCCH → PCH	↓	Прозрачный	Прозрачный	
PCCH → HS-DSCH (FDD, 1,28-M TDD)	↓			

Продолжение таблицы 2.4

Отображение	Направление	Режим на RLC	Режим на MAC	Примечание
DCCH → RACH	↑	Без подтверждения, с подтверждением	Непрозрачный	MAC-заголовок идентифицирует BCCH, среди других логических каналов
DCCH → USCH (TDD)	↑	Без подтверждения, с подтверждением	Прозрачный, непрозрачный	MAC-заголовок необходим, если DCCH и DTCH мультиплексированы на MAC
DCCH → DCH	↑	Прозрачный, непрозрачный	Прозрачный, непрозрачный	MAC-заголовок необходим, если DCCH и DTCH мультиплексированы на MAC
DCCH → E-DCH	↑	Без подтверждения, с подтверждением	Непрозрачный	
DCCH → FACH	↓	Без подтверждения, с подтверждением	Непрозрачный	MAC-заголовок идентифицирует BCCH, среди других логических каналов
DCCH → DSCH	↓	Без подтверждения, с подтверждением	Прозрачный, непрозрачный	MAC-заголовок идентифицирует DCCH, среди других логических каналов
DCCH → HS-DSCH	↓	Без подтверждения, с подтверждением	Непрозрачный	
DCCH → DCH	↓	Прозрачный, непрозрачный	Прозрачный, непрозрачный	

Продолжение таблицы 2.4

Отображение	Направление	Режим на RLC	Режим на MAC	Примечание
CCCH → RACH	↑	Прозрачный	Непрозрачный	
CCCH → FACH	↓	Без подтверждения	Непрозрачный	MAC-заголовок идентифицирует CCCH среди других логических каналов
SHCH → RACH (TDD)	↑	Прозрачный	Прозрачный, непрозрачный	MAC-заголовок идентифицирует SCHCH среди других логических каналов
SHCH → USCH (TDD)	↑	Прозрачный	Прозрачный, непрозрачный	MAC-заголовок идентифицирует SCHCH среди других логических каналов
SHCH → FACH (TDD)	↓	Без подтверждения	Прозрачный, непрозрачный	MAC-заголовок идентифицирует SCHCH среди других логических каналов
MCCH → FACH	↓	Без подтверждения, с подтверждением	Прозрачный, непрозрачный	MAC-заголовок идентифицирует услуги, мультиплексированные в логическом канале
MSCH → FACH	↓	Без подтверждения, с подтверждением	Прозрачный, непрозрачный	MAC-заголовок идентифицирует услуги, мультиплексированные в логическом канале
DTCH → RACH (TDD)	↑	Без подтверждения, с подтверждением	Непрозрачный	

Окончание таблицы 2.4

Отображение	Направление	Режим на RLC	Режим на MAC	Примечание
DTCH → USCH (TDD)	↑	Без подтверждения, с подтверждением	Прозрачный, непрозрачный	MAC-заголовок необходим, если DCCH и DTCH мультиплексированы на MAC
DTCH → DCH	↑	Прозрачный, непрозрачный	Прозрачный, непрозрачный	В RLC-прозрачном режиме поток DTCH сегментируется в несколько RLC-блоков. MAC-заголовок необходим, если несколько DTCH мультиплексированы на MAC
DTCH → FACH	↓	Без подтверждения, с подтверждением	Непрозрачный	
DTCH → HS-DSCH	↓	Без подтверждения, с подтверждением	Непрозрачный	
DTCH → DCH	↑	Без подтверждения, с подтверждением	Непрозрачный	
CTCH → FACH	↓	Без подтверждения, с подтверждением	Непрозрачный	MAC-заголовок идентифицирует CTCH среди других логических каналов
MTCH → FACH	↓	Без подтверждения, с подтверждением	Прозрачный, непрозрачный	MAC-заголовок идентифицирует услуги, мультиплексированные в логическом канале

Например, при отображении логического канала BCCH на транспортный канал BCH применяется режим прозрачной передачи на RLC- и MAC-подуровнях, и вставка RLC- и MAC-заголовков не требуется. Один логический канал BCCH всегда отображается на один транспортный канал BCH, т. е. все пакеты данных RRC-подуровня (для краткости будем называть их RRC-пакетами), передаваемые по каналу BCCH, имеют фиксированную длину и размещаются в одном пакете RLC-подуровня (RLC-пакете) и в одном пакете MAC-подуровня (MAC-пакете). Данное отображение иллюстрируется на рис. 2.5.

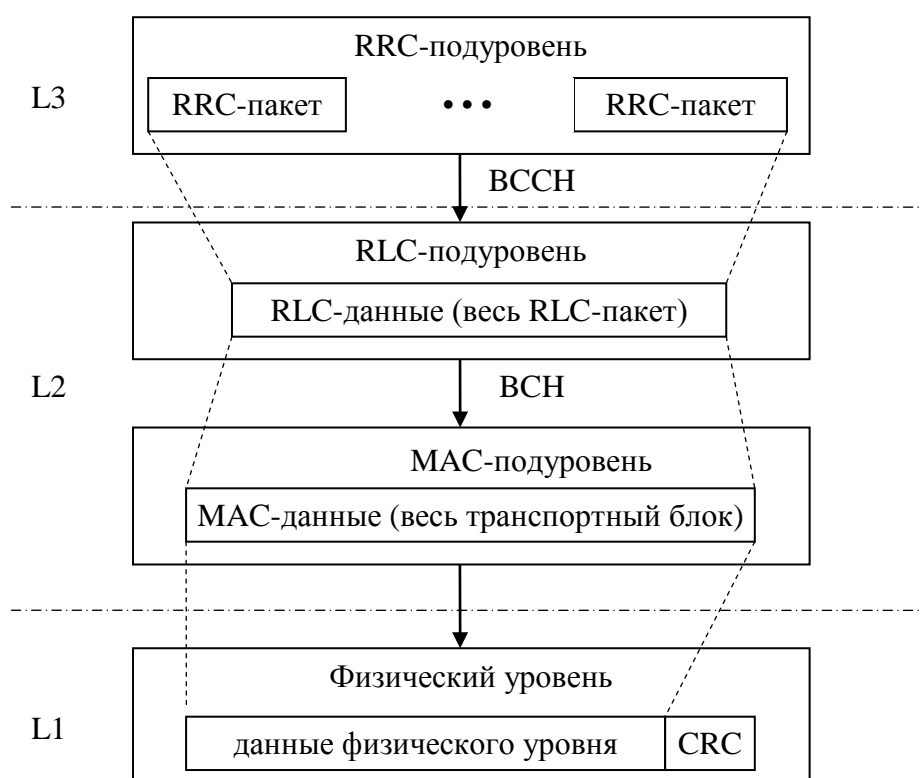


Рис. 2.5. Прозрачная передача данных через RLC- и MAC-подуровни при отображении BCCH → BCH

При отображении логического канала BCCH на транспортный канал FACH применяется режим прозрачной передачи на

RLC-подуровне (RLC-заголовок не требуется) и режим непрозрачной передачи на MAC-подуровне, когда MAC-заголовок идентифицирует определенный логический канал BCCH, переносимый в транспортном канале FACH (рис. 2.6).

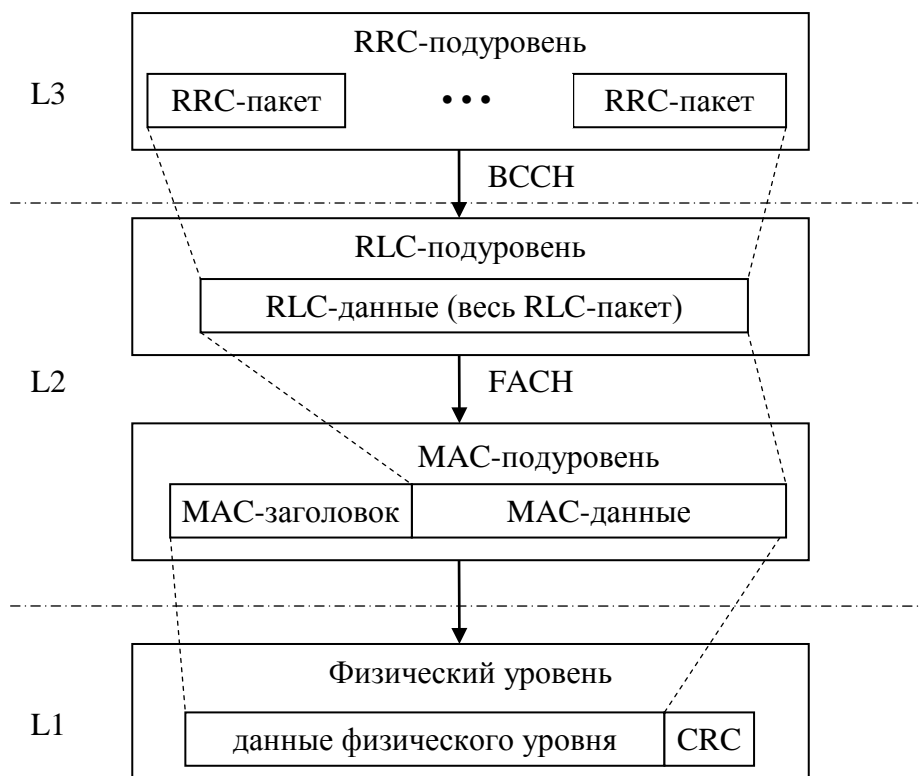


Рис. 2.6. RLC-прозрачная и MAC-непрозрачная передача данных при отображении BCCH → FACH

Рассмотрим отображение логического канала SHCCCH на транспортные каналы FACH и RACH.

В восходящем направлении канал SHCCCH отображается на канал RACH, и применяется режим прозрачной передачи на RLC-подуровне. В нисходящем направлении канал SHCCCH отображается на канал FACH, и используется режим непрозрачной передачи на RLC-подуровне без подтверждения. MAC-заголовок либо не используется (чем определяется отображение SHCCCH на FACH), либо используется в целях идентификации того, какой из логических каналов

отображается на канал FACH. Таким образом, возможны режим прозрачной передачи на RLC-подуровне совместно с режимами прозрачной и непрозрачной передачи на MAC-подуровне, а также режим передачи на RLC-подуровне без подтверждения совместно с режимами прозрачной и непрозрачной передачи на MAC-подуровне.

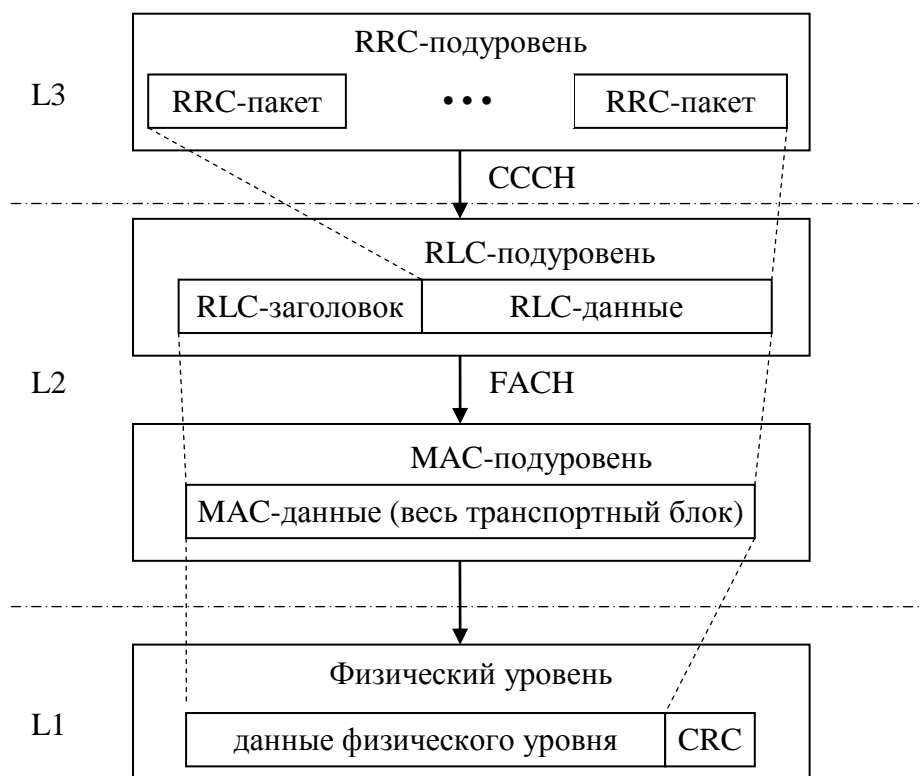


Рис. 2.7. RLC-непрозрачная и MAC-прозрачная передача данных при отображении CCCH → FACH в нисходящем направлении

На рис. 2.7 иллюстрируется режим RLC-непрозрачной и MAC-прозрачной передачи, а на рис. 2.8 — режим непрозрачной передачи на RLC- и MAC-подуровнях при отображении логического канала SHCCCH на транспортный канал FACH в нисходящем направлении.

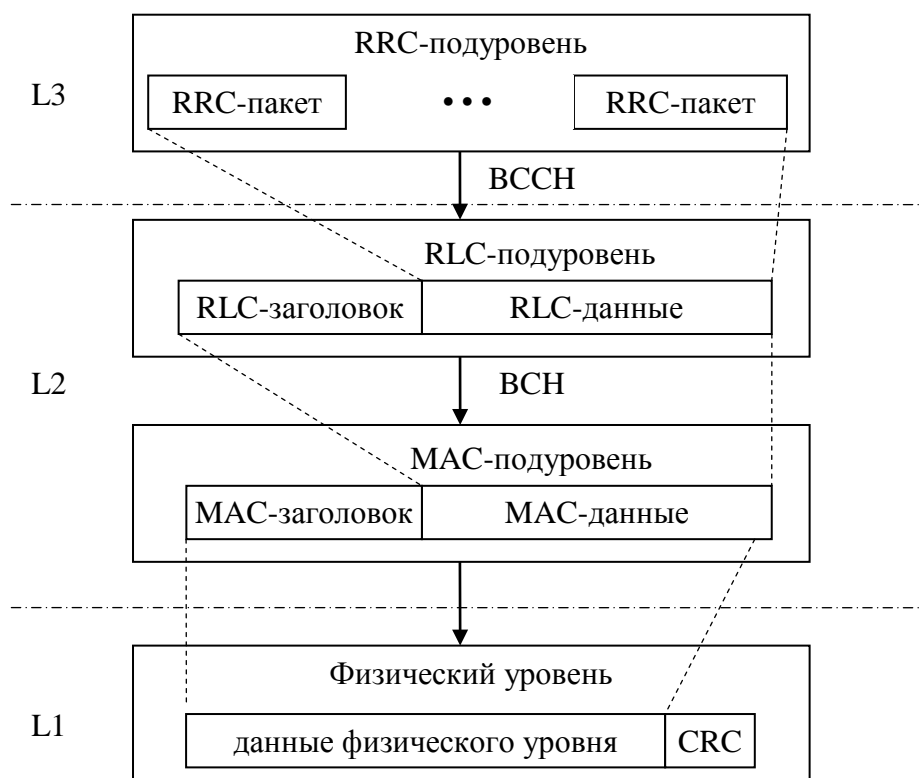


Рис. 2.8. RLC-непрозрачная и MAC-непрозрачная передача данных при отображении CCCH → FACH в нисходящем направлении

ПТ может одновременно установить несколько транспортных каналов — каждый со своими характеристиками (например, с различной корректирующей способностью). При этом образуется общий, мультиплексированный транспортный канал, в котором посредством передачи соответствующих идентификаторов осуществляется идентификация отдельных каналов и их характеристик.

Вообще, индикатор — это низкоуровневый служебный блок, который передается без использования информационных блоков посредством посылки “поверх” транспортных каналов. Индикатор определяется типом и значением; различают двухуровневые (булевские) и трехуровневые индикаторы, могущие принимать два или три значения соответственно.

В физических каналах сетей UMTS используются три вида индикаторов: *индикатор запроса AI* (Acquisition Indicator), *индикатор вы-*

зова PI (Page Indicator), *индикатор подтверждения мультимедийного вещания* NI (MBMS Notification Indicator), передаваемые в соответствующих индикаторных каналах (см. далее).

Мультиплексирование транспортных каналов в одном или нескольких физических каналах осуществляется на физическом уровне посредством образования *кодированного композитного транспортного канала* CCTrC (Coded Composite Transport Channel). Соответствующий формат для всех транспортных каналов за исключением каналов HS-DSCH и E-DCH однозначно определяется *индикатором комбинации транспортного формата* TFCI (Transport Format Combination Indication).

Для канала HS-DSCH идентификация транспортного формата и каналообразующих кодов осуществляется на основе *индикатора транспортного формата и ресурсов* TFRI (Transport Format and Resource Indication) соответствующего общего управляющего канала.

Для канала E-DCH идентификация транспортного формата осуществляется посредством *идентификатора комбинации улучшенного транспортного формата* E-TFCI (Enhanced Transport Format Combination Indication): в FDD-режиме — на основе соответствующего физического выделенного управляющего канала DPCCCH, а в TDD-режиме — на основе физического канала E-PUCH.

Формирование кодированного композитного канала CCTrC определяется для группы нисходящих каналов DCH, BCH, FACH, RCH и отдельно для каналов HS-DSCH и E-DCH (спецификация 25.212). Данные, с которыми производятся совокупные операции кодирования-мультиплексирования, берутся из всех наборов транспортных блоков, передаваемых в каждом временном интервале.

Последовательность операций, которым подвергаются транспортные блоки в каналах DCH, BCH, FACH и RCH, имеет следующий вид (рис. 2.9):

- добавление к каждому транспортному блоку проверочной суммы CRC;

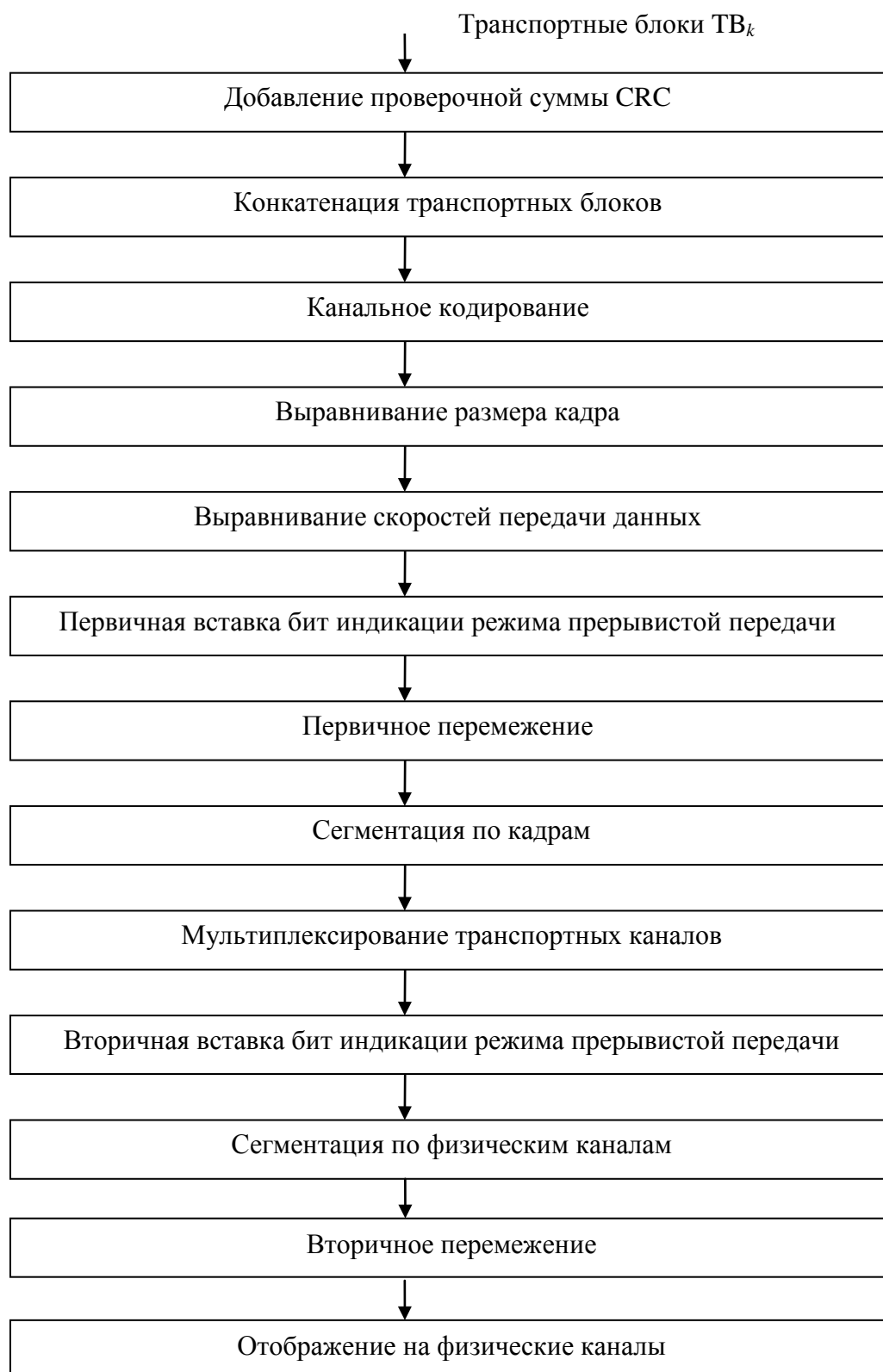


Рис. 2.9. Схема формирования кодированного композитного канала ССТrС для нисходящих транспортных каналов DCH, BCH, FACH, RCH

- конкатенация (сцепление) транспортных блоков, передаваемых в течение одного временного интервала и, возможно, сегментация получаемого кодового блока, если его размер превышает используемое значение;

- канальное кодирование;
- выравнивание размера кадра;
- выравнивание скоростей передачи данных;
- вставка бит индикации режима прерывистой передачи;
- перемежение (двухуровневое);
- сегментация по кадрам;
- мультиплексирование транспортных каналов;
- сегментация по физическим каналам;
- отображение на физические каналы.

Для канала HS-DSCH образование кодированного композитного канала несколько отличается, и последовательность выполняемых операций следующая (рис. 2.10):

- добавление проверочной суммы CRC;
- скремблирование бит;
- канальное кодирование;
- формирование механизма HARQ;
- сегментация физического канала;
- перемежение;
- перестановка КАМ-созвездия;
- отображение на физические каналы.

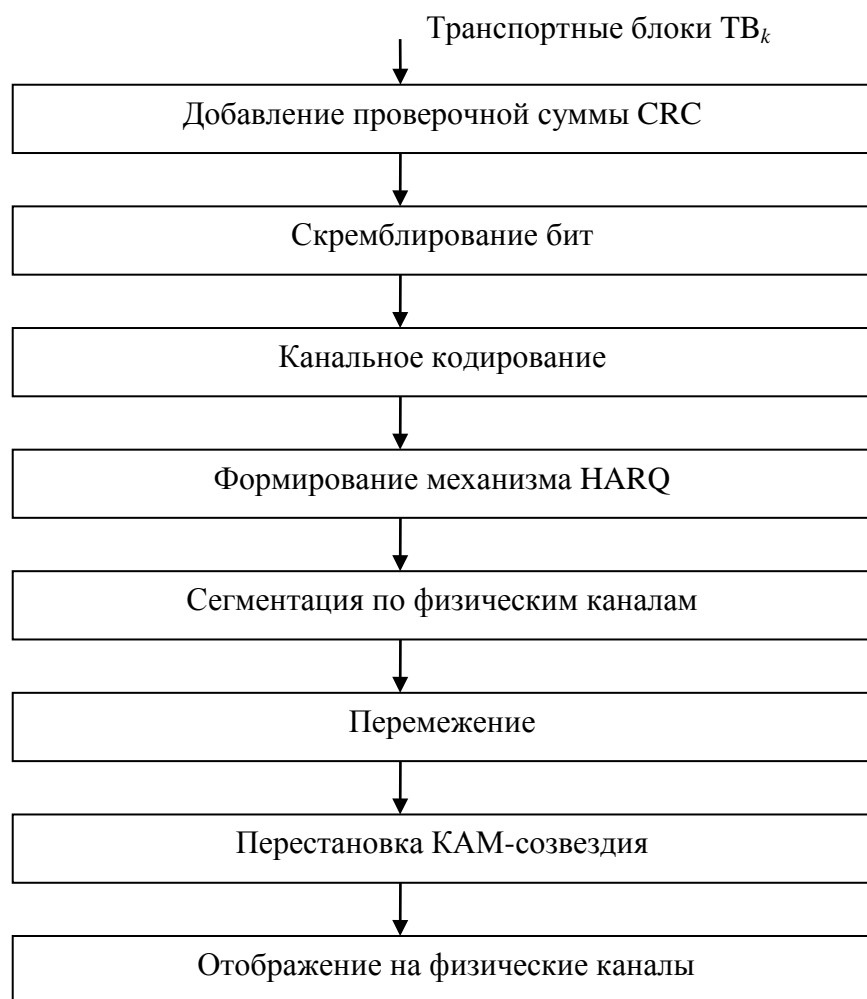


Рис. 2.10. Схема формирования канала CCTrS для транспортного канала HS-DSCH

Наконец, формирование кодированного композитного канала для канала E-DCH имеет следующий вид (рис. 2.11):

- добавление проверочной суммы CRC;
- сегментация кодового блока;
- формирование механизма HARQ и выравнивание скоростей;
- сегментация по физическим каналам;
- перемежение;
- отображение на физические каналы.

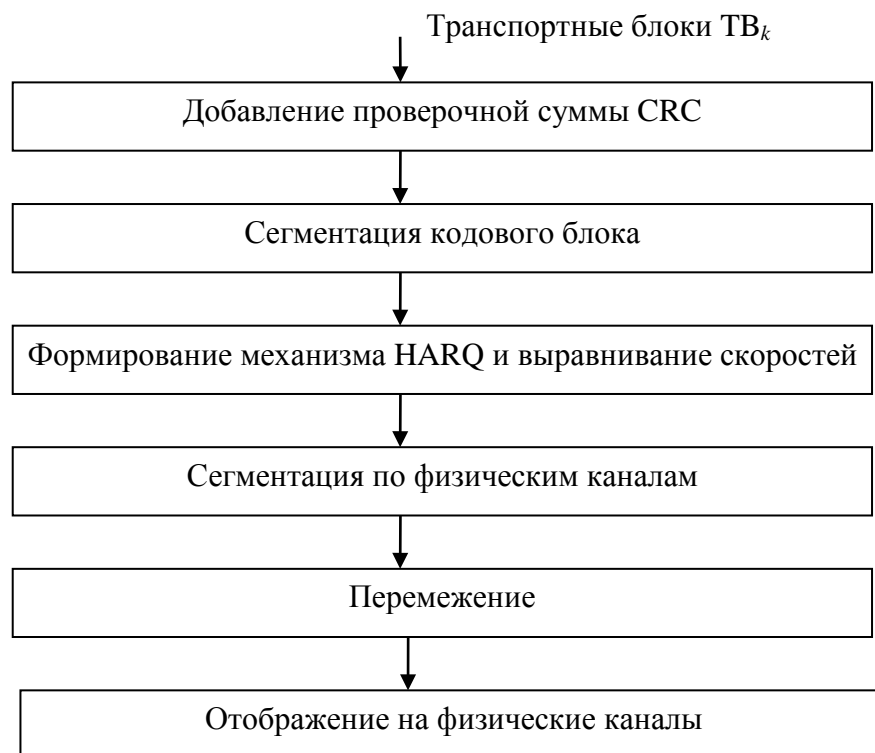


Рис. 2.11. Схема формирования канала C-Plane для транспортного канала E-DCH

Более подробное изучение операций по формированию кодированного композитного транспортного канала C-Plane будет проведено далее, а сейчас обратимся к рассмотрению физических каналов радиointерфейса сетей UMTS.

2.3. ФИЗИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ РАДИОИНТЕРФЕЙСА

Физический уровень (уровень 1) базируется на технологи¹ WCDMA/TD-SCDMA и описывается спецификациями серии 25.200. На физическом уровне предлагаются услуги по передаче данных на более высокие уровни, и доступ к таким услугам осуществляется через транспортные каналы.

¹ WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) — широкополосный множественный доступ с кодовым разделением; TD-SCDMA (Time Division Synchronous Code Division Multiple Access) — множественный доступ с временным и синхронным кодовым разделением.

С целью обеспечения услуг по передаче данных на физический уровень возложено выполнение следующих основных задач:

- макроразнесение (разделение-объединение) каналов и выполнение мягких хэндоверов;
- обнаружение ошибок в транспортных каналах и отображение результатов на более высокие уровни;
- помехоустойчивое кодирование-декодирование в транспортных каналах;
- мультиплексирование транспортных каналов и демultipлексирование кодированных композитных транспортных каналов;
- выравнивание скоростей передачи данных в кодированных транспортных каналах по отношению к скоростям передачи данных в физических каналах;
- отображение кодированных композитных транспортных каналов на физические каналы;
- соотнесение мощностей и объединение физических каналов;
- модуляция-демодуляция, спектральное расширение и снятие расширения с физических каналов;
- частотная и временная (чиповая, битовая, слотовая, кадровая) синхронизация;
- измерение радиочастотных характеристик и отображение результатов на более высокие уровни;
- управление мощностью во внутреннем цикле;
- обработка радиосигналов;
- управление сдвигом синхронизации;
- формирование диаграммы направленности;
- мягкий комбинированный механизм HARQ для каналов HS-DSCH и E-DCH.

Множественный доступ, основан на кодовом разделении методом прямой последовательности (Direct-Sequence Code Division Multiple Access, DS-CDMA) с шириной полосы либо 5 МГц (широкополосный CDMA, W-CDMA), либо 1,6 МГц (узкополосный CDMA). Сеть на-

земного радиодоступа имеет два режима дуплексирования: с частотным разнесением (Frequency Division Duplex, FDD) и с временным разнесением (Time Division Duplex, TDD). Как известно, при частотном разнесении восходящий и нисходящий каналы используют различные спектральные диапазоны, разделенные соответствующим дуплексным интервалом, который в системе UMTS составляет 190 МГц. При временном разнесении восходящий и нисходящий каналы передаются на одной частоте, но в различных (синхронизированных) временных интервалах, и эти интервалы соотнесены в передающие и приемные пары.

При работе сети радиодоступа в режиме с временным разнесением, который в дальнейшем будем называть TDD-режимом, к механизму множественного доступа с кодовым разделением абонентов добавляется механизм множественного доступа с временным разделением (Time Division Multiple Access, TDMA), образуя, тем самым, совместный механизм TDMA/CDMA. Тогда физический канал кроме радиочастоты и кода (или некоторого числа кодов) дополнительно определяется еще и последовательностью определенных временных интервалов, называемых *слотами*, и в таком канале возможна передача с двумя возможными скоростями $V_{\text{ч}}$ передачи чипов: 3,84 Мчип/с (режим 3,84М-TDD) и 1,28 Мчип/с (режим 1,28М-TDD).

Слоты объединены в кадры; структура и длительность кадра зависит от используемого режима. Так, в режиме 3,84М-TDD каждый кадр имеет длительность 10 мс и разделен на 15 слотов, содержащих 2560 чипов. Длительность чипа, представляющая собой элементарную временную единицу системы, равна

$$T_{\text{chip}} = 1/3,84 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 0,26 \text{ мкс},$$

так что длительность каждого из слота в “стандартных” режимах составляет $2560T_{\text{ч}} = 0,667 \text{ мс}$. Скорость передачи информации зависит от скорости $V_{\text{ч}}$ и *коэффициента расширения SF (Spreading Factors)*, формирующего *каналообразующий код* (см. далее). SF принимает значения от 1 до 16 в восходящем и нисходящем направлениях, так

что символьная скорость (скорость модуляции символов) $V_{\text{симв}}$ может изменяться от 240 киросимволов в секунду (Ксимв/с) до 3,84 мегасимволов в секунду (Мсимв/с).

В режиме 1,28M-TDD информация, содержащаяся в 10-миллисекундных кадрах, разделяется на два подкадра длительностью 5 мс, в каждом из которых формируются семь нормальных и три специальных слота. Коэффициент расширения SF также принимает значения 1...16 в обоих направлениях, так что символьная скорость может изменяться от 80 Ксимв/с до 1,28 Мсимв/с.

В режиме с частотным разнесением, в дальнейшем называемом FDD-режимом, производится отображение 2-миллисекундных подкадров на три слота. Коэффициент расширения изменяется от 2 до 256 в восходящем и от 4 до 512 в нисходящем направлениях. Соответственно, символьная скорость может изменяться от 15 до 1920 Ксимв/с в восходящем и от 7,5 до 1920 Ксимв/с в нисходящем направлениях.

Сеть наземного радиодоступа поддерживает два способа канального кодирования: сверточное кодирование и турбокодирование. Кроме того, в TDD-режиме возможна работа без канального кодирования. Выбор способа кодирования определяется на более высоком уровне.

Основным методом модуляции, используемым в сети наземного радиодоступа, является квадратурная фазовая манипуляция КФМ (Quadrature Phase Shift Keying, QPSK). Также в режиме 1,28M-TDD используется 8-позиционная фазовая манипуляция ФМ-8, а при передаче в канале HS-DSCH — 16-позиционная квадратурная амплитудная манипуляция КАМ-16.

Технология множественного доступа с кодовым разделением предполагает четкую связь модуляционных схем с определенными механизмами скремблирования и расширения спектра. При этом для разных режимов работы и физических каналов используется различные семейства кодов.

- В разделенных каналах, образованных одним источником, используются каналообразующие коды, полученные из структуры кодового дерева, которая описана в спецификациях 25.213 и 25.223.

- Для различных сот в FDD-режиме используются коды Голда с периодом 10 мс (38 400 чипов при скорости 3,84 Мчип/с) и длиной $2^{18} - 1$ чипов (спецификация 25.213), а в режиме с временным разделением — скремблирующие коды длиной 16 (спецификация 25.223).

- Для различных ПТ в FDD-режиме используются коды Голда с периодом 10 мс или, альтернативно, S(2)-коды с периодом 256 чипов, а в режиме с временным разделением — скремблирующие коды длиной 16 и мидамбулы¹ различной длины.

Функционирование сети наземного радиодоступа включает ряд процедур физического уровня:

- управление мощностью в открытом и закрытом циклах;
- поиск соты;
- управление синхронизацией в восходящем направлении в открытом и закрытом циклах;
- случайный доступ;
- процедуры, относящиеся к передаче по высокоскоростному общему нисходящему каналу HS-DSCH;
- процедуры, относящиеся к передаче по улучшенному выделенному каналу E-DCH.

В процессе функционирования сети наземного радиодоступа проводится измерение ряда характеристик для выполнения ряда возможных процедур: подготовки и совершения хэндовера, подготовки случайного доступа, динамического распределения каналов и др.

Физический уровень предоставляет возможность передачи данных на более высокие уровни, доступ к таким услугам осуществляется через MAC-подуровень посредством использования транспортных

¹ Мидамбула (midamble) — служебная часть пакета, аналогичная преамбуле, но, в отличие от последней, располагается между двумя частями, содержащими передаваемые данные.

каналов. Характеристики транспортного канала определяются теми процессами и механизмами физического уровня, которые задействованы для решения определенной задачи, такими, как схемы кодирования и перемежения, выравнивания скоростей и т. д.

С понятием физического канала тесно связано понятие *физического сигнала*, имеющего такие же атрибуты, как и физический канал (рабочая частота, код и др.), но не имеющего отображенного на него транспортного канала.

Рассмотрим отображение транспортных каналов на физические каналы в режиме с частотным дуплексированием.

2.3.1. ОТОБРАЖЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ КАНАЛОВ НА ФИЗИЧЕСКИЕ КАНАЛЫ В FDD-РЕЖИМЕ

В соответствии с общим подходом к классификации логических и транспортных каналов, физические каналы, организуемые в FDD-режиме, также можно разделить на 2 группы: группу *общих физических каналов* (табл. 2.5) и группу *выделенных физических каналов* (табл. 2.6).

Таблица 2.5

Общие физические каналы в FDD-режиме и их использование

№	Канал	Направление	Использование
1.	Физический канал случайного доступа, PRACH	Восходящий	Передача транспортного канала RACH
2.	Общий пилот канал, CPICH	Нисходящий	Передача предопределенной последовательности бит
3.	Первичный общий управляющий физический канал, P-CCPCH	Нисходящий	Передача транспортного канала BCH

Окончание таблицы 2.5

№	Канал	Направление	Использование
4.	Вторичный общий управляющий физический канал, S-CCPCH	Нисходящий	Передача транспортных каналов FACH и BCH
5.	Канал синхронизации, SCH	Нисходящий	Поиск соты
6.	Канал индикатора запроса, AICH	Нисходящий	Передача индикаторов запроса AI
7.	Канал индикатора вызова, PICH	Нисходящий	Передача индикаторов вызова PI
8.	Общий канал управления, относящийся к каналу HS-DSCH, HS-SCCH	Нисходящий	Передача служебной информации, относящейся к транспортному каналу HS-DSCH
9.	Высокоскоростной физический нисходящий общий канал, HS-PDSCH	Нисходящий	Передача транспортного канала HS-DSCH
10.	Канал абсолютного доступа к каналу E-DCH, E-AGCH	Нисходящий	Передача абсолютного доступа к восходящему каналу E-DCH
11.	Канал индикатора мультимедийного вещания, MICH	Нисходящий	Передача индикаторов подтверждения мультимедийного вещания

К группе общих физических каналов относятся следующие каналы.

1. *Физический канал случайного доступа* (Physical Random Access Channel, PRACH).

2. *Общий пилот-канал* (Common Pilot Channel, CPICH), который, в зависимости от особенностей использования, бывает двух типов:

- *первичный общий пилот-канал* (Primary CPICH, P-CPICH);
- *вторичный общий пилот-канал* (Secondary CPICH, S-CPICH).

3. *Первичный общий управляющий физический канал* (Primary Common Control Physical Channel, P-CCPCH).

4. *Вторичный общий управляющий физический канал* (Secondary Common Control Physical Channel, S-CCPCH).

5. *Канал синхронизации* (Synchronization Channel, SCH).

6. *Канал индикатора запроса* (Acquisition Indicator Channel, AICH).

7. *Канал индикатора вызова* (Paging Indicator Channel, PICH).

8. *Общий канал управления, относящийся к каналу HS-DSCH* (HS-DSCH-related Shared Control Channel, HS-SCCH).

9. *Высокоскоростной физический нисходящий общий канал* (High Speed Physical Downlink Shared Channel, HS-PDSCH).

10. *Канал абсолютного доступа к каналу E-DCH* (E-DCH Absolute Grant Channel, E-AGCH).

11. *Канал индикатора мультимедийного вещания* (MBMS Indicator Channel, MICH).

К группе выделенных физических каналов относятся следующие каналы.

1. *Выделенный физический канал передачи данных* (Dedicated Physical Data Channel, DPDCH).

2. *Выделенный физический управляющий канал* (Dedicated Physical Control Channel, DPCCH).

3. *Выделенный физический канал передачи данных при передаче транспортного канала E-DCH* (E-DCH Dedicated Physical Data Channel, E-DPDCH).

4. *Выделенный физический управляющий канал при передаче транспортного канала E-DCH (E-DCH Dedicated Physical Control Channel, E-DPCCH).*

5. *Выделенный управляющий канал, относящийся к каналу HS-DSCH (HS-DSCH Dedicated Control Channel, HS-DPCCH).*

6. *Дробный выделенный физический канал (Fractional Dedicated Physical Channel, F-DPCH).*

7. *Физический канал условного доступа при передаче транспортного канала E-DCH (E-DCH Relative Grant Channel, E-RGCH).*

8. *Физический канал с индикатором HARQ при передаче транспортного канала E-DCH (E-DCH Hybrid ARQ Indicator Channel, E-HICH).*

Таблица 2.6

Выделенные физические каналы в FDD-режиме и их использование

№	Канал	Направление	Использование
1	Выделенный физический канал передачи данных, DPDCH	Восходящий, нисходящий	Передача транспортного канала DCH
2.	Выделенный физический управляющий канал, DPCCCH	Восходящий	Передача служебной информации, сформированной на физическом уровне
3.	Выделенный физический канал передачи данных при передаче транспортного канала E-DCH, E-DPDCH	Восходящий	Передача транспортного канала E-DCH

Окончание таблицы 2.6

№	Канал	Направление	Использование
4.	Выделенный физический управляющий канал при передаче транспортного канала E-DCH, E-DPCCH	Восходящий	Передача служебной информации, связанной с транспортным каналом E-DCH
5.	Выделенный управляющий канал, относящийся к каналу HS-DSCH, HS-DPCCH	Восходящий	Передача служебной информации об обратной связи в восходящем направлении, относящейся к передаче нисходящего канала HS-DSCH
6.	Дробный выделенный физический канал, F-DPCH	Нисходящий	Передача служебной информации, сформированной на физическом уровне. Канал F-DPCH является особым случаем нисходящего канала DPCH
7.	Физический канал условного доступа при передаче транспортного канала E-DCH, E-RGCH	Нисходящий	Передача условного доступа для восходящего транспортного канала E-DCH
8.	Физический канал с индикатором HARQ при передаче транспортного канала E-DCH, E-HICH	Нисходящий	Передача индикатора подтверждения механизма HARQ для восходящего канала E-DCH

В качестве иллюстрации (более подробно структура физических каналов будет рассмотрена далее) на рис. 2.12 показана структура

кадра, формируемого для каналов DPDCH и DPCCCH в восходящем направлении. Каждый кадр, длительностью 10 мс разделен на пять подкадров, содержащих по три слота.

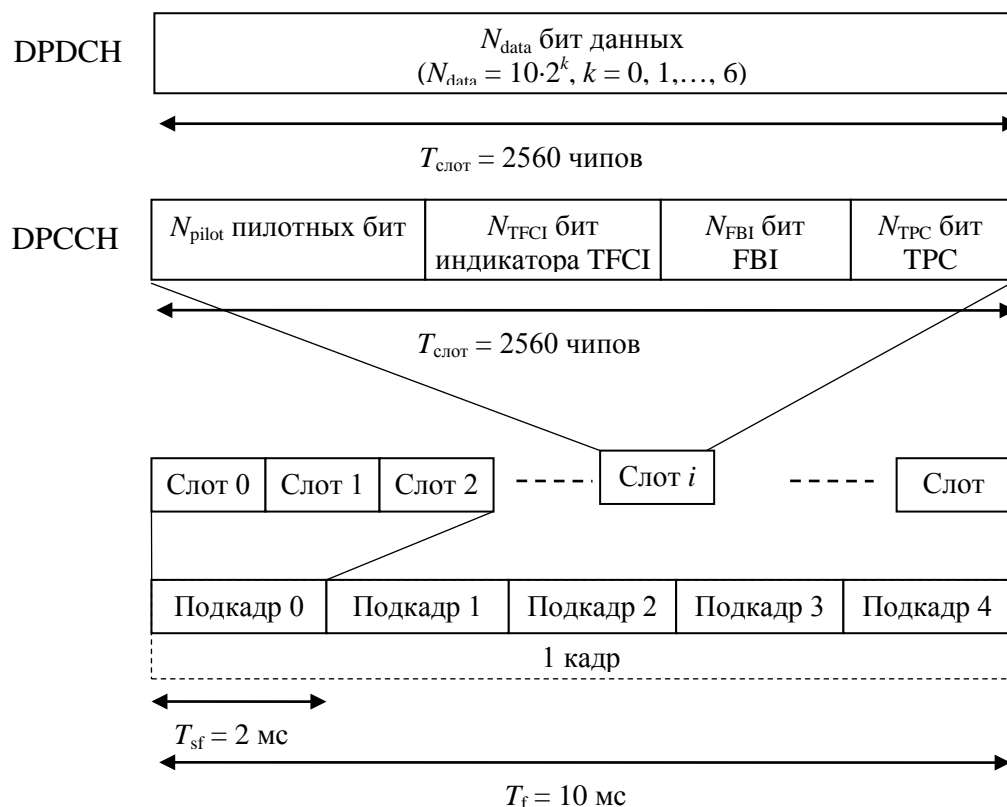


Рис. 2.12. Структура кадра для восходящих каналов DPDCH и DPCCCH

Управляющий канал DPCCCH, как следует из табл. 2.6, предназначен для передачи служебной информации, относящейся к физическому уровню. На рис. 2.12 показан случай, когда слот канала DPCCCH содержит последовательность пилотных бит, предназначенных для канального оценивания при когерентном приеме, индикатор TFCI комбинации транспортного формата, информацию FBI об обратной связи (Feedback Information) между ПТ и сетью радиодоступа и команды TPC управления излучаемой мощностью (Transmit Power Control).

Конфигурация и структура управляющего канала DPCCCH жестко связана с параметрами слота канала передачи данных DPDCH. Так,

значение k , определяющее число бит данных N_{data} в одном слоте канала, связано с коэффициентом SF расширения спектра соотношением

$$SF = \frac{256}{2^k},$$

и в рассматриваемом случае (восходящий канал DPDCH) $SF = 256$. Таким образом, $k = 0$, и в одном слоте канала DPDCH содержится 10 бит данных.

Значения N_{pilot} , N_{TFCI} , N_{FBI} и N_{TPC} , определяющих число бит в полях, которые содержат служебную информацию канала DPDCH, определяются на более высоких уровнях и задаются посредством *слотового формата*. Например, нулевой слотовый формат задает следующие значения:

$$N_{\text{pilot}} = 6; N_{\text{TFCI}} = 2; N_{\text{FBI}} = 0 \text{ и } N_{\text{TPC}} = 2.$$

Используемая последовательность пилотных бит зависит от порядкового номера слота в кадре, т. е. имеется 15 различных последовательностей; для $N_{\text{pilot}} = 6$ они представлены в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Последовательности пилотных бит для $N_{\text{pilot}} = 6$

№ слота	Последовательность пилотных бит
1	1 1 1 1 1 0
2	1 0 0 1 1 0
3	1 0 1 1 0 1
4	1 0 0 1 0 0
5	1 1 0 1 0 1
6	1 1 1 1 1 0
7	1 1 0 1 0 0
8	1 0 1 1 1 0
9	1 1 1 1 1 1
10	1 0 1 1 0 1
11	1 1 0 1 1 1
12	1 1 0 1 0 0
13	1 0 0 1 1 1
14	1 0 0 1 1 1

Поскольку $N_{\text{FBI}} = 0$, никакой информации, касающейся обратной связи ПТ и сети радиодоступа, не передается.

При $N_{\text{TPC}} = 2$ возможны следующие команды управления излучаемой мощностью: 00 (команда “0”) и 11 (команда “1”).

Рассмотрим отображение транспортных каналов на физические каналы в режимах FDD.

- Транспортный канал DCH может отображаться на физический канал DPDCH.
- Транспортный канал DCH может отображаться на физический канал DPCCCH.
- Транспортный канал DCH может отображаться на физический канал F-DPCH.
- Транспортный канал E-DCH может отображаться на физический канал E-DPDCH.
- Транспортный канал E-DCH может отображаться на физический канал E-DPCCCH.
- Транспортный канал E-DCH может отображаться на физический канал E-AGCH.
- Транспортный канал E-DCH может отображаться на физический канал E-RGCH.
- Транспортный канал E-DCH может отображаться на физический канал E-HICH.
- Транспортный канал RACH может отображаться на физический канал PRACH.
- Транспортный канал RACH может отображаться на физический канал CPICH.
- Транспортный канал BCH может отображаться на физический канал P-CCPCH.
- Транспортный канал FACH может отображаться на физический канал S-CCPCH.
- Транспортный канал PCH может отображаться на физический канал S-CCPCH.

- Транспортный канал PCH может отображаться на физический канал SCH.
- Транспортный канал PCH может отображаться на физический канал AICH.
- Транспортный канал PCH может отображаться на физический канал PICH.
- Транспортный канал PCH может отображаться на физический канал MICH.
- Транспортный канал HS-DSCH может отображаться на физический канал HS-PDSCH.
- Транспортный канал HS-DSCH может отображаться на физический канал HS-SCCH.
- Транспортный канал HS-DSCH может отображаться на физический канал HS-PDCCCH.

Карта отображений транспортных каналов на физические каналы в FDD-режиме представлена на рис. 2.13.

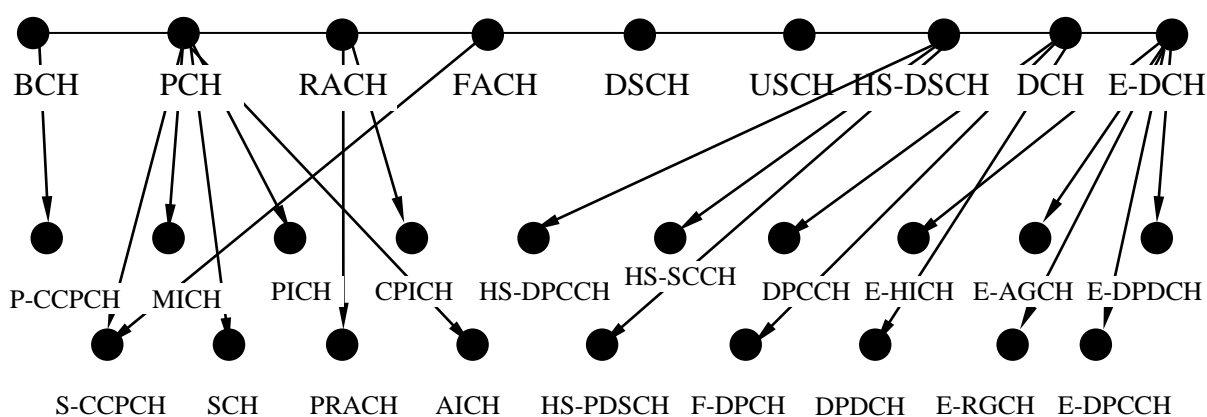


Рис. 2.13. Карта отображений транспортных каналов на физические каналы в FDD-режиме

Обратимся теперь к различным вариантам отображений транспортных каналов в режимах с временным дуплексированием.

Физический канал в TDD-режимах представляет собой последовательность пакетов во временной области, передаваемых на задан-

ной частоте и отождествляемых со слотами (рис. 2.14). При этом расположение пакетов может быть непрерывным, когда слот в каждом кадре соотнесен с конкретным физическим каналом, или же не быть таковым — в том случае, если с физическим каналом соотносится набор слотов во всех кадрах. Все кадры имеют сквозную системную нумерацию SFN (System Frame Number).

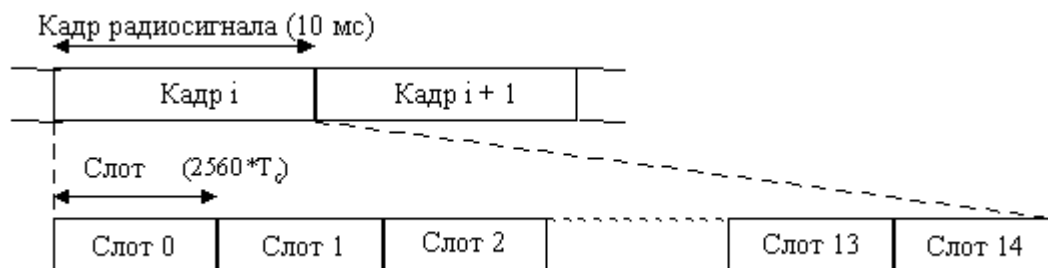


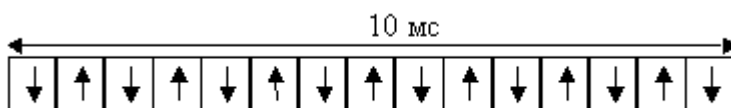
Рис. 2.14. Структура физического канала в TDD-режимах

Передаваемые пакеты содержат две части передаваемых данных, разделенных промежуточной частью — мидамбулой, и защитного интервала. Несколько пакетов могут одновременно передаваться от одного источника, и тогда те части, которые содержат передаваемые данные, должны использовать различные расширяющие множителя для каналообразующих кодов, но одинаковые скремблирующие коды. В этом случае мидамбулы могут использовать как идентичные, так и сдвинутые друг относительно друга варианты базового кода, определенного в данной соте.

Каждая из двух частей пакета, содержащих данные, передается с определенной комбинацией каналообразующего и скремблирующего кодов. Мидамбула пакета может быть двух типов: короткой, состоящей из 256 чипов, или длинной — из 512 чипов. Кроме того, при организации сети мультимедийного вещания может использоваться специальная мидамбула, содержащая 320 чипов. Скорость передачи данных в физическом канале зависит от коэффициента расширения ($SF = 1, 2, 4, 8$ и 16) каналообразующего кода и используемого типа мидамбулы.

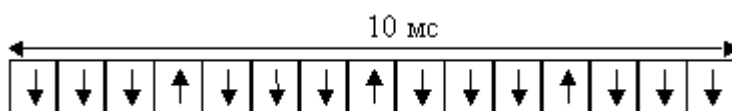
Итак, физический канал в TDD-режиме определяется рабочей частотой, слотом, каналообразующим кодом, типом пакета и расположением в кадре. Скремблирующий код и базовый код мидамбулы, как правило, одинаковы во всей соте.

Содержащиеся в кадре слоты могут быть отнесены и к восходящему, и к нисходящему направлениям — такая гибкость позволяет адаптировать TDD-режимы к различным внешним условиям и сценариям установления связи. В любой конфигурации как минимум по одному слоту необходимо назначить для каждого из направлений.



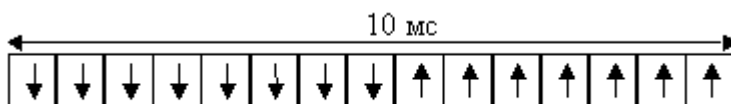
Конфигурация с множеством переключений (симметричное распределение UL/DL)

a)



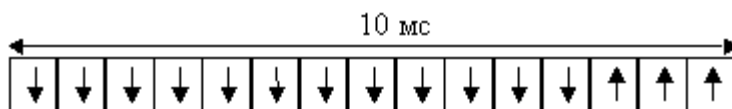
Конфигурация с множеством переключений (симметричное распределение UL/DL)

б)



Конфигурация с одним переключением (симметричное распределение UL/DL)

в)



Конфигурация с одним переключением (ассиметричное распределение UL/DL)

г)

Рис. 2.15. Варианты конфигурации TDD-кадра

На рис. 2.15a–г показаны варианты симметричной и несимметричной (по отношению к восходящему и нисходящему направлениям) конфигураций TDD-кадра.

2.3.2. ОТОБРАЖЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ КАНАЛОВ НА ФИЗИЧЕСКИЕ КАНАЛЫ В РЕЖИМЕ 3,84М-TDD

В режиме 3,84М-TDD кадр, как обычно, разделен на 15 слотов длительностью $2560T_{\text{chip}}$ (рис. 2.14). Каждый слот может быть отнесен и к восходящему, и к нисходящему направлениям за исключением специального режима MBSFN (см. далее).

Как и для FDD-режима, физические каналы, реализуемые в режимах с временным дуплексированием, также можно разделить на 2 группы: группу общих физических каналов и группу выделенных физических каналов.

К группе общих физических каналов относятся следующие каналы (табл. 2.8).

1. *Первичный общий управляющий физический канал* (Primary Common Control Physical Channel, P-CCPCH).
2. *Вторичный общий управляющий физический канал* (Secondary Common Control Physical Channel, S-CCPCH).
3. *Физический канал случайного доступа* (Physical Random Access Channel, PRACH).
4. *Канал синхронизации* (Synchronization Channel, SCH).
5. *Физический восходящий общий канал* (Physical Uplink Shared Channel, PUSCH).
6. *Физический нисходящий общий канал* (Physical Downlink Shared Channel, PDSCH).
7. *Канал индикатора вызова* (Paging Indicator Channel, PICH).
8. *Физический канал синхронизации для узла В* (Physical Node B Synchronization Channel, PNBSCH).
9. *Высокоскоростной физический нисходящий общий канал* (High Speed Physical Downlink Shared Channel, HS-PDSCH).
10. *Общий управляющий канал для канала HS-DSCH* (Shared Control Channel for HS-DSCH, HS-SCCH).
11. *Общий информационный канал для канала HS-DSCH* (Shared Information Channel for HS-DSCH, HS-SICH).

12. Канал индикатора мультимедийного вещания (MBMS Indicator Channel, MICH).

13. Физический восходящий канал для канала E-DCH (E-DCH Physical Uplink Channel, E-PUCH), содержащий также два подканала:

- восходящий управляющий канал для канала E-DCH (E-DCH Uplink Control Channel, E-UCCH);

- нисходящий управляющий канал для канала E-DCH (E-DCH Downlink Control Channel, E-UCCH).

14. Восходящий управляющий канал случайного доступа к каналу E-DCH (E-DCH Random Access Uplink Control Channel, E-RUCCH).

15. Канал абсолютного доступа к каналу E-DCH (E-DCH Absolute Grant Channel, E-AGCH).

16. Канал индикатора подтверждения механизма HARQ в канале E-DCH (E-DCH Hybrid ARQ Acknowledgement Indicator Channel, E-HICH).

Таблица 2.8

Общие физические каналы и их использование

№	Канал	Направление	Использование
1.	Первичный общий управляющий физический канал, P-CCPCH	Нисходящий	Передача транспортного канала BCH
2.	Вторичный общий управляющий физический канал, S-CCPCH	Нисходящий	Передача транспортных каналов BCH и FACH
3.	Физический канал случайного доступа, PRACH	Восходящий	Передача транспортного канала RACH
4.	Канал синхронизации SCH	Нисходящий	Передача предопределенной последовательности бит

Продолжение таблицы 2.8

№	Канал	Направление	Использование
5.	Физический восходящий общий канал, PUSCH	Восходящий	Передача транспортного канала USCH
6.	Физический нисходящий общий канал, PDSCH	Нисходящий	Передача транспортного канала DSCH
7.	Канал индикатора вызова, PICH	Нисходящий	Передача индикаторов вызова PI
8.	Физический канал синхронизации для БС, PNBSCN	Восходящий	Передача синхропакетов, используемых во всей соте
9.	Высокоскоростной физический нисходящий общий канал, HS-PDSCH	Нисходящий	Передача транспортного канала HS-DSCH
10.	Общий управляющий канал для канала HS-DSCH, HS-SCCH	Нисходящий	Передача служебной информации для транспортного канала HS-DSCH
11.	Общий информационный канал для канала HS-DSCH, HS-SICH)	Восходящий	Передача служебной информации и индикатора качества канала CQI для транспортного канала HS-DSCH
12.	Канал индикатора мультимедийного вещания, MICH	Нисходящий	Передача индикаторов подтверждения мультимедийного вещания
13.	Физический восходящий канал для канала E-DCH, E-PUSCH	Восходящий	Передача восходящего транспортного канала E-DCH и связанной с ним служебной информацией

Окончание таблицы 2.8

№	Канал	Направление	Использование
14.	Восходящий управляющий канал случайного доступа к каналу E-DCH, E-RUCCH	Восходящий	Передача служебной информации, относящейся к транспортному каналу E-DCH, когда недоступны ресурсы физического канала E-PUCH
15.	Канал абсолютного доступа к каналу E-DCH, E-AGCH	Нисходящий	Передача служебной информации об абсолютном доступе к восходящему транспортному каналу E-DCH
16.	Канал индикатора подтверждения механизма HARQ в канале E-DCH, E-HICH	Нисходящий	Передача индикатора подтверждения механизма HARQ в восходящем транспортном канале E-DCH

К группе выделенных физических каналов (табл. 2.9) относится *выделенный физический канал* (Dedicated Physical Channel, DPCH), предназначенный для передачи транспортного канала DCH.

Таблица 2.9

Выделенные физические каналы и их использование

№	Канал	Направление	Использование
1	Выделенный физический канал, DPCH	Восходящий, нисходящий	Передача транспортного канала DCH

Карта отображений транспортных каналов на физические каналы в режиме 3,84M-TDD представлена на рис. 2.16.

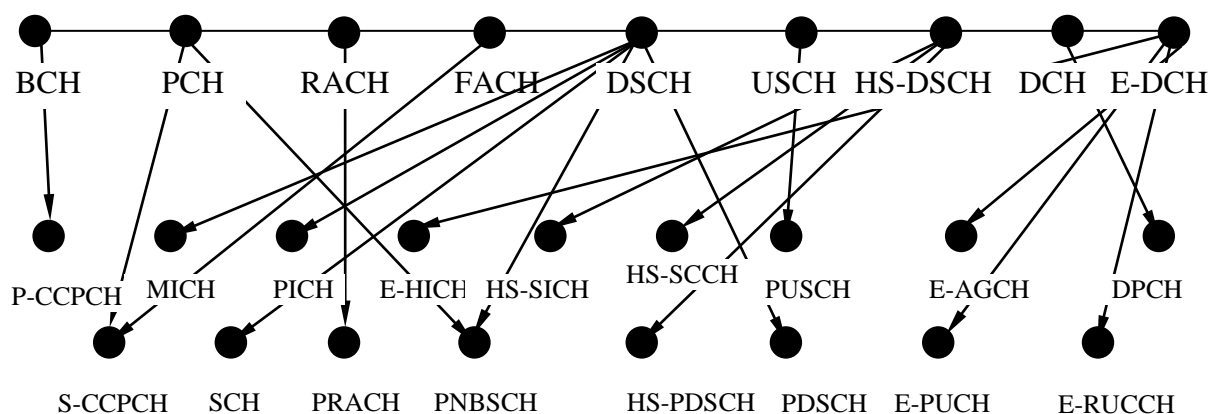


Рис. 2.16. Карта отображений транспортных каналов на физические каналы в режиме 3,84M-TDD

Рассмотренные физические каналы касались общего режима 3,84-M TDD. В спецификациях сетей UMTS указан специальный случай использования режима 3,84-M TDD для интегрированного мобильного вещания (Integrated Mobile Broadcast, IMB) на основе одночастотной сети (MBMS over a Single Frequency Network, MBSFN) — так называемый режим 3,84M-TDD MBSFN IMB. При этом все тайм-слоты в кадре конфигурируются в нисходящее направление (рис. 2.17), а все физические каналы являются общими и нисходящими, работающими на специально выделенной частоте мультимедийного вещания.

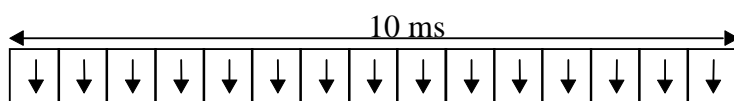


Рис. 2.17. Конфигурация таймслотов в кадре в режиме мультимедийного вещания

Итак, к группе общих физических каналов (табл. 2.10) в режиме 3,84M-TDD MBSFN IMB относятся следующие каналы.

1. *Первичный общий пилот-канал* (Primary Common Pilot Channel, P-CPICH).

2. *Общий пилот-канал с временным мультиплексированием* (Time-multiplexed Common Pilot Channel, T-CPICH).

3. *Первичный общий управляющий физический канал* (Primary Common Control Physical Channel, P-CCPCH).

4. *Вторичный общий управляющий физический канал* (Secondary Common Control Physical Channel, S-CCPCH), употребляемый в двух вариантах:

- канал S-CCPCH первого типа, содержащий 15 слотов в кадре;
- канал S-CCPCH второго типа, содержащий 3 слота в кадре.

5. *Канал синхронизации* (Synchronization Channel, SCH).

6. *Канал индикатора мультимедийного вещания* (MBMS Indicator Channel, MICH).

Таблица 2.10

**Общие физические каналы и их использование
в режиме 3,84M-TDD MBSFN IMB**

№	Канал	Направление	Использование
1.	Первичный общий пилот-канал, P-CCPCH	Нисходящий	Передача предопределенной последовательности бит
2.	Общий пилот-канал с временным мультиплексированием, T-CPICH	Нисходящий	Передача предопределенной 64-элементной последовательности бит
3.	Первичный общий управляющий физический канал, P-CCPCH	Нисходящий	Передача транспортного канала BCH
4.	Вторичный общий управляющий физический канал, S-CCPCH	Нисходящий	Передача транспортного канала FACH
5.	Канал синхронизации, SCH	Нисходящий	Поиск соты и кадровая синхронизация
6.	Канал индикатора мультимедийного вещания, MICH	Нисходящий	Передача индикатора подтверждения мультимедийного вещания

2.3.3. ОТОБРАЖЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ КАНАЛОВ НА ФИЗИЧЕСКИЕ КАНАЛЫ В РЕЖИМЕ 1,28M-TDD

В режиме 1,28M-TDD каждый кадр, имеющий длительность 10 мс, разделен на два подкадра длительностью 5 мс (6400 чипов). Каждый такой подкадр содержит семь (0, 1, ..., 6) трафиковых слотов (рис. 2.18), два пилотных слота UpPTS (uplink pilot timeslot) и DwPTS (downlink pilot timeslot) в восходящем и нисходящем направлениях соответственно, а также защитный интервал GP (guard period). Длительность трафикового слота составляет 864 чипа, пилотного слота UpPTS — 160 чипов, пилотного слота DwPTS — 96 чипов, защитного интервала GP — 96 чипов.



Рис. 2.18. Структура подкадра в режиме 1,28M-TDD

Нулевой слот всегда отнесен к нисходящему, а первый — к восходящему направлениям. Интервал между этими слотами, содержащий служебные слоты UpPTS, DwPTS и GP, называется *точкой переключения* (Switching Point). Кроме того, точка переключения располагается и между слотами 3 и 4, где также происходит смена направления.

Рассмотрим физические каналы и их назначение при использовании в режиме 1,28M-TDD.

К группе выделенных физических каналов (табл. 2.11) относится *выделенный физический канал* (Dedicated Physical Cannel, DPCH), предназначенный для передачи транспортного канала DCH.

Таблица 2.11

**Выделенные физические каналы в режиме 1,28M-TDD
и их использование**

№	Канал	Направление	Использование
1.	Выделенный физический канал, DPCH	Восходящий, нисходящий	Передача транспортного канала DCH

К группе общих физических каналов (табл. 2.12) относятся следующие каналы.

1. *Первичный общий управляющий физический канал* (Primary Common Control Physical Channel, P-CCPCH).
2. *Вторичный общий управляющий физический канал* (Secondary Common Control Physical Channel, S-CCPCH).
3. *Физический канал быстрого доступа* (Fast Physical Access Channel, FPACH).
4. *Физический канал случайного доступа* (Physical Random Access Channel, PRACH).
5. *Каналы синхронизации:*
 - восходящий канал синхронизации (UpPCH);
 - нисходящий канал синхронизации (DwPCH).
6. *Физический восходящий общий канал* (Physical Uplink Shared Channel, PUSCH).
7. *Физический нисходящий общий канал* (Physical Downlink Shared Channel, PDSCH).
8. *Канал индикатора вызова* (Paging Indicator Channel, PICH).
9. *Высокоскоростной физический нисходящий общий канал* (High Speed Physical Downlink Shared Channel, HS-PDSCH).
10. *Общий управляющий канал для канала HS-DSCH* (Shared Control Channel for HS-DSCH, HS-SCCH).
11. *Общий информационный канал для канала HS-DSCH* (Shared Information Channel for HS-DSCH, HS-SICH).

12. Канал индикатора мультимедийного вещания (MBMS Indicator Channel, MICH). В режиме 1,28M TDD различают каналы MICH двух типов, в зависимости от того, передается индикатор подтверждения только на MBSFN-несущей или также на других несущих.

13. Общий управляющий канал физического уровня (Physical Layer Common Control Channel, PLCCH).

14. Физический восходящий канал для канала E-DCH (E-DCH Physical Uplink Channel, E-PUCH), содержащий также два подканала:

- восходящий управляющий канал для канала E-DCH (E-DCH Uplink Control Channel, E-UCCH);
- нисходящий управляющий канал для канала E-DCH (E-DCH Downlink Control Channel, E-UCCH).

15. Восходящий управляющий канал случайного доступа к каналу E-DCH (E-DCH Random Access Uplink Control Channel, E-RUCCH).

16. Канал абсолютного доступа к каналу E-DCH (E-DCH Absolute Grant Channel, E-AGCH).

17. Канал индикатора подтверждения механизма HARQ в канале E-DCH (E-DCH Hybrid ARQ Acknowledgement Indicator Channel, E-HICH).

Таблица 2.12

Общие физические каналы в режиме 1,28M-TDD и их использование

№	Канал	Направление	Использование
1.	Первичный общий управляющий физический канал, P-CCPCH	Нисходящий	Передача транспортного канала BCH
2.	Вторичный общий управляющий физический канал, S-CCPCH	Нисходящий	Передача транспортных каналов BCH и FACH

Продолжение таблицы 2.12

№	Канал	Направление	Использование
3.	Физический канал быстрого доступа, FACH	Восходящий	Используется БС для передачи подтверждения о выделенной сигнатуре, содержащей индикатор регулировки уровня мощности и временного сдвига
4.	Физический канал случайного доступа, PRACH	Восходящий	Передача транспортного канала RACH
5.	Восходящий канал синхронизации UpPCH	Восходящий	Передача предопределенной последовательности бит
	Нисходящий канал синхронизации DwPCH	Нисходящий	
6.	Физический восходящий общий канал, PUSCH	Восходящий	Передача транспортного канала USCH
7.	Физический нисходящий общий канал, PDSCH	Нисходящий	Передача транспортного канала DSCH
8.	Канал индикатора вызова, PICH	Нисходящий	Передача индикаторов вызова PI
9.	Высокоскоростной физический нисходящий общий канал, HS-PDSCH	Нисходящий	Передача транспортного канала HS-DSCH
10.	Общий управляющий канал для канала HS-DSCH, HS-SCCH	Нисходящий	Передача служебной информации для транспортного канала HS-DSCH
11.	Общий информационный канал для канала HS-DSCH, HS-SICH	Восходящий	Передача служебной информации и индикатора качества канала CQI для транспортного канала HS-DSCH

Окончание таблицы 2.12

№	Канал	Направление	Использование
12.	Канал индикатора мультимедийного вещания, MICH	Нисходящий	Передача индикаторов подтверждения мультимедийного вещания
13.	Общий управляющий канал физического уровня, PLCCN	Нисходящий	Ограничен в пределах базовой станции. Передача выделенной TPS- и SS-информации
14.	Физический восходящий канал для канала E-DCH, E-PUCN	Восходящий	Передача восходящего транспортного канала E-DCH и связанной с ним служебной информацией
15.	Восходящий управляющий канал случайного доступа к каналу E-DCH, E-RUCN	Восходящий	Передача служебной информации, относящейся к транспортному каналу E-DCH, когда недоступны ресурсы физического канала E-PUCN
16.	Канал абсолютного доступа к каналу E-DCH, E-AGCH	Нисходящий	Передача служебной информации об абсолютном доступе к восходящему транспортному каналу E-DCH
16.	Канал индикатора подтверждения механизма HARQ в канале E-DCH, E-HICH	Нисходящий	Передача индикатора подтверждения механизма HARQ в восходящем транспортном канале E-DCH

Карта отображений транспортных каналов на физические каналы в режиме 1,28M-TDD представлена на рис. 2.15.

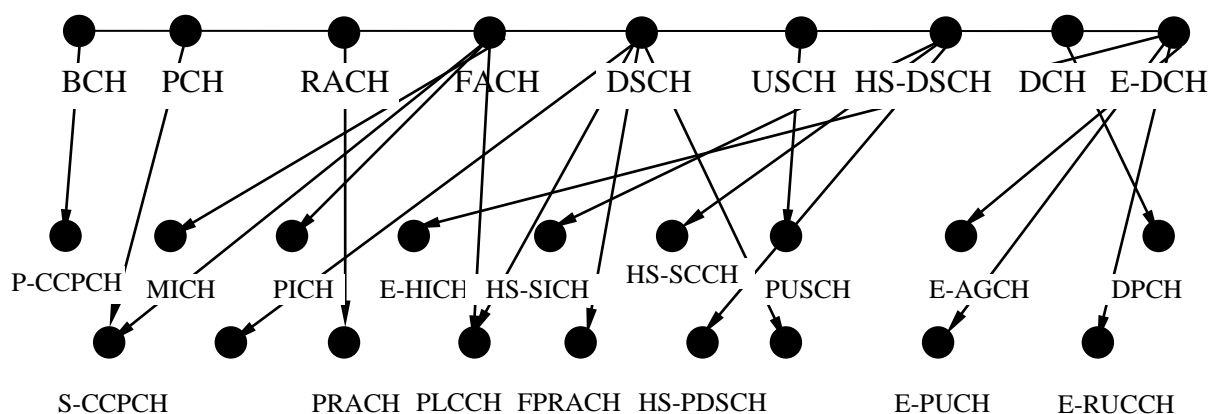


Рис. 2.15. Карта отображений транспортных каналов на физические каналы в режиме 1,28M-TDD

2.3.4. ОТОБРАЖЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ КАНАЛОВ НА ФИЗИЧЕСКИЕ КАНАЛЫ В РЕЖИМЕ 7,68M-TDD

Структура физических каналов в режиме 7,68M-TDD аналогична структуре физических каналов в режиме 3,84M-TDD (рис. 2.11), при которой кадр разделен на 15 слотов, длительностью состоящих из 5120 чипов, конфигурируемых либо в восходящее, либо в нисходящее направление (за исключением, разумеется, режима MBSFN мультимедийного вещания).

В режиме 7,68M-TDD к группе выделенных физических каналов (табл. 2.13) относится *выделенный физический канал* (Dedicated Physical Cannel, DPCH), предназначенный для передачи транспортного канала DCH.

Таблица 2.13

Выделенные физические каналы в режиме 7,68M-TDD и их использование

№	Канал	Направление	Использование
1.	Выделенный физический канал, DPCH	Восходящий, нисходящий	Передача транспортного канала DCH

К группе общих физических каналов (табл. 2.14) относятся следующие каналы.

1. *Первичный общий управляющий физический канал* (Primary Common Control Physical Channel, P-CCPCH).
2. *Вторичный общий управляющий физический канал* (Secondary Common Control Physical Channel, S-CCPCH).
3. *Физический канал случайного доступа* (Physical Random Access Channel, PRACH).
4. *Канал синхронизации* (Synchronization Cannel, SCH).
5. *Физический восходящий общий канал* (Physical Uplink Shared Channel, PUSCH).
6. *Физический нисходящий общий канал* (Physical Downlink Shared Channel, PDSCH).
7. *Канал индикатора вызова* (Paging Indicator Channel, PICH).
8. *Высокоскоростной физический нисходящий общий канал* (High Speed Physical Downlink Shared Channel, HS-PDSCH).
9. *Общий управляющий канал для канала HS-DSCH* (Shared Control Channel for HS-DSCH, HS-SCCH).
10. *Общий информационный канал для канала HS-DSCH* (Shared Information Channel for HS-DSCH, HS-SICH).
11. *Канал индикатора мультимедийного вещания* (MBMS Indicator Channel, MICH).
 - *Физический восходящий канал для канала E-DCH* (E-DCH Physical Uplink Channel, E-PUCH).
12. *Восходящий управляющий канал случайного доступа к каналу E-DCH* (E-DCH Random Access Uplink Control Channel, E-RUCCH).
13. *Канал абсолютного доступа к каналу E-DCH* (E-DCH Absolute Grant Channel, E-AGCH).
14. *Канал индикатора подтверждения механизма HARQ в канале E-DCH* (E-DCH Hybrid ARQ Acknowledgement Indicator Channel, E-HICH).

Таблица 2.14

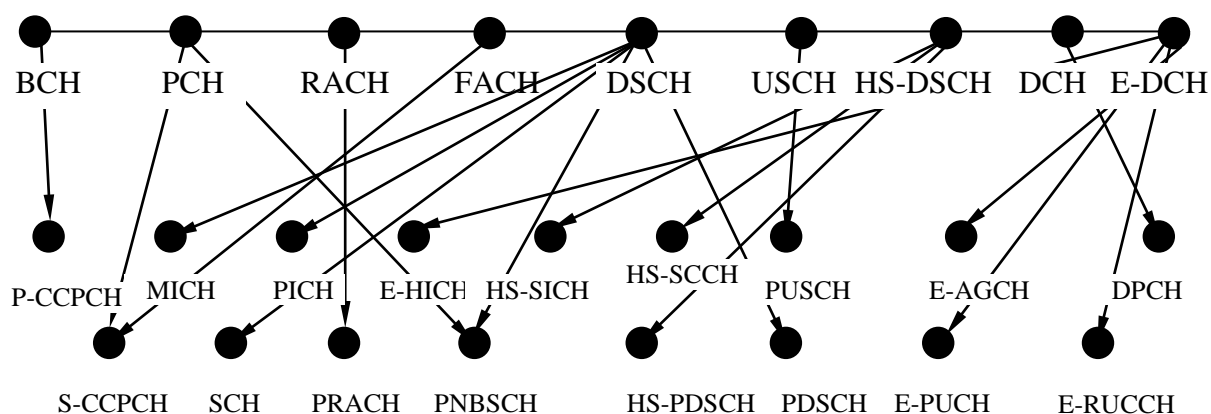
Общие физические каналы в режиме 7,68M-TDD и их использование

№	Канал	Направление	Использование
1.	Первичный общий управляющий физический канал, P-CCPCH	Нисходящий	Передача транспортного канала BCH
2.	Вторичный общий управляющий физический канал, S-CCPCH	Нисходящий	Передача транспортных каналов BCH и FACH
3.	Физический канал случайного доступа, PRACH	Восходящий	Передача транспортного канала RACH
4.	Канал синхронизации, SCH	Нисходящий	Передача предопределенной последовательности бит
5.	Физический восходящий общий канал, PUSCH	Восходящий	Передача транспортного канала USCH
6.	Физический нисходящий общий канал, PDSCH	Нисходящий	Передача транспортного канала DSCH
7.	Канал индикатора вызова, PICH	Нисходящий	Передача индикаторов вызова PI
8.	Высокоскоростной физический нисходящий общий канал, HS-PDSCH	Нисходящий	Передача транспортного канала HS-DSCH
9.	Общий управляющий канал для канала HS-DSCH, HS-SCCH	Нисходящий	Передача служебной информации для транспортного канала HS-DSCH

Окончание таблицы 2.14

№	Канал	Направление	Использование
10.	Общий информационный канал для канала HS-DSCH, HS-SICH	Восходящий	Передача служебной информации и индикатора качества канала CQI для транспортного канала HS-DSCH
11.	Канал индикатора мультимедийного вещания, MICH		Передача индикаторов подтверждения мультимедийного вещания
13.	Физический восходящий канал для канала E-DCH, E-PUCH	Восходящий	Передача восходящего транспортного канала E-DCH и связанной с ним служебной информацией
14.	Восходящий управляющий канал случайного доступа к каналу E-DCH, E-RUCCH	Восходящий	Передача служебной информации, относящейся к транспортному каналу E-DCH, когда недоступны ресурсы физического канала E-PUCH
15.	Канал абсолютного доступа к каналу E-DCH, E-AGCH	Нисходящий	Передача служебной информации об абсолютном доступе к восходящему транспортному каналу E-DCH
16.	Канал индикатора подтверждения механизма HARQ в канале E-DCH, E-HICH	Нисходящий	Передача индикатора подтверждения механизма HARQ в восходящем транспортном канале E-DCH

Карта отображений транспортных каналов на физические каналы в режиме 7,68M-TDD представлена на рис. 2.16.



**Рис. 2.16. Карта отображений транспортных каналов
на физические каналы в режиме 7,68M-TDD**

В следующей главе вопросы формирования физических каналов сетей UMTS будут рассмотрены более подробно.

Вопросы и задания

1. Сколько (под)уровней составляют радиointерфейс сети UMTS?
2. Перечислите основные подуровни канального (под)уровня радиointерфейса сетей UMTS и их функции.
3. Перечислите основные услуги и функции, обеспечиваемые MAC-уровнем.
4. Перечислите логические каналы, относящиеся к группе каналов управления.
5. Какие транспортные каналы относятся к общим каналам, к выделенным?
6. Что такое прозрачная передача данных через подуровни?
7. Что такое мидамбула?
8. Приведите примеры общих физических каналов, выделенных физических каналов. Какие транспортные каналы отображаются на данные физические каналы?
9. Каково назначение общего пилот-канала CPICH?
10. Приведите пример структуры подкадра сигнала в режиме с временным разнесением (TDD).

3. ФОРМИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ КАНАЛОВ

В данной главе будут описаны процедуры формирования кодированного композитного транспортного канала CСТrC, представляющего собой результат мультиплексирования транспортных каналов одинаковой природы; описывается процедура отображения сформированных каналов CСТrC на физические каналы, приведены ограничения, накладываемые на процедуры формирования и отображения, а также приведены примеры кодирования некоторых транспортных каналов.

При описании процедуры формирования кодированного композитного транспортного канала будем стараться придерживаться схемы формирования CСТrC для нисходящих транспортных каналов, которая приведена на рис. 3.1 (подобные схемы уже были приведены на рис. 2.9–2.11). Введем в соответствии со спецификациями следующие обозначения битовых последовательностей, используемых при описании процедур формирования:

- $a_{im1}, a_{im2}, a_{im3}, \dots, a_{imA_i}$ — последовательность бит транспортного блока;
- $b_{im1}, b_{im2}, b_{im3}, \dots, b_{imB_i}$ — биты транспортного блока вместе с проверочными битами контрольной суммы;
- $o_{ir1}, o_{ir2}, o_{ir3}, \dots, o_{irK_i}$ — битовая последовательность, полученная в результате конкатенации транспортных блоков;
- $c_{i1}, c_{i2}, c_{i3}, \dots, c_{iE_i}$ — кодовый блок (битовая последовательность, полученная в результате процедуры канального кодирования);
- $t_{i1}, t_{i2}, t_{i3}, \dots, t_{iT_i}$ — результат конкатенации кодовых блоков;
- $g_{i1}, g_{i2}, g_{i3}, \dots, g_{iG_i}$ — битовая последовательность, полученная в результате процедуры выравнивания скоростей передачи данных;
- $h_{i1}, h_{i2}, h_{i3}, \dots, h_{iD_i}$ — последовательность, полученная в результате первичной вставки бит индикации режима прерывистой передачи;



Рис. 3.1. Схема формирования кодированного композитного транспортного канала CСТrС для нисходящих каналов DCH, BCH, FACH, RCH

- $q_{i1}, q_{i2}, q_{i3}, \dots, q_{iQ_i}$ — результат процедуры первичного перемежения;
- $f_{i1}, f_{i2}, f_{i3}, \dots, f_{iV_i}$ — последовательность i -го транспортного канала, которая будет размещена в одном кадре радиосигнала (результат процедуры сегментации по кадрам);
- $s_1, s_2, s_3, \dots, s_S$ — результат мультиплексирования последовательностей различных транспортных каналов;
- $w_1, w_2, w_3, \dots, w_R$ — последовательность, полученная в результате вторичной вставки бит индикации режима прерывистой передачи;
- $u_{p,1}, u_{p,2}, u_{p,3}, \dots, u_{p,U}$ — последовательность, которая будет размещена в одном кадре одного физического канала (результат процедуры сегментации по физическим каналам);
- $v_{p,1}, v_{p,2}, v_{p,3}, \dots, v_{p,U}$ — результат вторичного перемежения данных.

3.1. КОДИРОВАННЫЙ КОМПОЗИТНЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ КАНАЛ

Как уже говорилось в разд. 2.2, мультиплексирование транспортных каналов в один или несколько физических каналов осуществляется на физическом уровне посредством образования кодированного композитного транспортного канала CCTrC. При этом правила формирования канала CCTrC определяются спецификацией 25.212 для группы каналов DCH, RACH, BCH, FACH, PCH (наиболее общий и полный вариант) и отдельно для каналов HS-DSCH и E-DCH. В этом разделе описан общий вариант формирования CCTrC.

Данные, с которыми производятся совокупные операции кодирования-мультиплексирования, берутся из всех наборов транспортных блоков, передаваемых в каждом временном интервале, значения которого выбираются из набора 10, 20, 40 и 80 мс, причем значение 80 мс используется только для коэффициента расширения 512.

Первой операцией, которой подвергаются транспортные блоки, является добавление проверочной суммы CRC (Cyclic Redundancy Check), обеспечивающей защиту от ошибок. Размер L CRC может составлять 8, 12, 16 и 24 бита, а также он может быть нулевым, т. е. проверочные биты могут отсутствовать. Выбор конкретного значения размера проверочной суммы осуществляется на более высоких уровнях.

Вычисление проверочной суммы основано на использовании четырех порождающих полиномов:

$$\begin{aligned}g_{CRC8}(D) &= D^8 + D^7 + D^4 + D^3 + D + 1; \\g_{CRC12}(D) &= D^{12} + D^{11} + D^8 + D^2 + D + 1; \\g_{CRC16}(D) &= D^{16} + D^{12} + D^6 + 1; \\g_{CRC24}(D) &= D^{24} + D^{23} + D^6 + D^5 + D + 1.\end{aligned}$$

Для вычисления CRC используется весь транспортный блок. Пусть в соответствии с обозначениями, введенными в разд. 2.2, a_{imj} — бит на j -й позиции в транспортном блоке ($j = 1, \dots, A$), являющимся частью m -го набора транспортных блоков ($m = 1, \dots, M$) i -го транспортного канала. Обозначим через $p_{im1}, p_{im2}, \dots, p_{imL}$ проверочные символы, относящиеся к защищаемому транспортному блоку. Кодирование выполняется в систематической форме, когда при вычислении в двоичном поле Галуа GF(2) полином

$$a_{im1}D^{A_i+7} + a_{im2}D^{A_i+6} + \dots + a_{imA_i}D^8 + p_{im1}D^7 + p_{im2}D^6 + \dots + p_{im7}D + p_{im8}$$

дает равный нулю остаток при делении на полином $g_{CRC8}(D)$;

полином

$$a_{im1}D^{A_i+11} + a_{im2}D^{A_i+10} + \dots + a_{imA_i}D^{12} + p_{im1}D^{11} + p_{im2}D^{10} + \dots + p_{im11}D + p_{im12}$$

дает равный нулю остаток при делении на полином $g_{CRC12}(D)$;

полином

$$a_{im1}D^{A_i+15} + a_{im2}D^{A_i+14} + \dots + a_{imA_i}D^{16} + p_{im1}D^{15} + p_{im2}D^{14} + p_{im15}D + p_{im16}$$

дает равный нулю остаток при делении на полином $g_{CRC16}(D)$;

полином

$a_{im1}D^{A_i+23} + a_{im2}D^{A_i+22} + \dots + a_{imA_i}D^{23} + p_{im1}D^{23} + p_{im2}D^{22} + \dots + p_{im23}D + p_{im24}$ дает равный нулю остаток при делении на полином $g_{CRC24}(D)$. Здесь A_i и L_i — выбранные в данном транспортном канале размеры транспортного блока и блока проверочных символов соответственно.

В случае пустого транспортного формата с отсутствующими транспортными блоками ($A_i = 0, M_i = 0$) проверочная сумма не вычисляется. Если же пустой транспортный формат содержит нулевой размер транспортного блока ($A_i = 0$), но сами транспортные блоки подаются ($M_i \neq 0$), то формируется проверочная сумма, в которой все биты устанавливаются в нулевое значение.

Обозначим через $b_{im1}, b_{im2}, \dots, b_{imB_i}$, где $B_i = A_i + L_i$, биты транспортного потока с присоединенными проверочными битами, т. е.

$$b_{imk} = \begin{cases} a_{imk}, & k = 1, \dots, A_i \\ p_{im(L_i+1-(k-A_i))}, & k = A_i + l, l = 1, \dots, L_i \end{cases}.$$

Все транспортные блоки (с добавленными проверочными суммами), следующие во временном интервале ТТИ, последовательно сцеплены, и если общее число бит во всех транспортных блоках превосходит некоторое число Z — максимальный размер формируемого кодового блока, то производится сегментация кодового блока. При этом все кодовые блоки после сегментации должны быть одинакового размера. Значение Z зависит от используемой схемы кодирования: $Z = 504$ для сверточного кода и $Z = 5114$ для турбокода (табл. 3.1).

Количество бит в сцепленном потоке, образованном из M_i транспортных блоков i -го транспортного канала, равно $X_i = M_i B_i$; обозначим эти биты как $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iB_i}$. Тогда справедливы следующие соотношения:

$$\begin{aligned} x_{ik} &= b_{i1k}, \text{ если } k = 1, \dots, B_i; \\ x_{ik} &= b_{i,2,(k-B_i)}, \text{ если } k = B_i + 1, B_i + 2, \dots, 2B_i; \\ x_{ik} &= b_{i,3,(k-2B_i)}, \text{ если } k = 2B_i + 1, 2B_i + 2, \dots, 3B_i; \\ &\dots \end{aligned}$$

$$x_{ik} = b_{i,M_i,(k-(M_i-1)B_i)}, \text{ если } k = (M_i - 1)B_i + 1, (M_i - 1)B_i + 2, \dots, M_i B_i.$$

Обозначим через C_i число кодовых блоков в i -м транспортном канале, а через K_i — число бит в кодовом блоке после сегментации. Очевидно, что $K_i = \lceil X_i / C_i \rceil$, где квадратные скобки $\lceil \rceil$ обозначают округление до целого в сторону плюс бесконечности. Если число бит, подвергаемых сегментации, не кратно C_i , то к началу первого блока добавляются “наполняющие” нулевые биты в количестве Y_i , обеспечивающим выполнение условия кратности. Также дополнение нулевыми битами производится в том случае, когда используется турбокодирование и $X_i < 40$. Пусть $o_{ir1}, o_{ir2}, \dots, o_{irK_i}$ — биты r -го кодового блока после сегментации. Тогда алгоритм сегментации выглядит следующим образом.

% Вычисление количества бит в каждом кодовом блоке

если ($X_i < 40$) **и** используется турбокодирование **то**

$$K_i = 40;$$

иначе

$$K_i = \lceil X_i / C_i \rceil;$$

все

% Число бит заполнения

$$Y_i = C_i K_i - X_i;$$

% Вставка бит заполнения

нц для k **от** 1 **до** Y_i

$$o_{ik} = 0;$$

кц

% Формирование кодового блока

нц для k **от** $Y_i + 1$ **до** K_i

$$o_{ik} = x_{i,(k-Y_i)};$$

кц

% Сегментация кодового блока

$$r = 2;$$

пока ($r \leq C_i$)

нц для k от 1 до K_i

$$o_{ilk} = x_{i,(k-(r-1)K_i-Y_i)};$$

кц

$$r = r+1;$$

кц

3.1.1. КАНАЛЬНОЕ КОДИРОВАНИЕ

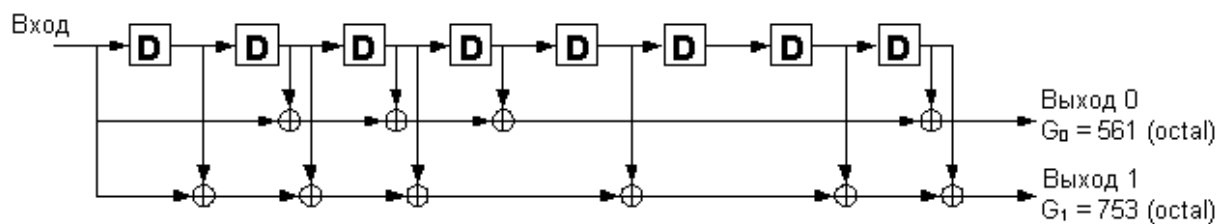
Следующим, после сегментации кодовых блоков, этапом формирования канала CСТrС является канальное кодирование, при котором последовательности $o_{ir1}, o_{ir2}, \dots, o_{irK_i}$ бит после сегментации ставится в соответствие набор бит $y_{ir1}, y_{ir2}, \dots, y_{irY_i}$. В зависимости от того, какие транспортные каналы в текущий момент времени объединяются в композитном кодированном канале, используются разные схемы канального кодирования и, следовательно, различные размеры Y кодовых блоков (табл. 3.1).

Таблица 3.1

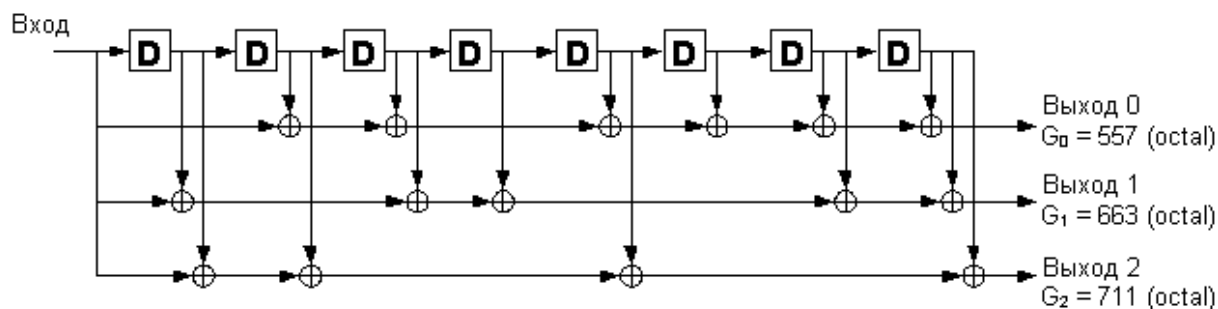
Схемы канального кодирования в композитном канале CСТrС

Транспортный канал	Схема кодирования	Кодовая скорость	Размер кодового блока Y
BCH	Сверточное кодирование	1/2	$2K + 16$
РСН			
RACH		1/3, 1/2	$3K + 24$
DCH, FACH	Турбокодирование	1/3	$3K + 12$

Для объединения транспортных каналов BCH, РСН и RACH используются сверточные коды с длиной кодового ограничения 9 и кодовыми скоростями 1/3 и 1/2. Кодер для того кода показан на рис. 3.2.



а) Скорость кодирования 1/2



б) Скорость кодирования 1/3

**Рис. 3.2. Сверточные кодеры
со скоростями кодирования 1/2 (а) и 1/3 (б)**

Биты кодированного блока снимаются последовательно с выходов кодера, например, при скорости кодирования 1/3 сначала с выхода 0, затем с выхода 1, с выхода 2, с выхода 0, с выхода 1 и т. д. При скорости кодирования 1/2 биты сверточного кода снимаются с выходов кодера в следующем порядке: выход 0, выход 1, выход 0, выход 1, выход 0 и т. д. Перед началом процедуры кодирования к блоку должны быть добавлены 8 нулевых бит, а во всех ячейках сдвигового регистра кодера должны быть записаны нули.

В качестве кодера турбокода используется схема параллельно связанных сверточных кодеров, состоящая из двух вспомогательных кодеров и внутреннего перемежителя (рис. 3.3).

Передаточная функция есть

$$G(D) = \left[1, \frac{g_1(D)}{g_0(D)} \right],$$

где полиномы $g_0(D)$, $g_1(D)$ имеют вид

$$g_0(D) = 1 + D^2 + D^3,$$

$$g_1(D) = 1 + D + D^3.$$

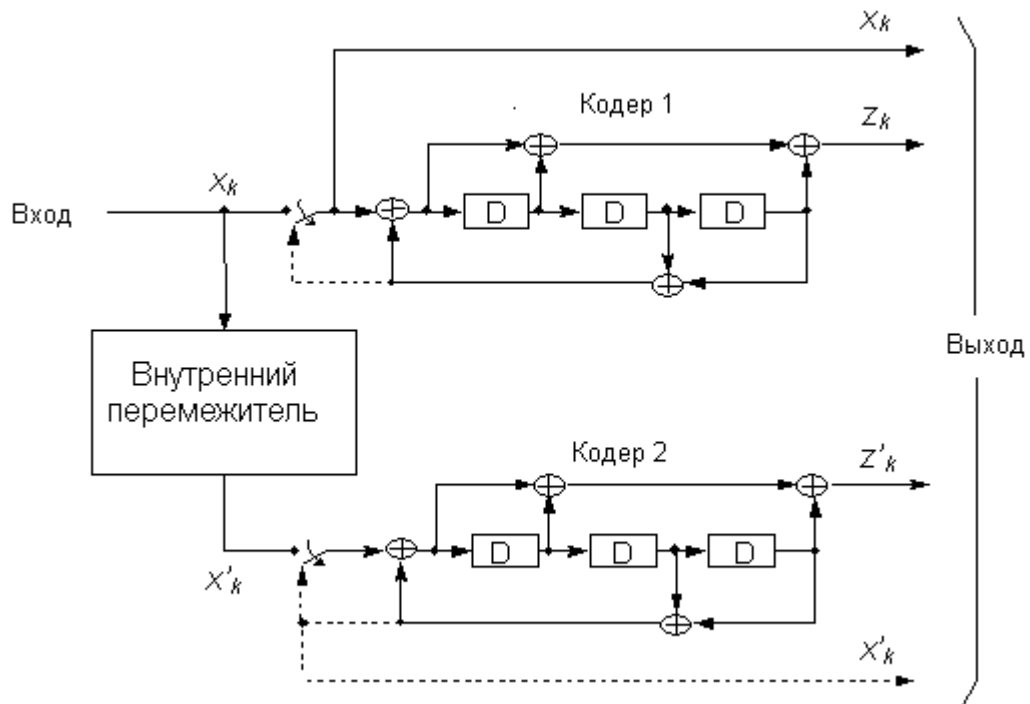


Рис. 3.3. Кодер турбокода, скорость кодирования 1/3

В начале кодирования в ячейки вспомогательных кодеров должны быть записаны нули. В процессе кодирования биты турбокода снимаются с выходов кодера в следующем порядке:

$$x_1, z_1, z'_1, x_2, z_2, z'_2, \dots, x_K, z_K, z'_K,$$

где x_1, x_2, \dots, x_K представляют собой биты, поступающие на вход кодера турбокода, z_1, z_2, \dots, z_K — биты с выхода первого вспомогательного кодера, z'_1, z'_2, \dots, z'_K — биты с выхода второго вспомогательного кодера. Биты x_1, x_2, \dots, x_K будем называть систематическими, а биты, полученные с выходов вспомогательных кодеров — проверочными.

После того как на вход турбокодера поступает последний информационный бит, т. е. бит с номером K , к кодированному блоку добавляются окончательные биты. При этом сначала верхний переключатель турбокодера переключается в нижнее положение и, при тактировании

только первого вспомогательного кодера, снимаются первые шесть окончательных бит:

$$x_{K+1}, z_{K+1}, x_{K+2}, z_{K+2}, x_{K+3}, z_{K+3}.$$

Далее, нижний переключатель турбокодера переключается в нижнее положение и, тактируя только второй вспомогательный кодер, снимаются остальные шесть окончательных бит турбокода:

$$x'_{K+1}, z'_{K+1}, x'_{K+2}, z'_{K+2}, x'_{K+3}, z'_{K+3}.$$

В результате кодирования кодированный блок будет иметь размер $3K + 12$ бит.

Далее опишем работу внутреннего перемежителя. Пусть на вход перемежителя поступают информационные биты

$$x_1, x_2, \dots, x_K,$$

где K — количество информационных бит, которое может принимать значения из интервала $40 \leq K \leq 5114$. Введем также следующие обозначения в соответствии со спецификациями:

R — количество строк в прямоугольной матрице;

C — количество столбцов в прямоугольной матрице;

p — первичный номер;

v — первичный корень (элемент таблицы перемежения);

$\langle s(j) \rangle_{j \in \{0, 1, \dots, p-2\}}$ — базовая последовательность перестановок

элементов внутри строки;

$\langle T(i) \rangle_{i \in \{0, 1, \dots, R-1\}}$ — таблица перестановок строк;

$\langle U_i(j) \rangle_{j \in \{0, 1, \dots, C-1\}}$ — таблица перестановок элементов внутри i -й

строки;

i — номер строки;

j — номер столбца;

k — номер битовой последовательности.

Первым этапом работы перемежителя является запись информационных бит x_1, x_2, \dots, x_K в прямоугольную матрицу. Размерность этой матрицы определяется по следующему правилу:

$$R = \begin{cases} 5, & \text{если } (40 \leq K \leq 159); \\ 10, & \text{если } (160 \leq K \leq 200) \text{ или } (481 \leq K \leq 530); \\ 20, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Далее находим первичный номер p и количество столбцов прямоугольной матрицы:

если $(481 \leq K \leq 530)$ **то**

$$p = 53;$$

$$C = p;$$

иначе

находим минимальное p из табл. 3.2 такое, что

$$K \leq R \times (p + 1);$$

$$C = \begin{cases} p - 1, & \text{если } K \leq R \times (p - 1); \\ p, & \text{если } R \times (p - 1) < K \leq R \times p; \\ p + 1, & \text{если } R \times p < K; \end{cases}$$

все

Таблица 3.2

Значения первичных номеров p и первичных корней v

p	v	p	v	p	v	p	v	p	v
7	3	47	5	101	2	157	5	223	3
11	2	53	2	103	5	163	2	227	2
13	2	59	2	107	2	167	5	229	6
17	3	61	2	109	6	173	2	233	3
19	2	67	2	113	3	179	2	239	7
23	5	71	7	127	3	181	2	241	7
29	2	73	5	131	2	191	19	251	6
31	3	79	3	137	3	193	5	257	3
37	2	83	2	139	2	197	2		
41	6	89	3	149	2	199	3		
43	3	97	5	151	6	211	2		

Информационные биты x_1, x_2, \dots, x_K записываются в прямоугольную матрицу

$$\begin{bmatrix} y_1 & y_2 & \dots & y_C \\ y_{(C+1)} & y_{(C+2)} & \dots & y_{2C} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ y_{(R-1)C+1} & y_{(R-1)C+2} & \dots & y_{R \times C} \end{bmatrix}$$

в следующем порядке:

нц для k от 1 до K

$$y_k = x_k;$$

кц

если $R \times C > K$

нц для k от $K+1$ до $R \times C$

% Добавляем в матрицу «биты заполнения»

$$y_k = 0 \text{ или } 1;$$

кц

все

После межстрочных перестановок и перестановок элементов внутри строк, перед считыванием бит с выхода перемежителя, “биты заполнения” должны быть удалены из матрицы.

После заполнения прямоугольной матрицы перемежитель выполняет перестановку строк, а также перестановку элементов внутри строк. Для этого из табл. 3.2. определяется корень v , соответствующий первичному номеру p . Далее формируется базовая последовательность $s(j)$:

$$s(0) = 0;$$

$$s(j) = (v \times s(j-1)) \bmod p, \quad j = 1, 2, \dots, (p-2).$$

На следующем этапе необходимо сформировать последовательность элементов q_i :

$$q_0 = 0;$$

q_i — минимальное целое число, такое что $\text{НОД}(q_i, p) = 1$, $q_i > 6$ и $q_i > q_{i-1}$, $i = 1, 2, \dots, R-1$.

Далее формируется последовательность элементов r_i перестановкой элементов последовательности, полученной на предыдущем шаге:

$$r_{T(i)} = q_i, i = 0, 1, \dots, R - 1,$$

где таблица перестановок строк $T(i)$ зависит от количества информационных бит K . Данные таблицы приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Таблицы перестановок строк

Количество информационных бит K	Количество строк R	Таблица перестановок строк $\langle T(0), T(1), \dots, T(R - 1) \rangle$
$(40 \leq K \leq 159)$	5	$\langle 4, 3, 2, 1, 0 \rangle$
$(160 \leq K \leq 200)$ или $(481 \leq K \leq 530)$	10	$\langle 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0 \rangle$
$(2281 \leq K \leq 2480)$ или $(3161 \leq K \leq 3210)$	20	$\langle 19, 9, 14, 4, 0, 2, 5, 7, 12, 18, 16, 13, 17, 15, 3, 1, 6, 11, 8, 10 \rangle$
Иначе	20	$\langle 19, 9, 14, 4, 0, 2, 5, 7, 12, 18, 10, 8, 13, 17, 3, 1, 16, 6, 15, 11 \rangle$

Перемежение начинается с перестановки элементов внутри каждой строки прямоугольной матрицы согласно следующему алгоритму, где выражение $A \leftrightarrow B$ обозначает операцию перестановки соответствующих операндов A и B :

нц для i от 0 до $R - 1$

если $(C = p)$ то

нц для j от 0 до $p - 2$

$$U_i(j) = s((j \times r_i) \bmod (p - 1));$$

кц

$$U_i(p - 1) = 0;$$

все

если $(C = p + 1)$ то

нц для j от 0 до $p - 2$

$$U_i(j) = s((j \times r_i) \bmod (p - 1));$$

кц


```

 $U_i(p-1) = 0;$ 
 $U_i(p) = p;$ 
если  $(K = R \times C)$  то
     $U_{R-1}(p) \leftrightarrow U_{R-1}(0);$ 
все
все
если  $(C = p-1)$  то
    нц для  $j$  от 0 до  $p-2$ 
         $U_i(j) = s((j \times r_i) \bmod (p-1));$ 
    кц
все
кц

```

В данном алгоритме последовательность $U_i(j)$ для каждой из строк несет в себе номера элементов i -й строки первоначальной матрицы в том порядке, в котором их следует брать для получения новой строки, с переставленными элементами.

После перестановки элементов внутри каждой строки следует изменить порядок следования строк согласно таблице $T(i)$, причем, данная таблица несет в себе номера строк матрицы, полученной на предыдущем шаге, в том порядке, в котором их следует брать для получения новой матрицы, с переставленными строками.

В результате перестановок элементов внутри строк, а также самих строк, будет сформирована новая прямоугольная матрица

$$\begin{bmatrix} y'_1 & y'_2 & \dots & y'_C \\ y'_{(C+1)} & y'_{(C+2)} & \dots & y'_{2C} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ y'_{(R-1)C+1} & y'_{(R-1)C+2} & \dots & y'_{R \times C} \end{bmatrix}.$$

Результатом работы перемежителя является последовательность бит, считанная из данной матрицы в порядке сверху вниз, последовательно по всем столбцам, начиная с верхнего элемента первого столбца и заканчивая нижним элементов последнего. Далее из резуль-

тирующей битовой последовательности следует удалить “биты заполнения”, добавленные в матрицу на первом этапе перемежения, т. е. биты y'_k , которые соответствуют битам y_k с номерами $> K$. Результирующая битовая последовательность должна иметь размер K бит, элементы этой последовательности обозначены на рис. 3.2 как x'_k .

3.1.2. КОНКАТЕНАЦИЯ КОДОВЫХ БЛОКОВ И ВЫРАВНИВАНИЕ РАЗМЕРА КАДРА

Если количество кодовых блоков C_i в i -м транспортном канале больше одного, то следующим, после канального кодирования, этапом формирования кодированного композитного транспортного канала ССТрС является конкатенация кодовых блоков. Пусть результатом конкатенации является битовая последовательность

$$c_{i1}, c_{i2}, c_{i3}, \dots, c_{iE_i},$$

где i — номер транспортного канала, $E_i = C_i Y_i$. Результирующая битовая последовательность получается следующим образом:

$$\begin{aligned} c_{ik} &= y_{i,1,k}, & k &= 1, 2, \dots, Y_i; \\ c_{ik} &= y_{i,2,(k-Y_i)}, & k &= Y_i + 1, Y_i + 2, \dots, 2Y_i; \\ c_{ik} &= y_{i,3,(k-2Y_i)}, & k &= 2Y_i + 1, 2Y_i + 2, \dots, 3Y_i; \\ &\dots & & \\ c_{ik} &= y_{i,C_i,(k-(C_i-1)Y_i)}, & k &= (C_i - 1)Y_i + 1, (C_i - 1)Y_i + 2, \dots, C_i Y_i. \end{aligned}$$

Обозначим за F_i количество кадров радиосигнала во временном интервале i -го транспортного канала. Если общее количество бит E_i не может быть разбито на F_i одинаковых сегментов, то выполняется процедура выравнивания размера кадра, причем данная процедура выполняется только для восходящих каналов и состоит в добавлении к исходной последовательности $c_{i1}, c_{i2}, c_{i3}, \dots, c_{iE_i}$ случайных битов заполнения. Обозначим за N_i количество бит в сегменте, это количество связано с размером исходной последовательности E_i соотношением

$$N_i = \lceil E_i / F_i \rceil.$$

Пусть $T_i = N_i F_i$ — общее количество бит в последовательности после выполнения процедуры выравнивания размера кадра. Тогда само выравнивание размера кадра выполняется согласно следующему алгоритму.

```

нц для  $k$  от 1 до  $E_i$ 
     $t_{ik} = c_{ik}$ ;
кц
если  $E_i < T_i$ 
    нц для  $k$  от  $E_i + 1$  до  $T_i$ 
         $t_{ik} = 0$  или 1;
    кц
все

```

3.1.3. ВЫРАВНИВАНИЕ СКОРОСТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Согласно схеме формирования кодированного композитного транспортного канала ССТрС для нисходящих транспортных каналов DCH, BCH, FACH, RCH следующим шагом формирования является процедура выравнивания скоростей передачи данных. При формировании какого-либо транспортного канала количество бит, которые необходимо передать в определенном временном интервале, может меняться, например, размер транспортного блока канала RACH может принимать различные значения. В этом случае некоторые биты транспортного блока, прошедшего процедуру канального кодирования, в результате данной процедуры будут повторены или исключены для того, чтобы скорость передачи данных в транспортном канале соответствовала скорости, обеспечиваемой физическим каналом.

Введем следующие обозначения в соответствии со спецификациями.

$N_{i,j}$: для восходящих каналов — количество бит в одном кадре радиосигнала с идентификатором комбинации транспортного формата j до выполнения процедуры выравнивания скоростей в i -м транс-

портном канале; для нисходящих каналов — промежуточная переменная, которая не может принимать целые значения, но кратная 1/8.

$N_{i,l}^{TTI}$: количество бит, передаваемых за временной интервал, до выполнения процедуры выравнивания скоростей в i -м транспортном канале с идентификатором транспортного формата l ; данный параметр имеет отношение только к нисходящим каналам.

$\Delta N_{i,j}$: для восходящих каналов — в случае положительного значения этой переменной она означает количество бит, которые необходимо повторить в транспортном канале i в каждом кадре радиосигнала с идентификатором комбинации транспортного формата j , в случае отрицательного значения — количество бит, которое должно быть исключено; для нисходящих каналов: промежуточная переменная, которая не может принимать целые значения, но кратная 1/8.

$\Delta N_{i,l}^{TTI}$: в случае положительного значения переменная означает количество бит, которые должны быть повторены в транспортном канале i с идентификатором формата l на каждом временном интервале; данная переменная имеет отношение только к нисходящим каналам.

N_{TGL} : количество бит в кадре радиосигнала, соответствующих защитному интервалу; эта переменная имеет место только в том случае, если используется сжатый режим кодированного композитного транспортного канала CСТrC.

RM_i : параметр выравнивания скоростей для i -го транспортного канала.

PL : переменная ограничивает количество бит, которое может быть исключено в восходящем транспортном канале; максимально разрешенное количество исключаемых бит, выраженное в процентах, связано с переменной как $(1 - PL) \cdot 100\%$.

$N_{data,j}$: количество информационных бит, доступных для кодированного композитного транспортного канала CСТrC в каждом кадре радиосигнала с идентификатором комбинации транспортного формата j .

L : количество транспортных каналов в кодированном композитном транспортном канале CСТrС.

$Z_{i,j}$: промежуточная переменная.

F_i : количество кадров радиосигнала, соответствующее временному интервалу транспортного канала i .

n_i : номер кадра радиосигнала во временном интервале транспортного канала i ($0 \leq n_i < F_i$).

q : среднее расстояние между битами, которые необходимо исключить или повторить; данная переменная имеет отношение только к восходящим каналам.

$P1_F(n_i)$: функция перестановки столбцов при первичном перемежении, показывающая номер столбца в исходной матрице, соответствующий столбцу x в матрице, полученной в результате первичного перемежения; данная функция будет использоваться только при выравнивании скоростей передачи данных в восходящих транспортных каналах.

$S[n]$: сдвиг таблицы, в соответствии с которой будет осуществляться повторение или исключение бит, для кадра радиосигнала с номером n_i , где $n = P1_{F_i}(n_i)$. Данный параметр будем использовать только в процедуре выравнивания скоростей для восходящих каналов.

$TF_i(j)$: идентификатор транспортного формата i -го транспортного канала с идентификатором комбинации транспортного формата j .

$TFS(i)$: множество идентификаторов транспортного формата l для i -го транспортного канала.

$TFCS$: множество идентификаторов комбинации транспортного формата j .

e_{ini} : первоначальное значение переменной e в алгоритме вычисления таблицы, в соответствии с которой будут исключаться или повторяться биты в ходе процедуры выравнивания скоростей.

e_{plus} : инкремент переменной e .

e_{minus} : декремент переменной e .

b : переменная, идентифицирующая систематические и проверочные биты в турбокоде; данная переменная может принимать следующие значения.

- $b = 1$: систематические биты; такие биты на рис. 3.2 обозначены x_k .

- $b = 2$: проверочные биты, снятые с выхода первого вспомогательного кодера; на рис. 3.2 такие биты обозначены z_k .

- $b = 3$: проверочные биты, снятые с выхода второго вспомогательного кодера; на рис. 3.2 эти биты имеют обозначение z'_k .

Перед началом описания процедуры выравнивания скоростей передачи данных остановимся подробнее на параметре RM_i .

Данный параметр определяет приоритет транспортного канала i при выполнении процедуры исключения или повторения бит. К примеру, при мультиплексировании двух транспортных каналов в один кодированный композитный транспортный канал может иметь место такая ситуация, когда приоритет одного из них выше другого. В этом случае алгоритм выравнивания скоростей, приведенный ниже, будет строить процедуру таким образом, чтобы из кодового блока канала с более высоким приоритетом исключить меньшее количество бит. Более того, возможна такая ситуация, когда приоритет одного транспортного канала выше приоритета другого настолько, что биты его кодового блока будут даже повторены, в то время как значительное количество бит кодового блока транспортного канала с меньшим приоритетом будет исключено.

Промежуточные переменные $Z_{i,j}$ для всех комбинаций транспортного формата j вычисляются следующим образом:

$$Z_{0,j} = 0;$$

$$Z_{i,j} = \left\lfloor \frac{\left(\left(\sum_{m=1}^i RM_m N_{m,j} \right) N_{data,j} \right)}{\sum_{m=1}^I RM_m N_{m,j}} \right\rfloor, \quad i = 1, 2, \dots, I.$$

Количество бит, которое следует исключить или повторить, для всех идентификаторов комбинации транспортного формата j определяется следующим образом:

$$\Delta N_{i,j} = Z_{i,j} - Z_{i-1,j} - N_{i,j}, i = 1, 2, \dots, I. \quad (3.1)$$

Далее будем говорить о параметрах, необходимых для процедуры выравнивания скоростей передачи данных в восходящих транспортных каналах. В этом случае для того чтобы скорость передачи данных сформированного кодированного композитного транспортного канала соответствовала скорости, обеспечиваемой физическим каналом, используется исключение определенных бит. Скорость передачи данных физического канала определяется характеристиками оборудования ПТ, а также ограничениями, наложенными сетью наземного радиодоступа, а именно, коэффициентом расширения для данного физического канала. Максимальное количество бит, которое может быть исключено, определяется величиной PL , которая определяется на более высоких уровнях. Обозначим количество бит, которые могут быть переданы в одном кадре радиосигнала, величинами $N_{256}, N_{128}, N_{64}, N_{32}, N_{16}, N_8, N_4$, где индекс обозначает коэффициент расширения. Тогда количество бит кодированного композитного транспортного канала CСТrC, которое может быть передано в одном кадре радиосигнала, N_{data} , может принимать значения из множества

$$\{N_{256}, N_{128}, N_{64}, N_{32}, N_{16}, N_8, N_4, 2N_4, 3N_4, 4N_4, 5N_4, 6N_4\}.$$

Для кодированного композитного транспортного канала CСТrC, содержащего канал случайного доступа RACH, величина N_{data} может принимать значения из множества SET0, которое является подмножеством множества $\{N_{256}, N_{128}, N_{64}, N_{32}\}$ и определяется только сетью наземного радиодоступа.

Для других каналов CСТrC величина N_{data} может принимать значения из множества SET0, которое определяется как сетью наземного радиодоступа, так и характеристиками оборудования ПТ. В этом случае множество SET0 может быть подмножеством всего множества

$$\{N_{256}, N_{128}, N_{64}, N_{32}, N_{16}, N_8, N_4, 2N_4, 3N_4, 4N_4, 5N_4, 6N_4\}.$$

Величина $N_{\text{data},j}$ для идентификатора комбинации транспортного формата j определяется в результате выполнения следующего алгоритма:

$\text{SET1} = \{ \text{величины } N_{\text{data}} \text{ из множества SET0, такие, что}$

$$\left(\min_{1 \leq y \leq I} \{ RM_y \} \right) N_{\text{data}} - \sum_{x=1}^I RM_x N_{x,j} \geq 0 \};$$

если (SET1 — не пустое множество) **и** (наименьший элемент SET1 требует хотя бы одного физического канала) **то**

$$N_{\text{data},j} = \min \text{SET1};$$

иначе

$\text{SET2} = \{ \text{величины } N_{\text{data}} \text{ из множества SET0, такие что}$

$$\left(\min_{1 \leq y \leq I} \{ RM_y \} \right) N_{\text{data}} - PL \sum_{x=1}^I RM_x N_{x,j} \geq 0 \};$$

Сортировать SET2 в возрастающем порядке;

$$N_{\text{data},j} = \min \text{SET2};$$

пока ($N_{\text{data}} \neq \max \text{SET2}$) **и** (следующее N_{data} не требует увеличения числа физических каналов)

$$N_{\text{data}} = (\text{следующее } N_{\text{data}} \text{ из множества SET2});$$

кц

$$N_{\text{data},j} = N_{\text{data}};$$

все

Для кодированного композитного транспортного канала CСТrC, содержащего канал случайного доступа RACH, может оказаться так, что определенная величина $N_{\text{data},j}$ не поддерживается оборудованием ПТ, в этом случае транспортный формат с идентификатором комбинации j не может быть использован.

Количество бит $\Delta N_{i,j}$, которое должно быть исключено или повторено в i -м транспортном канале в каждом кадре радиосигнала с идентификатором комбинации j вычисляется согласно выражению (3.1). Если вычисленное значение $\Delta N_{i,j}$ оказывается нулём, то выполнение процедуры выравнивания скоростей передачи данных не требу-

ется, т. е. последовательность бит, полученная на предыдущем этапе формирования кодированного композитного транспортного канала, должна остаться без изменений. В случае $N_{\text{data},j} \neq 0$, независимо от того, используется режим сжатого кадра радиосигнала или нет, для выполнения последующих процедур необходимо вычислить параметры e_{ini} , e_{plus} , e_{minus} .

Сначала приведем алгоритм вычисления этих параметров для транспортных каналов, в которых используется сверточное помехоустойчивое кодирование.

$$R = \Delta N_{i,j} \bmod N_{i,j};$$

если $R \neq 0$ **и** $2R \leq N_{i,j}$ **то**

$$q = \lceil N_{i,j} / R \rceil;$$

иначе

$$q = \lceil N_{i,j} / (R - N_{i,j}) \rceil;$$

все

если (q — четное) **то**

$$q' = q + \text{НОД}(|q|, F_i) / F_i;$$

иначе

$$q' = q;$$

все

для x **от** 0 **до** $(F_i - 1)$

$$S[\lfloor xq' \rfloor \bmod F_i] = (\lfloor xq' \rfloor \text{div } F_i); \% \text{ (в данной формуле}$$

% операция div обозначает целочисленное деление)

кц

$$X_i = N_{i,j}; e_{\text{ini}} = (aS[Pl_{F_i}(n_i)]|\Delta N_i| + 1) \bmod (aN_{i,j});$$

$$e_{\text{plus}} = aN_{i,j}; e_{\text{minus}} = a|\Delta N_i|;$$

Для транспортных каналов, использующих турбокодирование, вычисления параметров e_{ini} , e_{plus} , e_{minus} осуществляется по следующему алгоритму.

$$a = \begin{cases} 2, & b = 2; \\ 1, & b = 3; \end{cases}$$

$$\Delta N_i = \begin{cases} \lfloor \Delta N_{i,j} / 2 \rfloor, & b = 2; \\ \lceil \Delta N_{i,j} / 2 \rceil, & b = 3. \end{cases}$$

Если вычисленное значение ΔN_i равняется нулю для $b = 2$ или для $b = 3$, то последующие процедуры и саму процедуру выравнивания скоростей для данных проверочных бит выполнять не требуется.

$$X_i = \lfloor N_{i,j} / 3 \rfloor; \quad q = \lfloor X_i / |\Delta N_i| \rfloor;$$

если $(q \leq 2)$ **то**

для r **от** 0 **до** $F_i - 1$

$$S[(3r + b - 1) \bmod F_i] = r \bmod 2;$$

кц

иначе

если $(q - \text{четное})$ **то**

$$q' = q - \text{НОД}(q, F_i) / F_i;$$

иначе

$$q' = q;$$

все

для x **от** 0 **до** $(F_i - 1)$

$$r = \lceil x \cdot q' \rceil \bmod F_i;$$

$$S[(3r + b - 1) \bmod F_i] = \lceil xq' \rceil \text{div } F_i;$$

кц

все

$$e_{\text{ini}} = (aS[Pl_{F_i}(n_i)]|\Delta N_i| + X_i) \bmod (aX_i);$$

если $e_{\text{ini}} = 0$ **то**

$$e_{\text{ini}} = aX_i;$$

все

$$e_{\text{plus}} = aX_i; e_{\text{minus}} = a|\Delta N_i|;$$

Данный алгоритм следует использовать только в случае $\Delta N_{i,j} < 0$, т. е. если необходимо осуществить исключение некоторых бит. В случае $\Delta N_{i,j} > 0$, т. е. если необходимо осуществить повторение, то для параметров $e_{\text{ini}}, e_{\text{plus}}, e_{\text{minus}}$ следует использовать алгоритм для транспортных каналов со сверточным кодированием, приведенный выше.

Рассмотрим основные параметры, необходимые для выполнения процедуры выравнивания скоростей в нисходящих транспортных каналах. В этом случае, количество бит $N_{\text{data},j}$, доступных для кодированного композитного транспортного канала CСТrС в одном кадре радиосигнала, не зависит от используемой комбинации транспортного формата. Для данной величины будем использовать запись $N_{\text{data},*}$, подразумевая под звездочкой её независимость от j .

После формирования транспортных каналов возможно два способа их мультиплексирования в физические каналы: мультиплексирование с фиксированным распределением и мультиплексирование с гибким распределением. В первом случае все биты, доступные для передачи данных в одном кадре радиосигнала или на одном временном интервале физического канала, разбиваются на группы, каждая из которых закрепляется за определенным транспортным каналом, положение и размер которой в ходе передачи не изменяется. В случае мультиплексирования с гибким распределением их конфигурации могут меняться при переходе к новому кадру или к новому временному интервалу. Процедуры выравнивания скоростей передачи данных для этих случаев различаются, приведем ряд параметров, необходимых для выполнения процедуры выравнивания скоростей, имеющих отношение к нисходящим транспортным каналам для случая их мультиплексирования с фиксированным распределением.

Сначала необходимо вычислить промежуточные значения переменных $N_{i,*}$ для всех транспортных каналов:

$$N_{i,*} = \frac{1}{F_i} \left(\max_{l \in \text{TFS}(i)} N_{i,l}^{\text{ТП}} \right).$$

Также для всех транспортных каналов вычисляется промежуточный параметр

$$\Delta N_{i,\max} = F_i \Delta N_{i,*},$$

где $\Delta N_{i,*}$ связано с $N_{i,*}$ соотношением (3.1).

Если для i -го транспортного канала оказывается $\Delta N_{i,\max} = 0$, то процедура выравнивания скоростей для него не выполняется, т. е. последовательность бит, полученная на предыдущем этапе, должна остаться без изменений. Также в этом случае справедливо:

$$\Delta N_{i,l}^{\text{ТП}} = 0, \quad l \in \text{TFS}(i).$$

В случае $\Delta N_{i,\max} \neq 0$ для выполнения процедуры выравнивания скоростей необходимо вычисление параметров e_{ini} , e_{plus} , e_{minus} , $\Delta N_{i,l}^{\text{ТП}}$.

Для транспортных каналов, использующих сверточное помехоустойчивое кодирование, данные параметры вычисляются согласно следующим формулам:

$$\Delta N_i = \Delta N_{i,\max}; \quad a = 2; \quad N_{\max} = \max_{l \in \text{TFS}(i)} N_{i,l}^{\text{ТП}};$$

$$X_i = N_{i,l}^{\text{ТП}}; \quad e_{\text{ini}} = 1; \quad e_{\text{plus}} = a N_{\max}; \quad e_{\text{minus}} = a |\Delta N_i|.$$

Величина $\Delta N_{i,l}^{\text{ТП}}$ может быть посчитана в ходе выполнения самой процедуры выравнивания скоростей как количество исключенных или повторенных бит. Также ее значение выражает следующая формула:

$$\Delta N_{i,l}^{\text{ТП}} = \left\lceil \frac{|\Delta N_i| X_i}{N_{\max}} \right\rceil \text{sgn}(\Delta N_i);$$

в данной формуле функция $\text{sgn}(x)$ представляет собой операцию взятия знака:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0; \\ -1, & x < 0. \end{cases}$$

Для транспортных каналов с турбокодированием данные параметры вычисляются иначе:

$$a = \begin{cases} 2, \text{если } b=2; \\ 1, \text{если } b=3; \end{cases} \quad \Delta N_i^b = \begin{cases} \lfloor \Delta N_{i,\max} / 2 \rfloor, \text{если } b=2; \\ \lceil \Delta N_{i,\max} / 2 \rceil, \text{если } b=3; \end{cases}$$

$$N_{\max} = \max_{l \in \text{TFS}(i)} (N_{i,l}^{\text{TTI}} / 3); \quad X_i = N_{i,l}^{\text{TTI}} / 3;$$

$$e_{\text{ini}} = N_{\max}; \quad e_{\text{plus}} = aN_{\max}; \quad e_{\text{minus}} = a|\Delta N_i^b|.$$

Аналогично предыдущему случаю, величина $\Delta N_{i,l}^{\text{TTI}}$ может быть вычислена в ходе самой процедуры выравнивания скоростей или по формуле

$$\Delta N_{i,l}^{\text{TTI}} = - \left\lfloor \frac{|\Delta N_i^2| X_i}{N_{\max}} + 0,5 \right\rfloor - \left\lfloor \frac{|\Delta N_i^3| X_i}{N_{\max}} \right\rfloor.$$

Здесь первое слагаемое соответствует проверочным битам при $b = 3$; второе — проверочным битам при $b = 2$. Систематические биты, которым соответствует $b = 1$, не должны исключаться в ходе процедуры выравнивания скоростей передачи данных.

Рассмотрим вычисление параметров, необходимых для выполнения процедуры выравнивания скоростей передачи данных в нисходящих транспортных каналах для случая их мультиплексирования с гибким распределением.

Сначала вычисляются промежуточные значения $N_{i,j}$. Эти величины рассчитываются одинаково для всех транспортных каналов и идентификаторов комбинаций транспортного формата:

$$N_{i,j} = \frac{1}{F_i} N_{i,\text{TF}_i(j)}^{\text{TTI}}.$$

Далее для каждого транспортного канала необходимо вычислить вспомогательные параметры RF_i :

$$RF_i = \frac{N_{\text{data},*}}{\max_{j \in \text{TFCS}} \sum_{i=1}^I (RM_i N_{i,j})} RM_i.$$

Вычисление количества бит $\Delta N_{i,l}^{\text{TTI}}$, которые должны быть исключены или повторены на каждом временном интервале, происходит в два этапа. На первом этапе рассчитываются предварительные значения $\Delta N_{i,l}^{\text{TTI}}$, на втором этапе эти значения проверяются и корректируются. На первом этапе вычисления проводятся с использованием вспомогательных параметров RF_i , при этом обеспечивается выполнение условия минимума количества бит индикации режима прерывистой передачи, когда скорость передачи данных кодированного композитного транспортного канала CСТrС будет максимальна. В каждом кадре радиосигнала для канала CСТrС может быть передано только $N_{\text{data},*}$ бит, но максимальная скорость передачи данных в канале CСТrС может оказаться больше той, которую может обеспечить физический канал, а именно $N_{\text{data},*}$ бит / 10 мс. Выполнение условия согласования этих скоростей обеспечивается на втором этапе вычисления величин $\Delta N_{i,l}^{\text{TTI}}$.

Предварительные значения $\Delta N_{i,l}^{\text{TTI}}$ вычисляются для всех транспортных каналов с идентификатором формата l по следующей формуле:

$$\Delta N_{i,l}^{\text{TTI}} = F_i \left[\frac{RF_i N_{i,l}^{\text{TTI}}}{F_i} \right] - N_{i,l}^{\text{TTI}} = F_i \left[\frac{N_{\text{data},*} RM_i N_{i,l}^{\text{TTI}}}{F_i \max_{j \in \text{TFCS}} \sum_{i=1}^I (RM_i N_{i,j})} \right] - N_{i,l}^{\text{TTI}}.$$

Второй этап вычислений описывается следующим алгоритмом:
для всех $j \in \text{TFCS}$

% Скорость передачи данных канала CСТrС с

% комбинацией транспортного формата j (бит/10 мс)

$$D = \sum_{i=1}^I \frac{N_{i,\text{TF}_j(j)}^{\text{TTI}} + \Delta N_{i,\text{TF}_j(j)}^{\text{TTI}}}{F_i};$$

если $D > N_{\text{data},*}$ то

для i от 1 до I % Для всех транспортных каналов

$$\Delta N = F_i \Delta N_{i,j};$$

если $\Delta N_{i,TF_i(j)}^{ТП} > \Delta N$ **то**

$$\Delta N_{i,TF_i(j)}^{ТП} = \Delta N;$$

все

кц

все

кц

Если в результате вычислений оказалось, что $\Delta N_{i,l}^{ТП} = 0$, то для i -го транспортного канала с транспортным форматом l выполнение процедуры выравнивания скоростей не требуется. В случае $\Delta N_{i,l}^{ТП} \neq 0$ для выполнения процедуры выравнивания скоростей передачи данных требуется вычисление параметров e_{ini} , e_{plus} , e_{minus} .

Для транспортных каналов, использующих сверточное помехоустойчивое кодирование, эти параметры вычисляются по следующим формулам:

$$\Delta N_i = \Delta N_{i,l}^{ТП}; a = 2; X_i = N_{i,l}^{ТП};$$

$$e_{ini} = 1; e_{plus} = a N_{i,l}^{ТП}; e_{minus} = a |\Delta N_i|.$$

Для транспортных каналов, использующих турбокодирование, данные параметры вычисляются иначе:

$$a = \begin{cases} 2, \text{если } b=2; \\ 1, \text{если } b=3; \end{cases} \quad \Delta N_i = \begin{cases} \lfloor \Delta N_{i,l}^{ТП} / 2 \rfloor, \text{если } b=2; \\ \lceil \Delta N_{i,l}^{ТП} / 2 \rceil, \text{если } b=3; \end{cases}$$

$$X_i = N_{i,l}^{ТП} / 3; e_{ini} = X_i; e_{plus} = a X_i; e_{minus} = a |\Delta N_i|.$$

Для транспортных каналов, использующих турбокодирование, в ходе процедуры выравнивания скоростей передачи данных систематические биты исключаться не могут. Перед процедурой выравнивания скоростей все биты последовательности, систематические и проверочные, разбиваются на три последовательности. Рассмотрим сначала формирование этих последовательностей для восходящих транспортных каналов.

Первая последовательность должна содержать все систематические биты, а также от нуля до двух проверочных бит, в случае если общее количество бит в последовательности, полученной на предыдущем этапе формирования канала CСТrC, не кратно трем, а также несколько окончательных бит.

Вторая последовательность должна содержать все проверочные биты, поступившие с первого вспомогательного кодера, за исключением тех, которые находятся в первой последовательности, а также несколько окончательных бит.

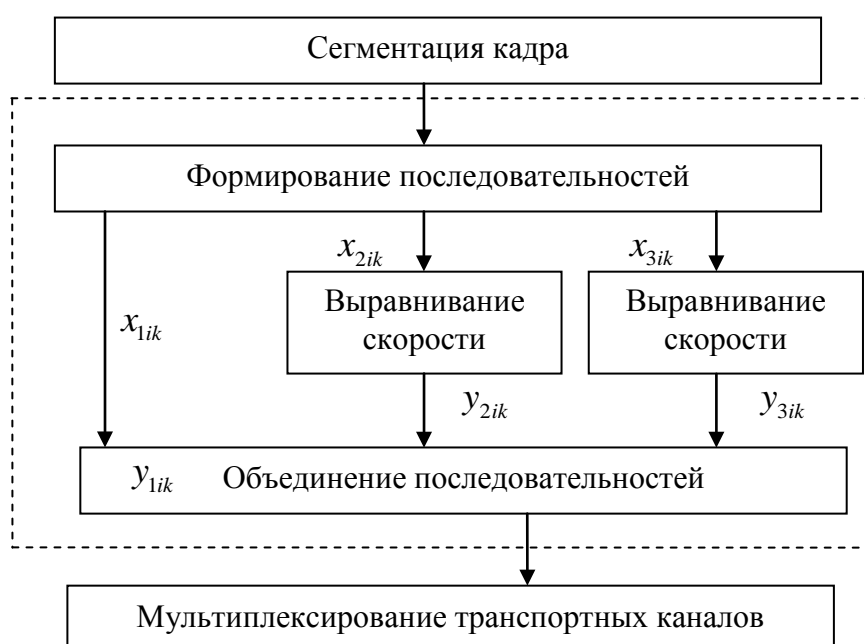


Рис. 3.4. Выравнивание скоростей в восходящих транспортных каналах, использующих турбокодирование

Третья последовательность должна содержать все проверочные биты, снятые с выхода второго вспомогательного кодера, за исключением тех, которые находятся в первой последовательности, а также остальные окончательные биты.

Вторая и третья последовательности должны иметь одинаковый размер, а размер первой последовательности может быть больше на 1 или 2 бита.

Первая последовательность содержит все систематические биты, поэтому исключение бит будет проводиться только во второй и треть-

ей последовательностях (рис. 3.4). Для транспортных каналов, использующих сверточное кодирование, и каналов с турбокодированием, в которых нужно осуществить повторение бит, структурная схема процедуры выравнивания скоростей показана на рис. 3.5.

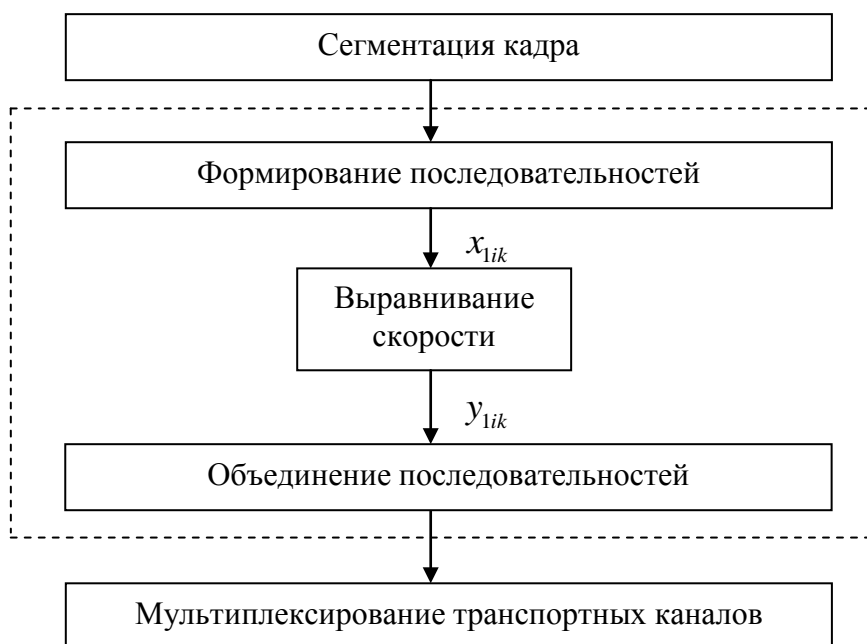


Рис. 3.5. Выравнивание скоростей в восходящих транспортных каналах, использующих сверточное кодирование или турбокодирование

Разбиение общей последовательности бит на три последовательности определяется значениями смещений $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, которые соответствуют последовательностям $x_{1ik}, x_{2ik}, x_{3ik}$. Значения этих смещений, в свою очередь, зависят от величины временного интервала и приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Значения смещений для различных временных интерва-

ТТИ, мс	α_1	α_2	α_3
10, 40	0	1	2
20, 80	0	2	1

Кроме того, разбиение общей последовательности на три производится по-разному для каждого кадра радиосигнала внутри одного временного интервала, в этом случае разбиение определяется величинами β_{n_i} значения которых приведены в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Значения величин β_{n_i}

ТТИ, мс	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7
10	0	—	—	—	—	—	—	—
20	0	1	—	—	—	—	—	—
40	0	1	2	0	—	—	—	—
80	0	1	2	0	1	2	0	1

Пусть после процедуры сегментации кадра получена битовая последовательность $e_{i1}, e_{i2}, e_{i3}, \dots, e_{iN_i}$, где i — номер транспортного канала, N_i — общее количество бит в последовательности. Для транспортных каналов, использующих турбокодирование, для схемы исключения бит разбиение этой последовательности на три производится следующим образом:

$$x_{1,i,k} = e_{i,3(k-1)+1+(\alpha_1+\beta_{n_i}) \bmod 3}, k = 1, 2, 3, \dots, X_i, X_i = \lfloor N_i / 3 \rfloor;$$

$$x_{1,i,\lfloor N_i/3 \rfloor+k} = e_{i,3\lfloor N_i/3 \rfloor+k}, k = 1, \dots, N_i \bmod 3;$$

$$x_{2,i,k} = e_{i,3(k-1)+1+(\alpha_2+\beta_{n_i}) \bmod 3}, k = 1, 2, 3, \dots, X_i, X_i = \lfloor N_i / 3 \rfloor;$$

$$x_{3,i,k} = e_{i,3(k-1)+1+(\alpha_3+\beta_{n_i}) \bmod 3}, k = 1, 2, 3, \dots, X_i, X_i = \lfloor N_i / 3 \rfloor.$$

Для транспортных каналов, использующих сверточное кодирование, а также для схемы повторения бит в транспортных каналах, использующих турбокодирование, разбиение не проводится:

$$x_{1,i,k} = e_{i,k}, k = 1, 2, 3, \dots, X_i, X_i = N_i.$$

После процедуры разбиения вторая и третья последовательности проходят через процедуру выравнивания скоростей, результатом которой являются новые последовательности $y_{1ik}, y_{2ik}, y_{3ik}$. Далее проводится операция объединения полученных последовательностей, в результате чего формируется последовательность $z_{i,k}$:

$$\begin{aligned} z_{i,3(k-1)+1} &= y_{1,i,k} & k = 1, 2, 3, \dots, Y_i; \\ z_{i,3(k-1)+2} &= y_{2,i,k} & k = 1, 2, 3, \dots, Y_i; \\ z_{i,3(k-1)+3} &= y_{3,i,k} & k = 1, 2, 3, \dots, Y_i. \end{aligned}$$

Среди элементов полученной последовательности могут оказаться такие, значение которых не принадлежит множеству $\{0, 1\}$. Такие элементы должны быть исключены, а остальные элементы образуют битовую последовательность $f_{i,k}$, общее количество элементов в которой равно

$$V_i = N_{ij} + \Delta N_{ij}.$$

Для транспортных каналов, использующих сверточное кодирование, и для схемы повторения бит для транспортных каналов, использующих турбокодирование, процедура объединения не выполняется:

$$z_{i,k} = y_{1,i,k}, k = 1, 2, 3, \dots, Y_i.$$

Для схемы повторения бит:

$$f_{i,k} = z_{i,k}, k = 1, 2, 3, \dots, Y_i.$$

Для схемы исключения бит из последовательности $z_{i,k}$ исключаются элементы, значения которых не принадлежат множеству $\{0, 1\}$, а остальные элементы образуют последовательность $f_{i,k}$.

В случае нисходящих транспортных каналов, использующих турбокодирование, в которых нужно исключить биты, аналогично слу-

чаю с восходящими каналами, вся последовательность бит турбокода разбивается на три последовательности.

Первая последовательность должна содержать все систематические биты, а также несколько окончечных бит.

Вторая последовательность должна содержать все проверочные биты, снятые с первого вспомогательного кодера, а также несколько окончечных бит.

Третья последовательность должна содержать все проверочные биты, снятые с выхода второго вспомогательного кодера, и оставшиеся проверочные биты.

Исключение бит будет проводиться только во второй и третьей последовательности, так как первая последовательность содержит систематические биты (рис. 3.6).

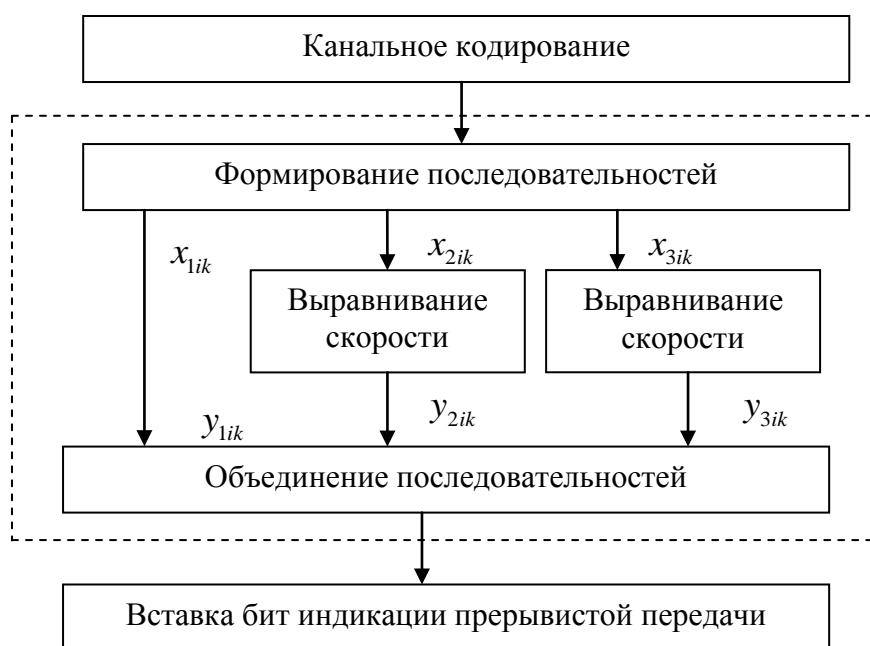


Рис. 3.6. Выравнивание скоростей в нисходящих транспортных каналах, использующих турбокодирование

Для транспортных каналов, использующих турбокодирование, в которых нужно осуществить повторение бит, а также для транспорт-

ных каналов, использующих сверточное кодирование, разбиение общей последовательности бит не проводится (рис. 3.7).

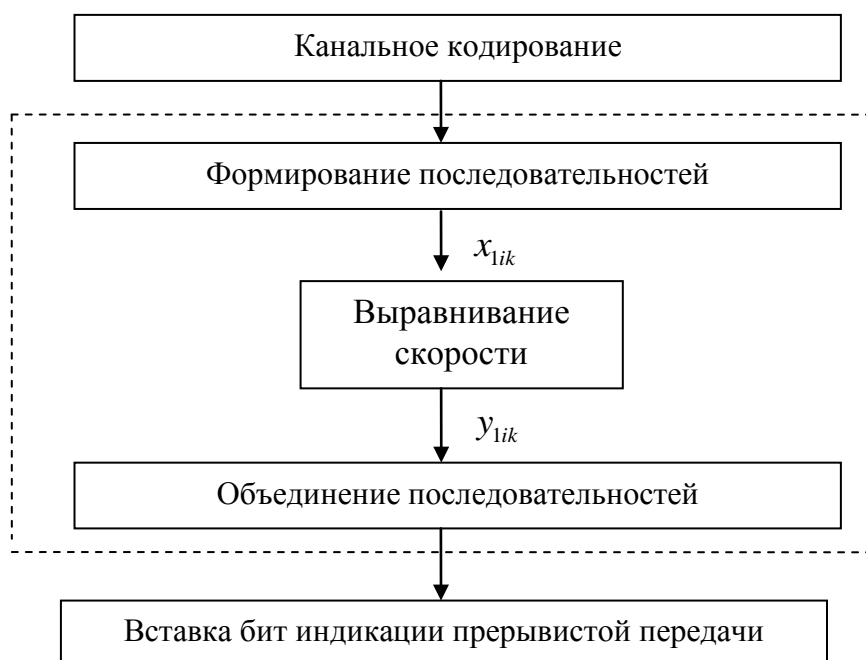


Рис. 3.7. Выравнивание скоростей в нисходящих транспортных каналах, использующих сверточное кодирование или турбокодирование

Пусть после процедуры канального кодирования получена последовательность бит $c_{i1}, c_{i2}, c_{i3}, \dots, c_{iE_i}$, где i — номер транспортного канала, E_i — общее количество бит в последовательности. Отметим, что для транспортных каналов, использующих турбокодирование, E_i кратно трем, а идентификатор транспортного формата l опущен для удобства записи, т. е. $E_i = N_{il}^{\text{ТП}}$. Разбиение общей битовой последовательности на три производится следующим образом:

$$x_{1,i,k} = c_{i,3(k-1)+1}, k = 1, 2, 3, \dots, X_i, X_i = E_i / 3;$$

$$x_{1,i,k} = c_{i,3(k-1)+2}, k = 1, 2, 3, \dots, X_i, X_i = E_i / 3;$$

$$x_{1,i,k} = c_{i,3(k-1)+3}, k = 1, 2, 3, \dots, X_i, X_i = E_i / 3.$$

Для транспортных каналов, использующих сверточное кодирование, или турбокодирование, для которых требуется повторение бит, разбиение общей последовательности на три не производится:

$$x_{1,i,k} = c_{i,k}, k = 1, 2, 3, \dots, X_i, X_i = E_i.$$

После того как вторая и третья последовательности пройдут через процедуру выравнивания скоростей передачи данных, происходит объединение трех последовательностей и исключение элементов, не принадлежащих множеству $\{0, 1\}$, аналогично случаю для восходящих транспортных каналов, в результате чего формируется битовая последовательность $g_{i,k}$.

Приведем теперь сам алгоритм процедуры выравнивания скоростей передачи данных. Допустим, эту процедуру необходимо выполнить над битовой последовательностью $x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{iX_i}$, где i — номер транспортного канала, X_i — количество элементов последовательности. Также будем считать, что определены параметры $e_{ini}, e_{plus}, e_{minus}$.

если требуется повторить биты

$e = e_{ini};$ % Начальное значение ошибки

$m = 1;$ % Номер бита

пока $m \leq X_i$

$e = e - e_{minus};$ % Обновить значение ошибки

если $e \leq 0$ % Если бит с номером m должен быть
% исключен

$x_{i,m} = \delta;$ % δ — любой элемент, отличный от 0 и 1

$e = e + e_{plus};$

все

$m = m + 1;$

кц

иначе % Если требуется повторение бит

$e = e_{ini};$ % Начальное значение ошибки

```

 $m = 1;$            % Номер бита
пока  $m \leq X_i$ 
     $e = e - e_{\text{minus}};$            % Обновить значение ошибки
    если  $e \leq 0$            % Если бит с номером  $m$  должен быть
                           % повторен
        Повторяем бит  $x_{i,m}$ ;
         $e = e + e_{\text{plus}};$ 
    все
     $m = m + 1;$ 

```

кц

все

При повторение бита $x_{i,m}$, сразу же за ним следует поместить такой же бит.

На этом завершим описание процедуры выравнивания скоростей передачи данных и перейдем к следующему шагу, согласно схеме формирования кодированного композитного транспортного канала ССТрС для нисходящих транспортных каналов DCH, BCH, FACH, RCH.

Процедура выравнивания скоростей передачи данных играет важную роль при формировании кодированного композитного транспортного канала ССТрС. В ходе данной процедуры согласуется размер одного или нескольких кодовых блоков транспортных каналов, полученных на этапе канального кодирования, с тем количеством бит, которое может быть передано в физическом канале в одном кадре радиосигнала либо в одном временном интервале.

Данная процедура имеет место при формировании всех транспортных каналов, однако размер кодового блока широковещательного канала BCH всегда фиксирован и имеет размер 540 бит. Данный кодовый блок размещается в двух кадрах первичного физического управляющего физического канала общего пользования Р-ССРСН, и процедура выравнивания скоростей для данного транспортного кана-

ла не вносит никаких изменений в битовую последовательность кодового блока.

3.1.4. ПЕРВИЧНАЯ ВСТАВКА БИТ ИНДИКАЦИИ РЕЖИМА ПРЕРЫВИСТОЙ ПЕРЕДАЧИ

Вставка бит индикации режима прерывистой передачи (Discontinuous Transmission, DTX) имеет место только при формировании нисходящего кодированного композитного транспортного канала CСТrС. Позиции таких бит в кадре радиосигнала зависят от положения этого кадра внутри временного интервала, а также от вида мультиплексирования транспортных каналов в канал CСТrС. Эти биты не передаются в радиосигнале, а указывают на то, что передачу следует прекратить, т. е. выключить передатчик.

Первичная вставка бит индикации режима прерывистой передачи имеет место только в том случае, если используется мультиплексирование транспортных каналов с фиксированным распределением.

Допустим, что после процедуры выравнивания скоростей передачи данных получена битовая последовательность $g_{i1}, g_{i2}, g_{i3}, \dots, g_{iG_i}$, где i — номер транспортного канала, G_i — количество бит, соответствующих одному временному интервалу.

Количество бит, доступных для i -го транспортного канала в одном кадре радиосигнала, обозначим величиной H_i .

Количество элементов последовательности после вставки бит индикации режима прерывистой передачи должно быть кратно H_i :

$$D_i = F_i H_i,$$

где F_i — количество кадров радиосигнала, соответствующих временному интервалу i -го транспортного канала.

После вставки бит индикации режима прерывистой передачи в последовательности будут присутствовать элементы со значением δ , отличным от 0 и 1, которые будут являться командой для выключения передатчика. Обозначим эту последовательность через $h_{i1}, h_{i2}, h_{i3}, \dots, h_{iD_i}$.

Данная последовательность формируется следующим образом:

$$h_{ik} = g_{ik}, k = 1, 2, 3 \dots, G_i;$$

$$h_{ik} = \delta, k = G_i + 1, G_i + 2, G_i + 3 \dots, D_i.$$

3.1.5. ПЕРВИЧНОЕ ПЕРЕМЕЖЕНИЕ И СЕГМЕНТАЦИЯ ПО КАДРАМ

Первичное перемежение является блочным, в ходе этой процедуры происходит перераспределение бит, принадлежащих одному временному интервалу.

Допустим, необходимо перераспределить биты последовательности $h_{i1}, h_{i2}, h_{i3}, \dots, h_{iD_i}$, полученной после процедуры первичной вставки бит индикации режима прерывистой передачи.

Первым шагом первичного перемежения является определение количества столбцов матрицы, которое зависит от величины временного интервала. Требуемое количество столбцов $C1$ в зависимости от величины временного интервала приведено в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Таблицы перестановок в зависимости от величины ТТІ

ТТІ	Количество столбцов $C1$	Таблица перестановок $\langle P1_{C1}(0), P1_{C1}(1), \dots, P1_{C1}(C1-1) \rangle$
10 мс	1	$\langle 0 \rangle$
20 мс	2	$\langle 0, 1 \rangle$
40 мс	4	$\langle 0, 2, 1, 3 \rangle$
80 мс	8	$\langle 0, 4, 2, 6, 1, 5, 3, 7 \rangle$

Далее необходимо вычислить количество строк в матрице:

$$R1 = D_i / C1,$$

после чего следует заполнить матрицу элементами последовательности $h_{i1}, h_{i2}, h_{i3}, \dots, h_{iD_i}$ слева направо, начиная с верхнего левого элемента, заполняя вначале первую строку, затем вторую и т. д.:

$$\begin{bmatrix} h_{i,1} & h_{i,2} & \dots & h_{i,C1} \\ h_{i,C1+1} & h_{i,C1+2} & \dots & h_{i,2C1} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ h_{i,((R1-1)C1+1)} & h_{i,((R1-1)C1+2)} & \dots & h_{i,(R1C1)} \end{bmatrix}.$$

На следующем этапе необходимо переставить столбцы сформированной матрицы в соответствии с таблицей перестановок, которые приводятся в табл. 3.6. Элементы $P1_{C1}(0)$, $P1_{C1}(1)$, ..., $P1_{C1}(C1-1)$ указывают номера столбцов полученной выше матрицы в том порядке, в котором они должны следовать в новой матрице, с переставленными столбцами.

Новая последовательность $q_{i1}, q_{i2}, q_{i3}, \dots, q_{iQ_i}$ считывается из матрицы с переставленными столбцами сверху вниз, начиная с верхнего левого элемента, последовательно проходя по всем столбцам, начиная с первого:

$$\begin{bmatrix} q_{i,1} & q_{i,(R1+1)} & \dots & q_{i,((C1-1) \cdot R1+1)} \\ q_{i,2} & q_{i,(R1+2)} & \dots & q_{i,((C1-1) \cdot R1+2)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ q_{i,R1} & q_{i,(2 \cdot R1)} & \dots & q_{i,(C1 \cdot R1)} \end{bmatrix}.$$

Отметим, что размер полученной последовательности сохраняется:

$$Q_i = D_i = C1R1.$$

После процедуры первичного перемежения следует процедура сегментации по кадрам. Если временной интервал имеет значение больше 10 мс, что соответствует длительности одного кадра радиосигнала, то в ходе процедуры сегментации по кадрам полученная после первичного перемежения последовательность делится на равные по размеру группы. Общее количество групп равно F_i , и каждая такая группа будет передаваться в одном кадре радиосигнала.

Отметим, что при формировании кодированного нисходящего композитного транспортного канала CСТrС перед процедурой сегментации кадра проводится процедура выравнивания скоростей передачи данных, а в случае восходящего канала CСТrС перед ней прово-

дится процедура выравнивания размера кадра. Эти две процедуры — выравнивание размера кадра и выравнивание скоростей передачи данных — обеспечивают выполнение условия кратности размера последовательности и величины F_i .

Результатом процедуры сегментации по кадрам является F_i последовательностей $f_{i1}, f_{i2}, f_{i3}, \dots, f_{iV_i}$, каждая из которых имеет размер V_i и будет передаваться в одном кадре радиосигнала. Величины F_i и V_i связаны соотношением

$$V_i = Q_i / F_i.$$

Биты последовательности $f_{i1}, f_{i2}, f_{i3}, \dots, f_{iV_i}$ формируются следующим образом:

$$f_{i,n_i,k} = q_{i,(n_i-1)V_i+k}, \quad n_i = 1, 2, \dots, F_i, \quad k = 1, 2, \dots, V_i,$$

где n_i — номер кадра радиосигнала внутри временного интервала, F_i — количество кадров радиосигнала в одном временном интервале, V_i — количество бит i -го транспортного канала, передаваемых в одном кадре радиосигнала.

3.1.6. МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ КАНАЛОВ, ВТОРИЧНАЯ ВСТАВКА БИТ ИНДИКАЦИИ РЕЖИМА ПРЕРЫВИСТОЙ ПЕРЕДАЧИ

Мультиплексирование — это объединение трафика различных транспортных каналов в единый групповой поток данных, из которого далее будет формироваться кодированный композитный транспортный канал. Обозначим за I общее количество мультиплексируемых транспортных каналов.

Результатом процедуры мультиплексирования является последовательность $s_1, s_2, s_3, \dots, s_S$, содержащая данные всех транспортных каналов. Размер данной последовательности равен

$$S = \sum_i V_i.$$

Общий поток данных формируется следующим образом:

$$s_k = f_{1k}, \quad k = 1, 2, \dots, V_1;$$

$$\begin{aligned}
s_k &= f_{2,(k-V_1)}, \quad k = V_1 + 1, V_1 + 2, \dots, V_1 + V_2; \\
s_k &= f_{3,(k-(V_1+V_2))}, \quad k = (V_1 + V_2) + 1, (V_1 + V_2) + 2, \dots, V_1 + V_2 + V_3; \\
&\dots \\
s_k &= f_{I,(k-(V_1+V_2+\dots+V_{I-1}))}, \quad k = (V_1 + V_2 + \dots + V_{I-1}) + 1, \dots, (V_1 + V_2 + \dots + V_{I-1}) + V_I.
\end{aligned}$$

После формирования общего потока данных необходимо вторично дополнить его битами индикации режима прерывистой передачи.

Пусть в одном кадре радиосигнала доступно P физических каналов. Тогда каждый физический канал в одном кадре радиосигнала должен поместить в себе R бит, включая биты индикации режима прерывистой передачи. Учитывая, что каждый кадр радиосигнала имеет в своем составе 15 слотов, величину R можно представить следующим образом:

$$R = \frac{N_{\text{data},*}}{P} = 15(N_{\text{data1}} + N_{\text{data2}}),$$

где N_{data1} — количество бит в первом поле данных слота, N_{data2} — количество бит во втором поле данных слота.

Последовательность, полученную после процедуры вторичной вставки бит индикации режима прерывистой передачи обозначим как $w_1, w_2, w_3, \dots, w_{P \cdot R}$. Элементы данной последовательности формируются следующим образом:

$$\begin{aligned}
w_k &= s_k, \quad k = 1, 2, \dots, S; \\
w_k &= \delta, \quad k = S + 1, S + 2, \dots, P \cdot R;
\end{aligned}$$

где δ — элемент, отличный от 0 и 1, служащий командой для выключения передатчика.

3.1.7. СЕГМЕНТАЦИЯ ПО ФИЗИЧЕСКИМ КАНАЛАМ, ВТОРИЧНОЕ ПЕРЕМЕЖЕНИЕ

Следующим этапом формирования кодированного композитного транспортного канала ССТрС является сегментация последовательности по физическим каналам. Эта процедура имеет место, если для

размещения последовательности $w_1, w_2, w_3, \dots, w_{P \cdot R}$ в кадре радиосигнала требуется больше одного физического канала.

Результатом этой процедуры является P последовательностей, каждая из которых будет размещаться в своем физическом канале. Данные последовательности формируются следующим образом.

Для первого физического канала:

$$u_{1,k} = w_k, \quad k = 1, 2, 3, \dots, U.$$

Для второго физического канала:

$$u_{2,k} = w_{k+U}, \quad k = 1, 2, 3, \dots, U.$$

Для P -го физического канала:

$$u_{P,k} = w_{k+(P-1)U}, \quad k = 1, 2, 3, \dots, U,$$

где U — количество бит, которые могут быть размещены в одном физическом канале одного кадра радиосигнала.

Вторичное перемежение для рассматриваемой группы транспортных каналов (DCH, BCH, FACH, RCH) также является блочным, в ходе этой процедуры перераспределяются между собой биты, которые будут размещаться в одном физическом канале одного кадра радиосигнала.

Количество столбцов матрицы в этом случае фиксировано и равно $C2 = 30$.

Количество строк определяется как минимальное целое число, удовлетворяющее условию:

$$U \leq R2C2.$$

Далее, полученная на предыдущем этапе последовательность $u_{p,1}, u_{p,2}, u_{p,3}, \dots, u_{p,U}$ записывается в матрицу начиная с левого верхнего элемента, последовательно заполняя строки, сначала первую, затем вторую и т. д.:

$$\begin{bmatrix} u_{p,1} & u_{p,2} & \dots & u_{p,C2} \\ u_{p,C2+1} & u_{p,C2+2} & \dots & u_{p,2C2} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ u_{p,((R2-1)C2+1)} & u_{p,((R2-1)C2+2)} & \dots & u_{p,(R2C2)} \end{bmatrix}.$$

Если оказывается так, что $U < R2C2$, то на место элементов с номерами $U + 1, U + 2, \dots, R2C2$ помещаются случайные “биты заполнения”.

Столбцы матрицы переставляются в соответствии с последовательностью, приведенной в табл. 3.7, причем элементы $P1_{C1}(0), P1_{C1}(1), \dots, P1_{C1}(C2 - 1)$ указывают номера столбцов исходной матрицы в том порядке, в котором они должны стоять в новой матрице, с переставленными столбцами.

Таблица 3.7

Таблица перестановок столбцов при вторичном перемежении

Количество столбцов $C2$	Таблица перестановок $\langle P2(0), P2(1), \dots, P2(C2 - 1) \rangle$
30	$\langle 0, 20, 10, 5, 15, 25, 3, 13, 23, 8, 18, 28, 1, 11, 21, 6, 16, 26, 4, 14, 24, 19, 9, 29, 12, 2, 7, 22, 27, 17 \rangle$

Новая последовательность $v_{p1}, v_{p2}, v_{p3}, \dots, v_{pU}$ считывается из матрицы с переставленными столбцами сверху вниз, начиная с верхнего левого элемента, последовательно проходя по всем столбцам, начиная с первого, причем добавленные на этапе формирования исходной матрицы “биты заполнения” должны быть исключены:

$$\begin{bmatrix} v_{p,1} & v_{p,(R2+1)} & \dots & v_{p,((C2-1) \cdot R2+1)} \\ v_{p,2} & v_{p,(R2+2)} & \dots & v_{p,((C2-1) \cdot R2+2)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ v_{p,R2} & v_{p,(2 \cdot R2)} & \dots & v_{p,(C2 \cdot R2)} \end{bmatrix}.$$

3.2. ТИПЫ КОДИРОВАННЫХ КОМПОЗИТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КАНАЛОВ

В данном разделе будут рассмотрены основные типы кодированных композитных транспортных каналов CSTrC, а также ограниче-

ния, которые накладываются на транспортные каналы при формировании каналов CCTrC.

Восходящий выделенный канал (DCH)

За I , по-прежнему, будем обозначать количество транспортных каналов в кодированном композитном транспортном канале. Количество транспортных блоков во временном интервале i -го транспортного канала обозначим M_i , а максимальное количество выделенных физических каналов данных DPDCH будем обозначать P .

Перечисленные выше параметры для кодированного композитного транспортного канала, включающего в себя один или несколько восходящих выделенных каналов DCH, определяются возможностями ПТ.

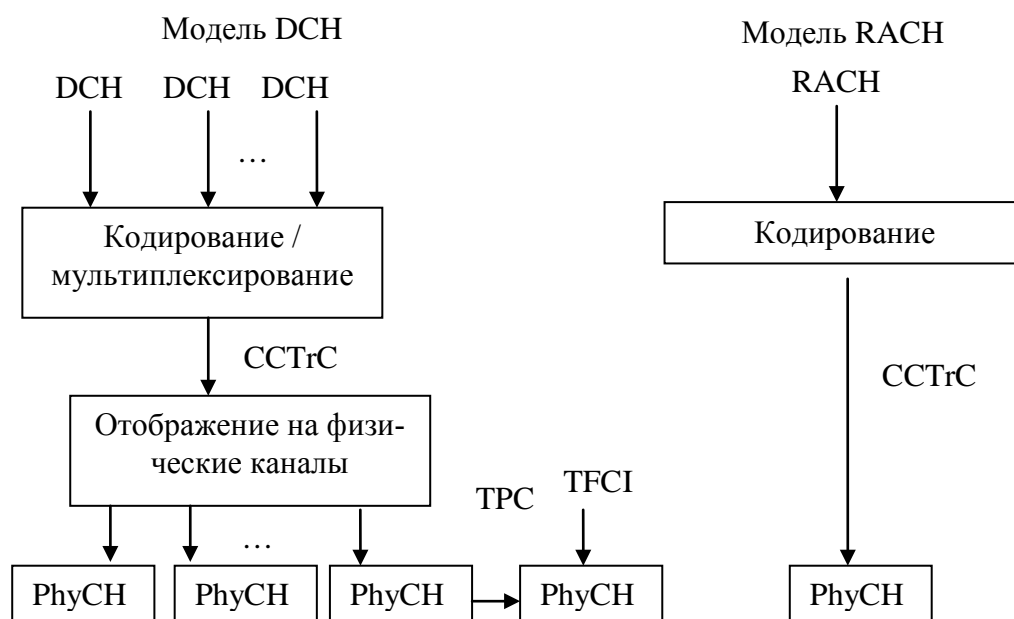


Рис. 3.8. Модели восходящих каналов DCH, RACH

Восходящий канал случайного доступа (RACH)

При формировании кодированного композитного транспортного канала RACH CCTrC, содержащего в себе канал случайного доступа, накладываются следующие ограничения.

- Кодированный композитный транспортный канал RACH CCTrS может содержать только один транспортный канал. Таким образом, $I = 1$, $s_k = f_{1k}$, $S = V_1$.

- Количество транспортных блоков M_1 в одном временном интервале канала случайного доступа определяется возможностями ПТ.

- Временной интервал может принимать значения либо 10 мс, либо 20 мс.

- Параметр RM_1 в данном случае не определяется на более высоких уровнях, его значение можно принять любым. Так как кодированный композитный транспортный канал RACH CCTrS содержит в себе только один транспортный канал RACH, согласовывать размеры кодовых блоков мультиплексируемых транспортных каналов, имеющих разные приоритеты, не требуется.

- Для передачи данных канала случайного доступа может использоваться только один физический канал PRACH. Таким образом, $P = 1$, $u_{1k} = s_k$, $U = S$.

Нисходящий выделенный канал (DCH)

Как и в случае восходящего выделенного канала DCH параметры I , M_i , P определяются возможностями ПТ.

Расширенный выделенный канал (E-DCH)

- Кодированный композитный транспортный канал E-DCH CCTrS может содержать только один канал E-DCH, так что $I = 1$.

- Временной интервал может содержать только один транспортный блок, т. е. $M_1 = 1$.

- Временной интервал может принимать значения 2 мс, либо 10 мс.

- Максимальное количество используемых расширенных выделенных физических каналов E-DPDCH определяется возможностями ПТ.

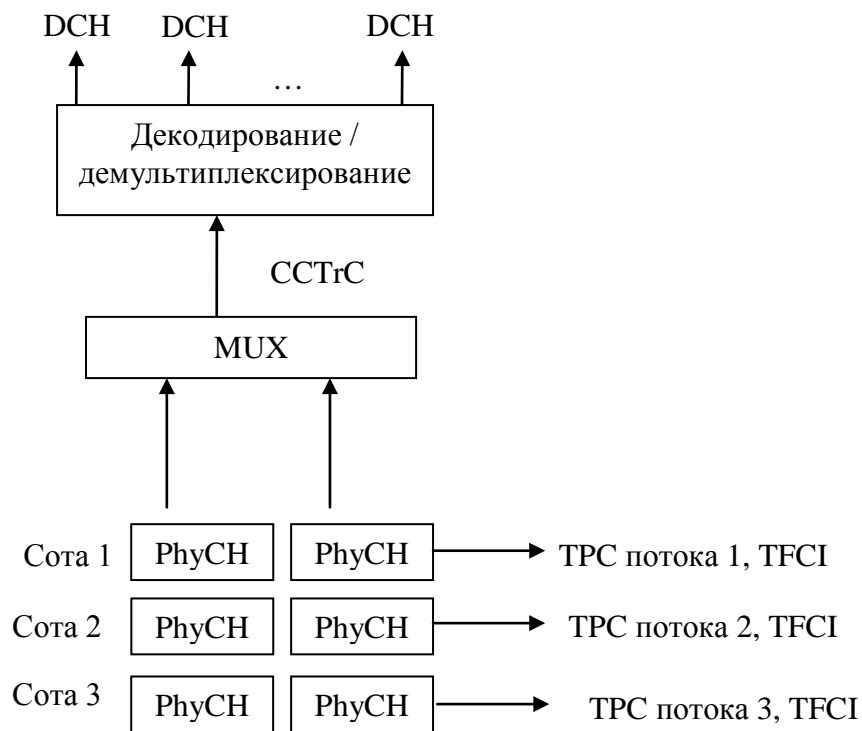


Рис. 3.9. Модель нисходящих каналов DCH

Широковещательный канал (BSCH)

- Кодированный композитный транспортный канал BSCH CCTrC может содержать только один транспортный канал, так что $I = 1$, $s_k = f_{1k}$, $S = V_1$.

- Временной интервал может содержать только один транспортный блок, т. е. $M_1 = 1$.

- Как и в случае восходящего физического канала случайного доступа PRACH, в качестве параметра RM_1 можно использовать любое значение, так как в кодированный композитный транспортный канал CCTrC мультиплексируется только один широковещательный канал BSCH.

- Для передачи данных широковещательного канала может использоваться только один физический канал P-CCPCH. Таким образом, $P = 1$.

Канал прямого доступа (FACH) и канал вызова (PCH)

- Параметры I , M_i , P определяются возможностями ПТ.

- Временной интервал может иметь значение только 10 мс.
- Данные каналов FACH CCTrC, PCH CCTrC могут передаваться только в одном физическом канале S-CCPCH, т. е. $P = 1$.

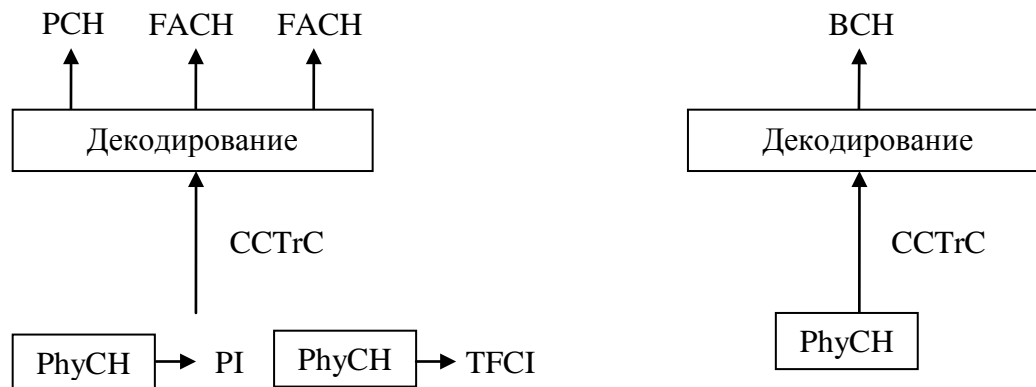


Рис. 3.10. Модели нисходящих каналов FACH, PCH, BCH

Модели восходящих и нисходящих кодированных транспортных композитных каналов представлены на рис. 3.8–3.10.

3.3. МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ КАНАЛОВ

При мультиплексировании транспортных каналов в один кодированный композитный транспортный канал должны соблюдаться пять правил.

1. Мультиплексируемые транспортные каналы должны быть согласованы по времени. Если в какой-то момент в канал CCTrC должны быть добавлены новые транспортные каналы или если необходимо удалить некоторые транспортные каналы из канала CCTrC, то такие изменения могут вступать в силу только в начале нового кадра радиосигнала, номер которого CFN (Connection Frame Number) удовлетворяет соотношению

$$CFN \bmod F_{\max} = 0,$$

где F_{\max} — количество кадров радиосигнала в одном временном интервале, максимальное среди всех транспортных каналов, входящих в состав CCTrC, в числе которых находятся и те каналы, которые

должны быть удалены или добавлены; CFN — это номер первого кадра радиосигнала, содержащего кодированный композитный транспортный канал с измененной конфигурацией (с новым индикатором комбинации транспортного формата).

Аналогично, при добавлении i -го транспортного канала в канал CСТrC временной интервал транспортного канала может начинаться только с кадров радиосигнала с номером, удовлетворяющим условию:

$$CFN \bmod F_i = 0.$$

2. Кодированные композитные транспортные каналы CСТrC различного типа не могут отображаться на один физический канал.

3. Кодированный композитный транспортный канал CСТrC может быть размещен в одном или нескольких физических каналах. Эти физические каналы должны иметь одинаковый коэффициент расширения SF, а также должны использовать одинаковую схему модуляции. Исключение составляет случай четырех расширенных выделенных физических каналов данных E-DPDCH, в котором два канала используют коэффициент расширения SF = 2, а другие два — коэффициент расширения SF = 4.

4. Выделенные транспортные каналы и транспортные каналы общего пользования не могут мультиплексироваться в один кодированный композитный транспортный канал.

5. В случае мультиплексирования транспортных каналов общего пользования, только канал прямого доступа FACH и канал вызова RACH могут размещаться в одном канале CСТrC.

Таким образом, кодированный композитный транспортный канал CСТrC может быть двух типов:

- *выделенный CСТrC*, например, полученный в результате кодирования и мультиплексирования одного или нескольких выделенных каналов DCH, либо в результате кодирования одного расширенного выделенного канала E-DCH;
- *CСТrC общего пользования*, полученный, в результате кодирования канала случайного доступа RACH, либо в результате кодирования

ния и мультиплексирования канала прямого доступа FACH и канала вызова RCH, либо, наконец, в результате кодирования широковещательного канала BCH.

Далее перечислим возможные режимы работы ПТ с кодированными композитными транспортными каналами CСТrС.

Восходящие каналы

В один и тот же момент времени ПТ может вести передачу:

- одного канала CСТrС выделенного типа;
- двух каналов CСТrС выделенного типа, один из которых несет в себе выделенные каналы DCH, а другой — расширенный выделенный канал E-DCH.
- одного канала CСТrС общего пользования.

Нисходящие каналы

Разрешенные комбинации выделенных каналов CСТrС и каналов CСТrС общего пользования определяются возможностями ПТ.

3.4. ОТОБРАЖЕНИЕ НА ФИЗИЧЕСКИЕ КАНАЛЫ

В этом разделе будут рассмотрены различные типы физических каналов, которые уже упоминались в предыдущих разделах, а также структуры кадров радиосигнала, принадлежащих этим физическим каналам. Данные вопросы описаны в спецификации 25.211.

Как уже говорилось, передача данных в системе UMTS ведется кадрами, каждый из которых имеет длительность 10 мс и делится на 15 равновеликих слотов. Каждый слот имеет длительность 2560 чипов. Ограничимся рассмотрением систем, работающих в режиме частотного дуплекса (FDD), скорость следования чипов в таких системах имеет значение 3,84 Мчип/с.

В системе UMTS используется кодовое разделение каналов. Каждый физический канал определяется каналообразующим кодом, который, в свою очередь, определяется своим номером и длиной (коэффициентом расширения) с помощью кодового дерева, представленного на рис. 3.11.

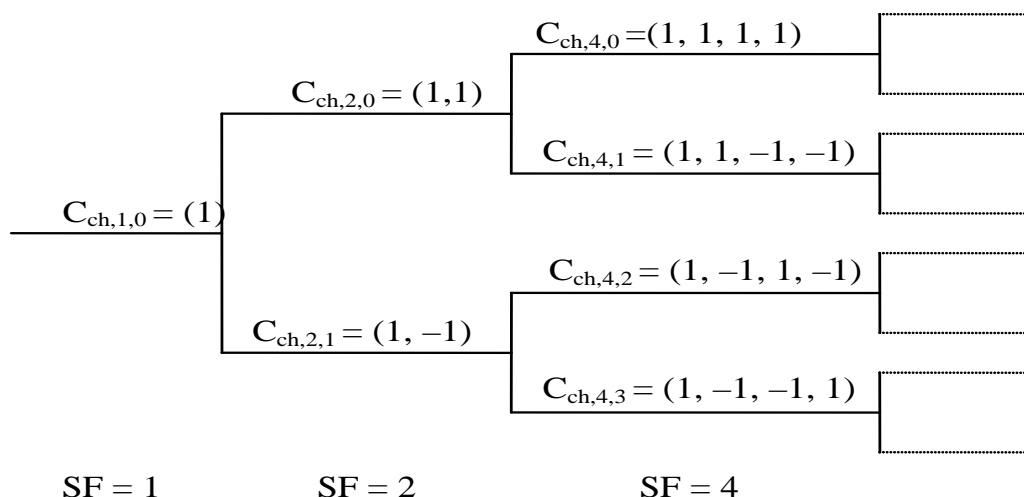


Рис. 3.11. Кодовое дерево ортогональных кодов с различными коэффициентами расширения

Коэффициент расширения показывает, сколько последовательных чипов будут соответствовать одному символу данных; например, если он имеет значение $SF = 256$, то один символ будет представлен последовательностью из 256 чипов, а в одном слоте будет содержаться 10 информационных символов. Таким образом, коэффициент расширения будет определять техническую скорость передачи данных в физическом канале. Очевидно, что большему коэффициенту расширения соответствует меньшая скорость передачи данных, однако больший коэффициент расширения обеспечивает большее количество физических каналов, так как с увеличением его величины увеличивается и число ортогональных каналообразующих кодов.

Скорость передачи данных также зависит от вида манипуляции, т. е. от того, сколько бит несет каждый информационный символ. В дальнейшем будем уточнять, какие виды манипуляции в каких каналах используются, однако договоримся, что если это неговорено, то одному информационному символу соответствует один бит.

3.4.1. ВОСХОДЯЩИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ КАНАЛЫ

Рассмотрим вначале выделенные физические каналы.

Выделенные физические каналы

К выделенным физическим каналам относятся выделенный физический канал управления (DPCCH) и выделенный физический канал передачи данных (DPDCH). Эти каналы всегда передаются совместно. Структура слотов восходящих каналов DPCCH, DPDCH показана на рис. 3.12.

Количество бит, передаваемых в одном слоте канала DPDCH, определяется параметром k , который определяет нужный коэффициент расширения:

$$SF = 256/2^k.$$

Коэффициент расширения для восходящего физического канала DPDCH может принимать значения от 256 до 4, кратные числу 2, соответственно величине параметра $k = 0 \dots 6$.

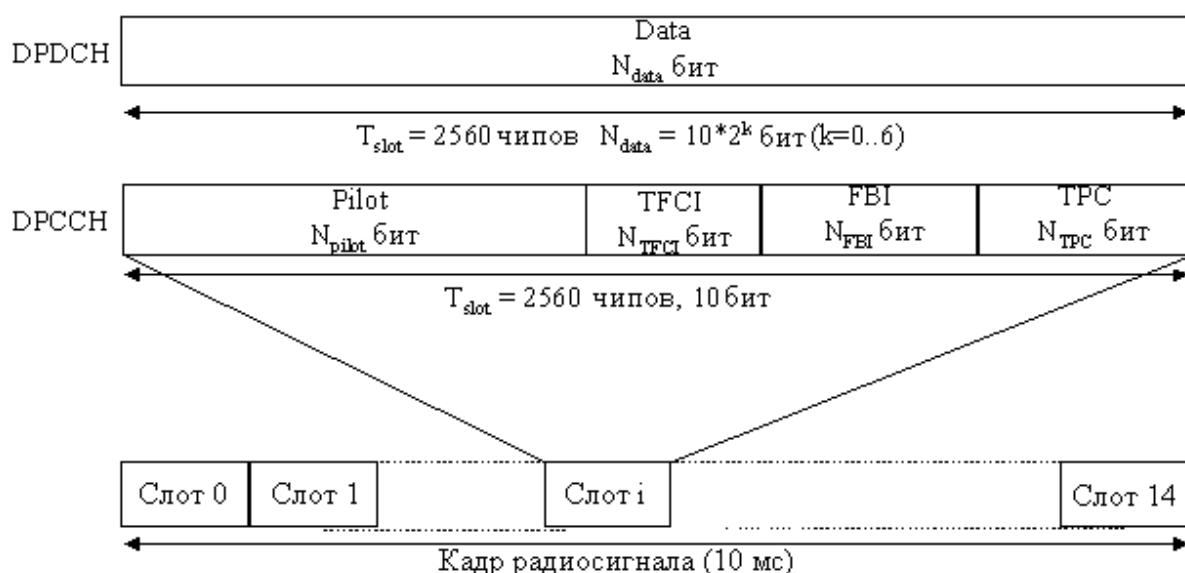


Рис. 3.12. Структура слотов физических каналов DPCCH, DPDCH

Коэффициент расширения для восходящего физического канала управления DPCCH всегда фиксирован и имеет значение $SF = 256$, таким образом, в одном слоте будут передаваться 10 бит канала DPCCH.

Возможные конфигурации восходящего физического канала данных DPDCH приведены в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Возможные конфигурации канала DPDCH

Тип слота	Скорость передачи данных (Кбит/с)	SF	Количество бит в кадре	Количество бит в слоте	Размер поля данных N_{data} (бит)
0	15	256	150	10	10
1	30	128	300	20	20
2	60	64	600	40	40
3	120	32	1200	80	80
4	240	16	2400	160	160
5	480	8	4800	320	320
6	960	4	9600	640	640

Слот восходящего физического канала управления DPCCN содержит следующие поля:

- поле Pilot, содержащее пилотные символы, которые заранее известны, и с помощью которых на приемной стороне будет оцениваться комплексный коэффициент передаточной характеристики;
- индикатор комбинации транспортного формата TFCI;
- поле обратной связи FBI (Feedback Information);
- команда управления мощностью передатчика TPC (Transmit Power Control).

Возможные конфигурации выделенного восходящего физического канала управления DPCCN приведены в табл. 3.9.

Буквами в данной таблице помечены слоты канала DPCCN, имеющие отношение к режимам работы со сжатием. Выбор используемого типа слота зависит от того, требуется ли передавать индикатор комбинации транспортного формата TFCI, что имеет место, когда требуется обеспечить работу нескольких сервисов одновременно, а также от количества слотов, передаваемых в одном кадре радиосигнала, если используется режим работы со сжатием.

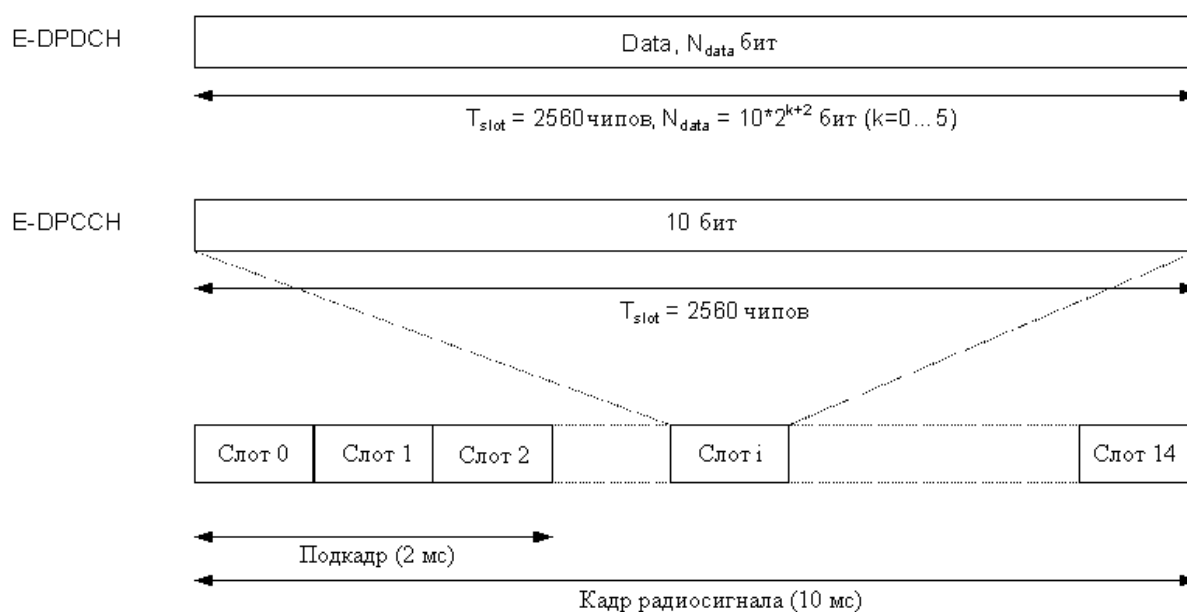
Таблица 3.9

Возможные конфигурации канала DPCCN

Тип слота	Скорость передачи данных (Кбит/с)	SF	Количество бит в слоте	N_{pilot}	N_{TPC}	N_{TFCI}	N_{FBI}	Количество слотов в кадре
0	15	256	10	6	2	2	0	15
0A	15	256	10	5	2	3	0	10–14
0B	15	256	10	4	2	4	0	8–9
1	15	256	10	8	2	0	0	8–15
2	15	256	10	5	2	2	1	15
2A	15	256	10	4	2	3	1	10–14
2B	15	256	10	3	2	4	1	8–9
3	15	256	10	7	2	0	1	8–15

Содержание поля Pilot известно: оно определяется спецификацией 25.211 и приведено в табл. П.1 (Приложение).

Обратимся теперь к расширенным выделенным физическим каналам.

**Рис. 3.13. Слоты каналов E-DPCCH, E-DPDCH**

Расширенные выделенные физические каналы

Физический канал E-DPDCH используется для передачи расширенного выделенного канала E-DCH. Одному ПТ может выделяться один или несколько транспортных каналов E-DCH. Слоты этих каналов представлены на рис. 3.13.

Для канала управления E-DPCCH коэффициент расширения всегда имеет значение 256, таким образом, один слот канала E-DPCCH всегда будет нести 10 бит данных.

Для канала данных E-DPDCH коэффициент расширения может принимать различные значения. Возможные конфигурации слота канала E-DPDCH приведены в табл. 3.10.

Таблица 3.10

Возможные конфигурации канала E-DPDCH

Тип слота	Скорость передачи данных (Кбит/с)	SF	Бит в кадре	Бит в под-кадре	Бит в слоте N_{data}
0	60	64	600	120	40
1	120	32	1200	240	80
2	240	16	2400	480	160
3	480	8	4800	960	320
4	960	4	9600	1920	640
5	1920	2	19200	3840	1280

Рассмотрим отображение физического канала случайного доступа (P-RACH).

Физический канал случайного доступа

Канал P-RACH, как известно, переносит данные транспортного канала случайного доступа RACH.

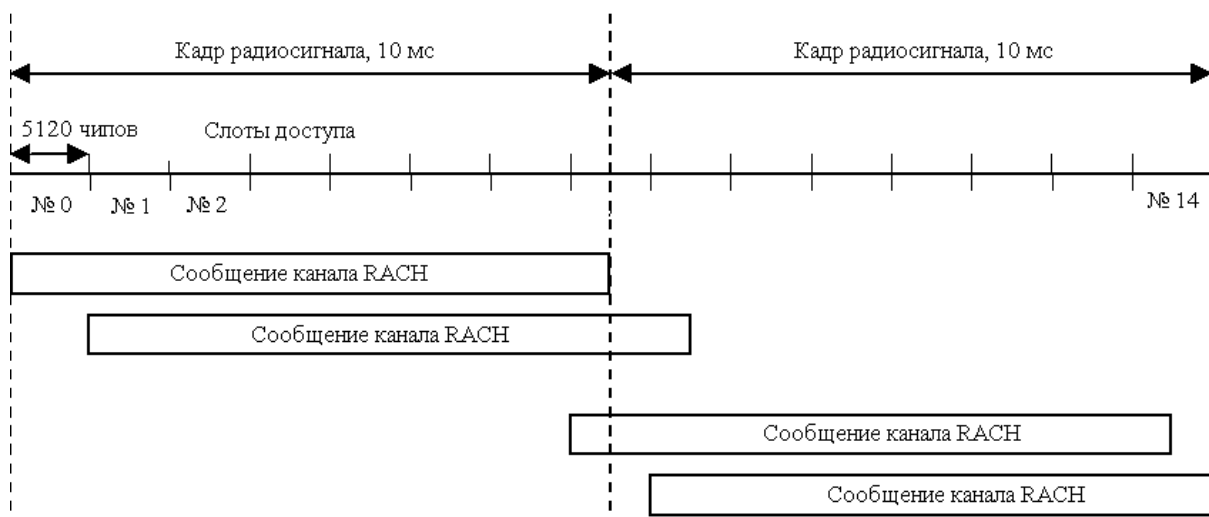


Рис. 3.14. Передача данных канала RACH

При передаче данных канала случайного доступа RACH используется метод доступа к среде передачи ALOHA [3]. ПТ может начать передачу данных канала случайного доступа в любой момент времени, но этот момент времени обязательно должен совпадать с началом слотов доступа, что показано на рис. 3.14. Каждый слот доступа имеет длительность 5120 чипов, таким образом, 15 последовательных слотов будут иметь длительность 20 мс, что соответствует двум кадрам радиосигнала.

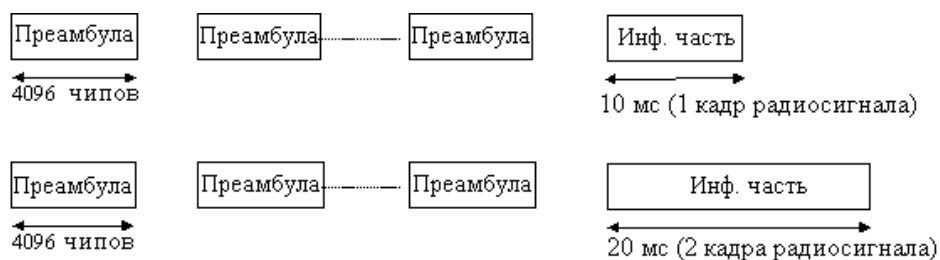


Рис. 3.15. Структура сообщения канала RACH

Каждое сообщение канала RACH содержит одну или несколько преамбул, каждая из которых имеет длину 4096 чипов, и информационную часть, длительностью 10 или 20 мс (рис. 3.15).

Преамбула представляет собой 256-кратное повторение определенной ключевой последовательности длиной 16 чипов. Всего существует 16 различных ключевых последовательностей (см. далее).

Информационная часть RACH-сообщения длительностью 10 мс представляет собой 15 последовательных слотов, структура которых представлена на рис. 3.16. Если информационная часть должна иметь длительность 20 мс, то она строится из 30 последовательных слотов.

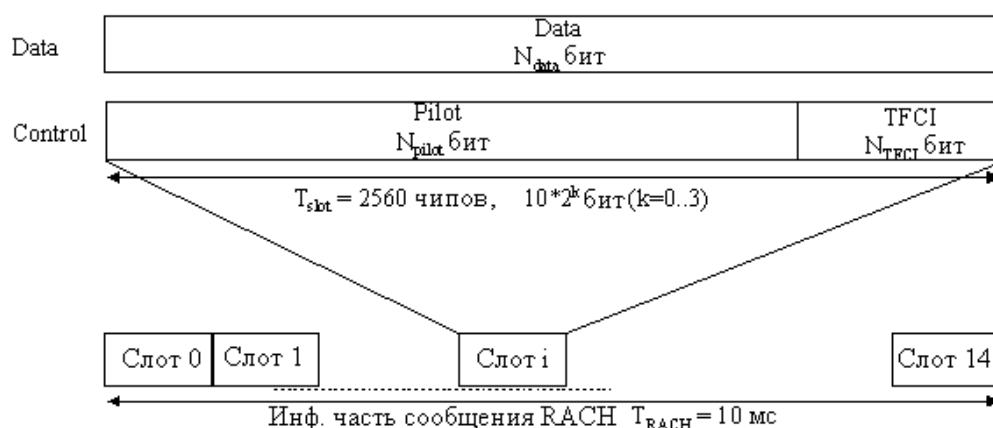


Рис. 3.16. Структура слота канала RACH

В одном слоте одновременно передаются информационные данные и данные управления, к которым относятся пилотные биты и индикатор комбинации транспортного формата. Данные управления всегда передаются с коэффициентом расширения 256, каждый слот несет 8 пилотных бит и 2 бита индикатора комбинации транспортного формата TFCI. Слот информационных бит может иметь различные конфигурации, которые представлены в табл. 3.11.

Таблица 3.11

Структура информационных слотов канала RACH

Тип слота	Скорость передачи данных, Кбит/с	SF	Битов в кадре	Битов в слоте	N_{data} , бит
0	15	256	150	10	10
1	30	128	300	20	20
2	60	64	600	40	40
3	120	32	1200	80	80

Последовательности пилотных бит приводятся в табл. П2 приложения к данному пособию.

3.4.2. НИСХОДЯЩИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ КАНАЛЫ

Рассмотрим отображение нисходящих выделенных физических каналов, к которым относятся выделенный физический канал управления DPCCN и выделенный физический канал передачи данных DPDCH.

Выделенные физические каналы

Данные физические каналы также передаются совместно, однако, в отличие от восходящих выделенных каналов, эти каналы используют один каналообразующий код и разделены по времени. Структура слотов нисходящих выделенных физических каналов представлена на рис. 3.17.

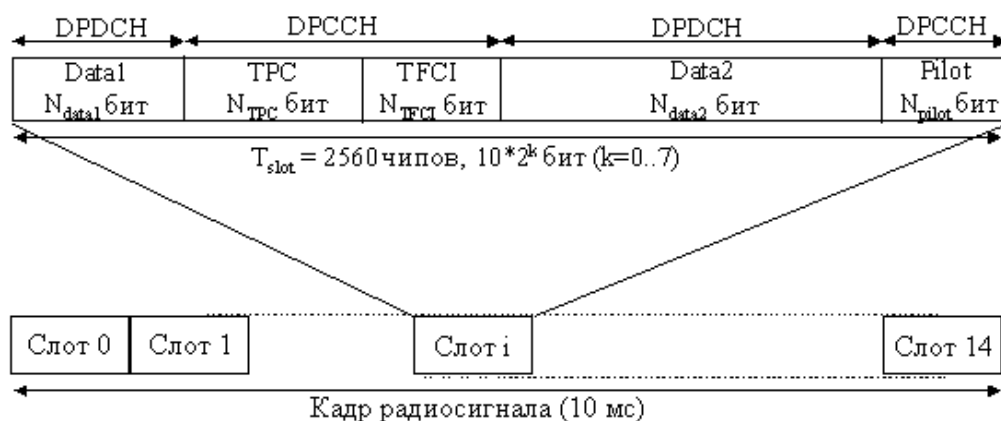


Рис. 3.17. Структура слота нисходящих выделенных каналов

Параметр k на рисунке определяет используемый коэффициент расширения и связан с ним соотношением $SF = 512/2^k$.

Выделенный физический канал управления DPCCN содержит поле управления мощностью передатчика TPC, индикатор комбинации транспортного формата TFCI и поле пилотных символов Pilot. Размеры этих полей различны для различных конфигураций слотов, которые приведены в табл. 3.12. Слоты, имеющие отношение к режиму работы со сжатием, помечены буквами. Отметим также, что для раз-

личных конфигураций слотов скорость передачи данных и скорость передачи символов могут различаться.

Таблица 3.12

Структура слотов нисходящих выделенных каналов

Тип слота	Тип слота	Тип слота	Тип слота	Тип слота	Тип слота		Тип слота			Тип слота
					N_{data1}	N_{data2}	N_{TPC}	N_{TFCI}	N_{Pilot}	
0	15	7.5	512	10	0	4	2	0	4	15
0A	15	7.5	512	10	0	4	2	0	4	8–14
0B	30	15	256	20	0	8	4	0	8	8–14
1	15	7.5	512	10	0	2	2	2	4	15
1B	30	15	256	20	0	4	4	4	8	8–14
2	30	15	256	20	2	14	2	0	2	15
2A	30	15	256	20	2	14	2	0	2	8–14
2B	60	30	128	40	4	28	4	0	4	8–14
3	30	15	256	20	2	12	2	2	2	15
3A	30	15	256	20	2	10	2	4	2	8–14
3B	60	30	128	40	4	24	4	4	4	8–14
4	30	15	256	20	2	12	2	0	4	15
4A	30	15	256	20	2	12	2	0	4	8–14
4B	60	30	128	40	4	24	4	0	8	8–14
5	30	15	256	20	2	10	2	2	4	15
5A	30	15	256	20	2	8	2	4	4	8–14
5B	60	30	128	40	4	20	4	4	8	8–14
6	30	15	256	20	2	8	2	0	8	15
6A	30	15	256	20	2	8	2	0	8	8–14
6B	60	30	128	40	4	16	4	0	16	8–14
7	30	15	256	20	2	6	2	2	8	15
7A	30	15	256	20	2	4	2	4	8	8–14
7B	60	30	128	40	4	12	4	4	16	8–14
8	60	30	128	40	6	28	2	0	4	15

Окончание таблицы 3.12

Тип слота	Тип слота	Тип слота	Тип слота	Тип слота	Тип слота		Тип слота			Тип слота
8A	60	30	128	40	6	28	2	0	4	8–14
8B	120	60	64	80	12	56	4	0	8	8–14
9	60	30	128	40	6	26	2	2	4	15
9A	60	30	128	40	6	24	2	4	4	8–14
9B	120	60	64	80	12	52	4	4	8	8–14
10	60	30	128	40	6	24	2	0	8	15
10A	60	30	128	40	6	24	2	0	8	8–14
10B	120	60	64	80	12	48	4	0	16	8–14
11	60	30	128	40	6	22	2	2	8	15
11A	60	30	128	40	6	20	2	4	8	8–14
11B	120	60	64	80	12	44	4	4	16	8–14
12	120	60	64	80	12	48	4	8*	8	15
12A	120	60	64	80	12	40	4	16*	8	8–14
12B	240	120	32	160	24	96	8	16*	16	8–14
13	240	120	32	160	28	112	4	8*	8	15
13A	240	120	32	160	28	104	4	16*	8	8–14
13B	480	240	16	320	56	224	8	16*	16	8–14
14	480	240	16	320	56	232	8	8*	16	15
14A	480	240	16	320	56	224	8	16*	16	8–14
14B	960	480	8	640	112	464	16	16*	32	8–14
15	960	480	8	640	120	488	8	8*	16	15
15A	960	480	8	640	120	480	8	16*	16	8–14
15B	1920	960	4	1280	240	976	16	16*	32	8–14
16	1920	960	4	1280	248	1000	8	8*	16	15
16A	1920	960	4	1280	248	992	8	16*	16	8–14

Размер поля TFCl, помеченный в данной таблице звездочкой, говорит о том, что поле должно содержать биты индикации режима прерывистой передачи, если передача индикатора комбинации транспортного формата не требуется.

Содержание полей Pilot приводится в табл. П.3 (Приложение).

Пилотный канал общего пользования

Рассмотрим пилотный канал общего пользования CPICH. В этом физическом нисходящем канале передается фиксированная последовательность информационных символов, а именно: каждый информационный символ имеет значение $1 + j$. Принимая символы пилотного канала, ПТ оценивает комплексный коэффициент передаточной характеристики канала и, полагая что информационные символы, передаваемые одновременно, искажаются одинаково, вычисляет первоначальные значения информационных символов, устраняя влияние передаточной характеристики канала.

Данные пилотного канала всегда кодируются с коэффициентом расширения $SF = 256$; таким образом, канал имеет фиксированную скорость передачи данных 30 Кбит/с. Канал кодируется каналобразующим кодом $C_{ch,256,0}$ с нулевым номером.

Структура слота пилотного канала общего пользования приведена на рис. 3.18.



Рис. 3.18. Структура слота канала CPICH

Первичный управляющий физический канал общего пользования

Первичный управляющий физический канал общего пользования P-CCPCH всегда формируется с коэффициентом расширения $SF = 256$ и передает данные широковещательного канала BCH со скоростью

30 Кбит/с. Данный физический канал кодируется каналообразующим кодом $C_{ch,256,1}$.

Структура слота приведена на рис. 3.19; каждый слот несет 18 информационных бит, а в течение первых 256 чипов каждого слота передатчик выключен. В эти интервалы времени идет передача данных в первичном и вторичном каналах синхронизации. В слоте присутствует только поле данных.



Рис. 3.19. Структура слота канала P-ССРСН

Вторичный управляющий физический канал общего пользования

Вторичный управляющий физический канал общего пользования S-ССРСН используется для передачи данных транспортного канала прямого доступа FACH и канала вызова RACH, причем эти транспортные каналы могут передаваться как в одном физическом канале S-ССРСН, так и в различных.

Данный физический канал может включать индикатор комбинации транспортного формата TFCI или нет. Структура слота приведена на рис. 3.20, а возможные его конфигурации — в табл. 3.13. Отметим, что скорость передачи данных и скорость передачи символов для данного физического канала могут различаться, а для кодирования могут использоваться различные коэффициенты расширения.

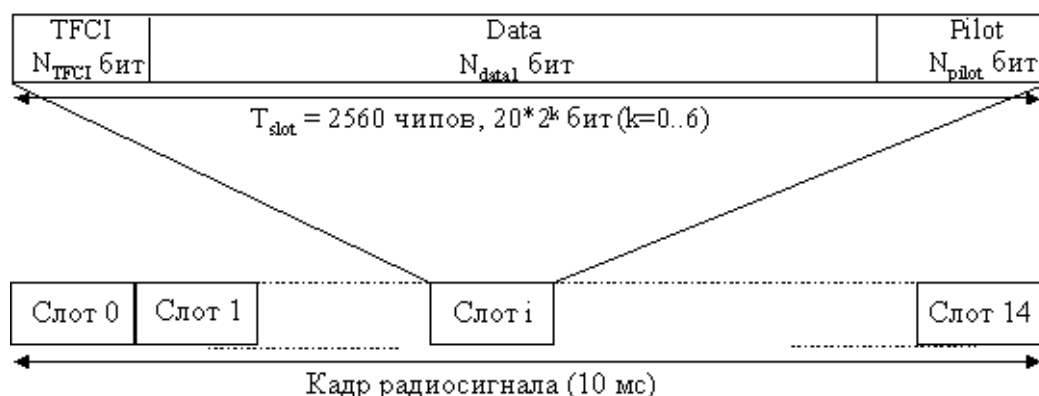


Рис. 3.20. Структура слота канала S-CCPCH

Размер поля TFCI, помеченный звездочкой, означает, что если передача TFCI не требуется, то поле должно содержать биты прерывистой передачи.

Содержание полей Pilot приводится в табл. П.4 (Приложение).

Таблица 3.13

Возможные конфигурации слотов канала S-CCPCH

Тип слота	Скорость передачи данных, Кбит/с	Скорость передачи символов, Ксимв/с	SF	Бит в кадре	Бит в слоте	N _{data1}	N _{pilot}	N _{TFCI}
0	30	15	256	300	20	20	0	0
1	30	15	256	300	20	12	8	0
2	30	15	256	300	20	18	0	2
3	30	15	256	300	20	10	8	2
4	60	30	128	600	40	40	0	0
5	60	30	128	600	40	32	8	0
6	60	30	128	600	40	38	0	2
7	60	30	128	600	40	30	8	2
8	120	60	64	1200	80	72	0	8*
9	120	60	64	1200	80	64	8	8*
10	240	120	32	2400	160	152	0	8*
11	240	120	32	2400	160	144	8	8*
12	480	240	16	4800	320	312	0	8*

13	480	240	16	4800	320	296	16	8*
14	960	480	8	9600	640	632	0	8*
15	960	480	8	9600	640	616	16	8*
16	1920	960	4	19200	1280	1272	0	8*
17	1920	960	4	19200	1280	1256	16	8*

Первичный и вторичный каналы синхронизации

Рассмотрим отображение первичного и вторичного каналов синхронизации P-SCH и S-SCH.

Данные каналы используются ПТ для определения момента начала слота и кадра, т. е. для первичной (слотовой) и вторичной (кадровой) синхронизации. Передача данных в этих каналах ведется в течение первых 256 чипов каждого слота (рис. 3.21).

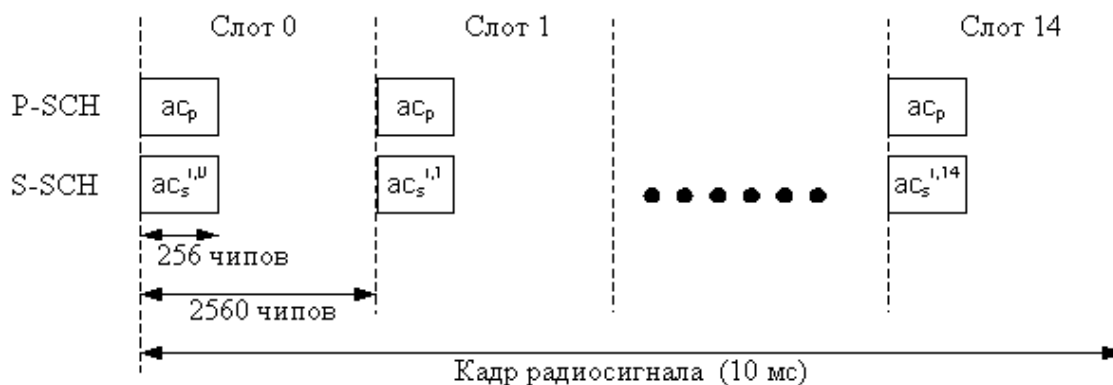


Рис. 3.21. Передача данных в каналах синхронизации

В первичном канале передается первичная синхропоследовательность (ПСП), одинаковая для каждого слота радиосигнала. Во вторичном канале синхронизации ведется передача вторичных синхропоследовательностей (ВСП), причем каждая из них уникальна для каждого слота внутри кадра, но одинаковая в слотах, принадлежащих разным кадрам радиосигнала, имеющих одинаковые порядковые номера.

Для определения первичной синхропоследовательности C_{PSC} введем сначала так называемую малую 16-элементную последовательность a :

$$a = \langle x_1, x_2, x_3, \dots, x_{16} \rangle =$$

$$= \langle 1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, -1, 1 \rangle.$$

Тогда построение ПСП может быть осуществлено следующим образом:

$C_{PSC} = (1 + j) \times \langle a, a, a, -a, -a, a, -a, -a, a, a, a, -a, a, -a, a, a \rangle$,
причем крайний левый элемент последовательности соответствует чипу, передаваемому первым во времени.

Вторичные синхропоследовательности $C_{SSC, k}$ также, как и ПСП, являются комплексными последовательностями с совпадающими мнимой и вещественной частями. Их построение основано на поэлементном умножении определенной последовательности Адамара и последовательности z , определяемой следующим образом:

$$z = \langle b, b, b, -b, b, b, -b, -b, b, -b, b, -b, -b, -b, -b, -b \rangle,$$

где

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

а символы $x_1, x_2, \dots, x_{15}, x_{16}$, имеют такие же значения, как и в случае ПСП. Последовательности Адамара h_n , как известно [8], являются рядами матрицы \mathbf{H} , получаемой рекурсией:

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_0 &= (1); \\ \mathbf{H}_k &= \begin{pmatrix} \mathbf{H}_{k-1} & \mathbf{H}_{k-1} \\ \mathbf{H}_{k-1} & -\mathbf{H}_{k-1} \end{pmatrix}, \quad k \geq 1. \end{aligned}$$

Ряды нумеруются сверху вниз, начиная со значения 0 (последовательность только из единиц) и заканчивая в данном случае значением 255.

Обозначим через $h_n(i)$ и $z(i)$ i -е элементы последовательностей h_n и z соответственно, где $i = 0, 1, \dots, 255$, причём $i = 0$ соответствует крайнему левому элементу. Тогда k -я ВСП $C_{SSC, k}$, ($k = 1, 2, 3, \dots, 16$) будет определяться следующим образом:

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

где $m = 16 \times (k - 1)$, и крайний левый элемент последовательности соответствует чипу, передаваемому первым во времени.

Распределения ВСП по 15 слотам кадра зависит от номера кодовой скремблирующей группы данной БС (см. табл. П.5 приложения).

3.5. ПРИМЕРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ КАНАЛОВ

На основании представленных в предыдущем разделе принципов отображения транспортных каналов на физические в данном рассмотрим конкретные примеры формирования физических каналов.

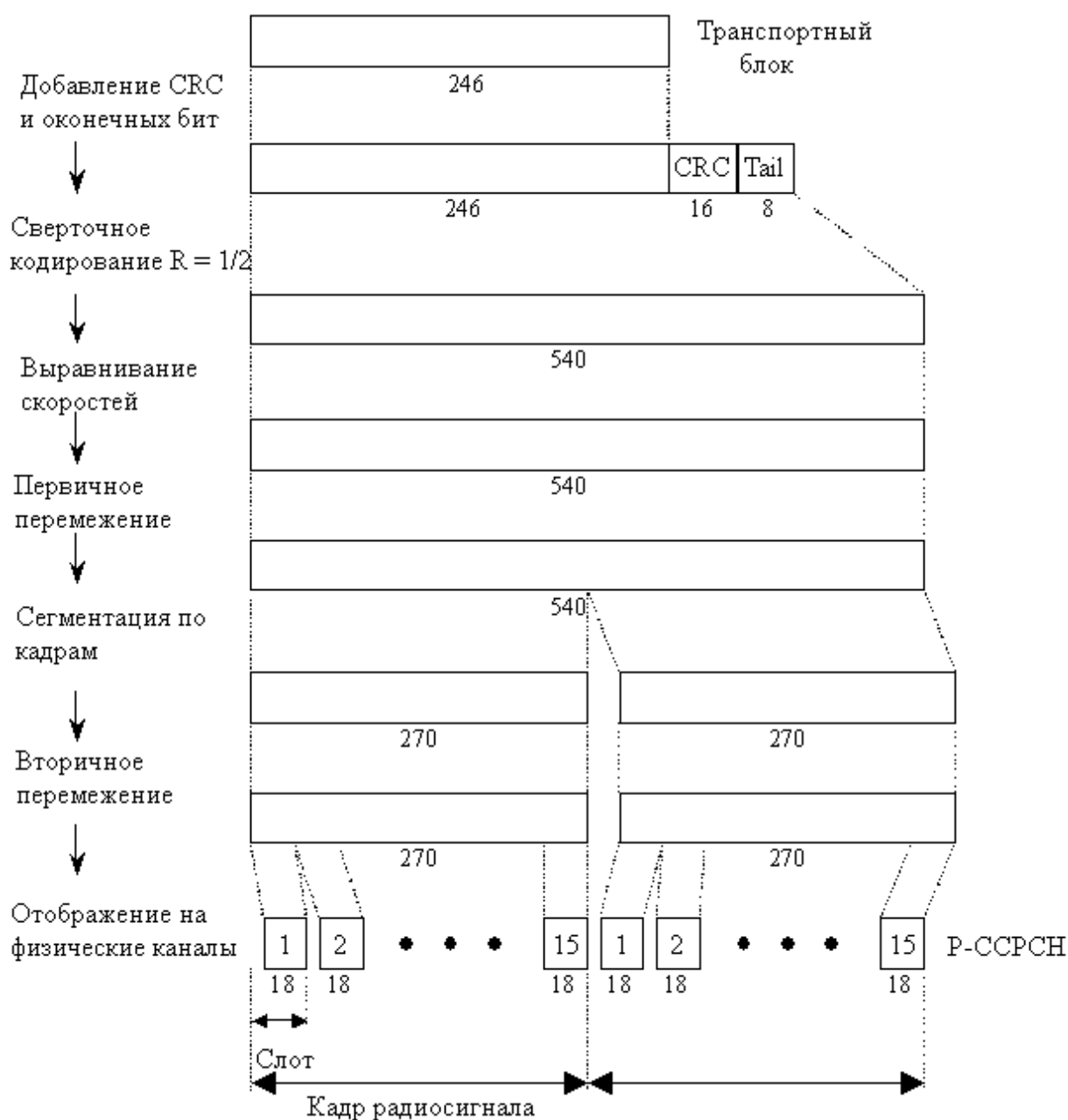


Рис. 3.22. Кодирование широковещательного канала ВСН

Широковещательный канал ВСН

На рис. 3.22 приведена структурная схема кодирования широко-
вещательного транспортного канала ВСН.

Данные канала ВСН передаются транспортными блоками. Каж-
дый блок несет 246 бит данных и после добавления 16 контрольных
бит и операции помехоустойчивого кодирования имеет размер 540 бит.
Один транспортный блок передается в двух кадрах сигнала и перед пе-
редачей подвергается двухуровневому перемежению. Первичное пе-
ремежение является блочным, перераспределяя биты по транспортно-
му блоку. После этого проводится разбиение блока на 2 сегмента, каж-
дый из которых имеет размер 270 бит и будет передаваться в одном
кадре (с $T_{PI} = 20$ мс). Вторичное перемежение тоже является блочным,
но перераспределяет биты по кадру. После вторичного перемежения
биты двух сегментов размещаются в двух кадрах первичного управ-
ляющего физического канала общего пользования Р-ССРСН.

В данном случае процедура выравнивания скоростей в битовой
последовательности не вносит никаких изменений.

Канал прямого доступа, вызывной канал

В табл. 3.14 приведены возможные конфигурации транспортных бло-
ков каналов FACH, RCH и их комбинации.

Таблица 3.14

Параметры кодирования каналов FACH и RCH

Конфигурации транспортных бло- ков	RCH	$N_{RCH} = 80$ или 240 бит
	FACH1	360 бит
	FACH2	168 бит
Возможные комби- нации транспорт- ных блоков	RCH	$80B_{RCH}$ или $240B_{RCH}$ бит ($B_{RCH} = 0, 1$)
	FACH1	$360B_{FACH1}$ бит ($B_{FACH1} = 0, 1$)
	FACH2	$168B_{FACH2}$ бит ($B_{FACH2} = 0, 1, 2$)
Помехоустойчивое кодирование	RCH, FACH2	Сверточное, $R = 1/2$
	FACH1	Турбокодирование
TTI		10 мс
Количество физических каналов		1
SF		64

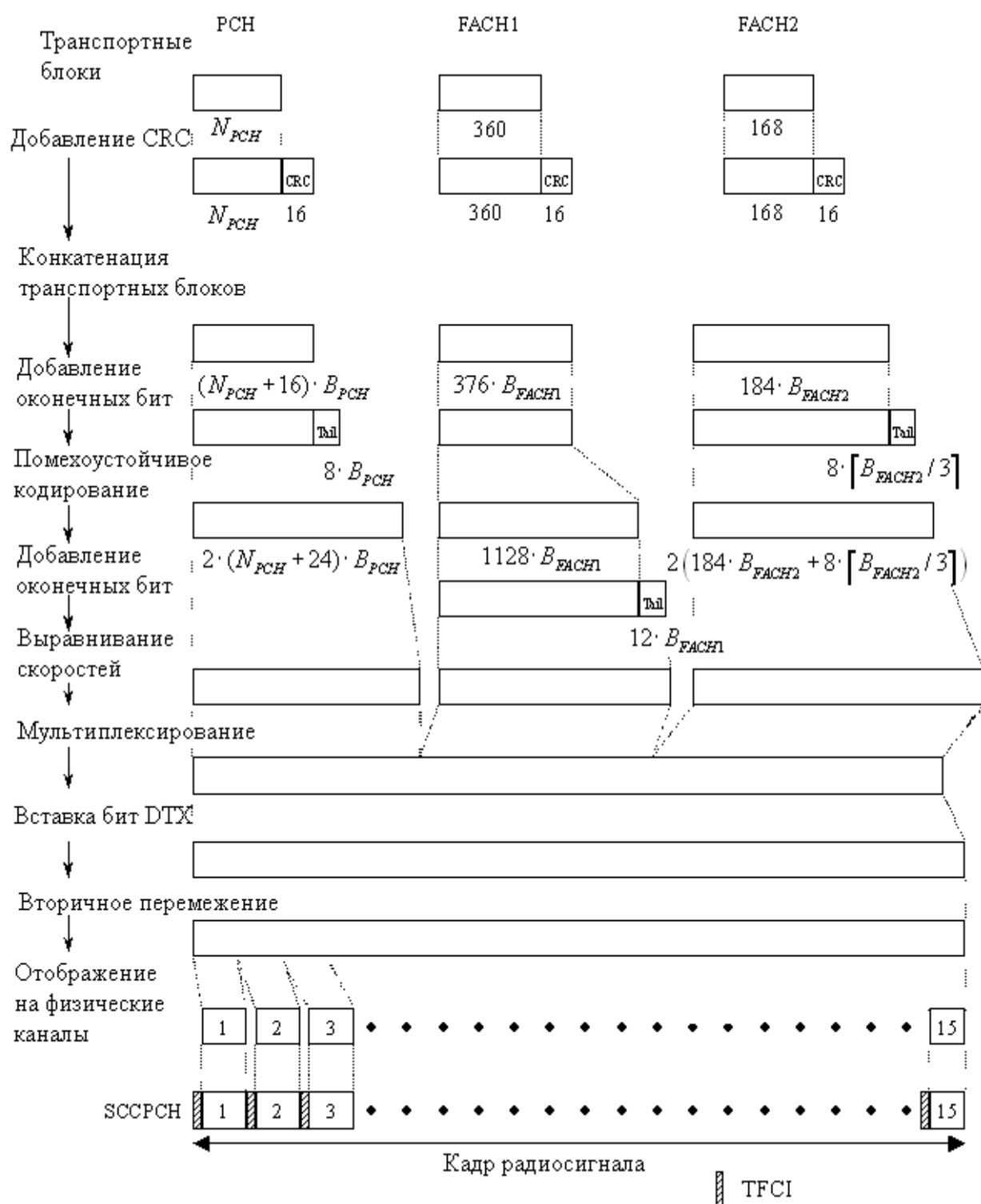


Рис. 3.23. Кодирование транспортных каналов FACH и PCH

На рис. 3.23 представлена схема кодирования транспортных каналов FACH, RCH. Данные транспортные каналы размещаются в одном вторичном управляющем физическом канале общего пользования S-CCPCH вместе с индикатором комбинации транспортного формата TFCI.

Нисходящий выделенный канал

Рассмотрим формирование физического нисходящего выделенного канала DCH.

На рис. 3.24 приведен пример кодирования трех нисходящих каналов DCH, обеспечивающих передачу данных со скоростью 12,2 Кбит/с. Данная схема используется в режиме разговора для передачи абоненту кодированной речи.

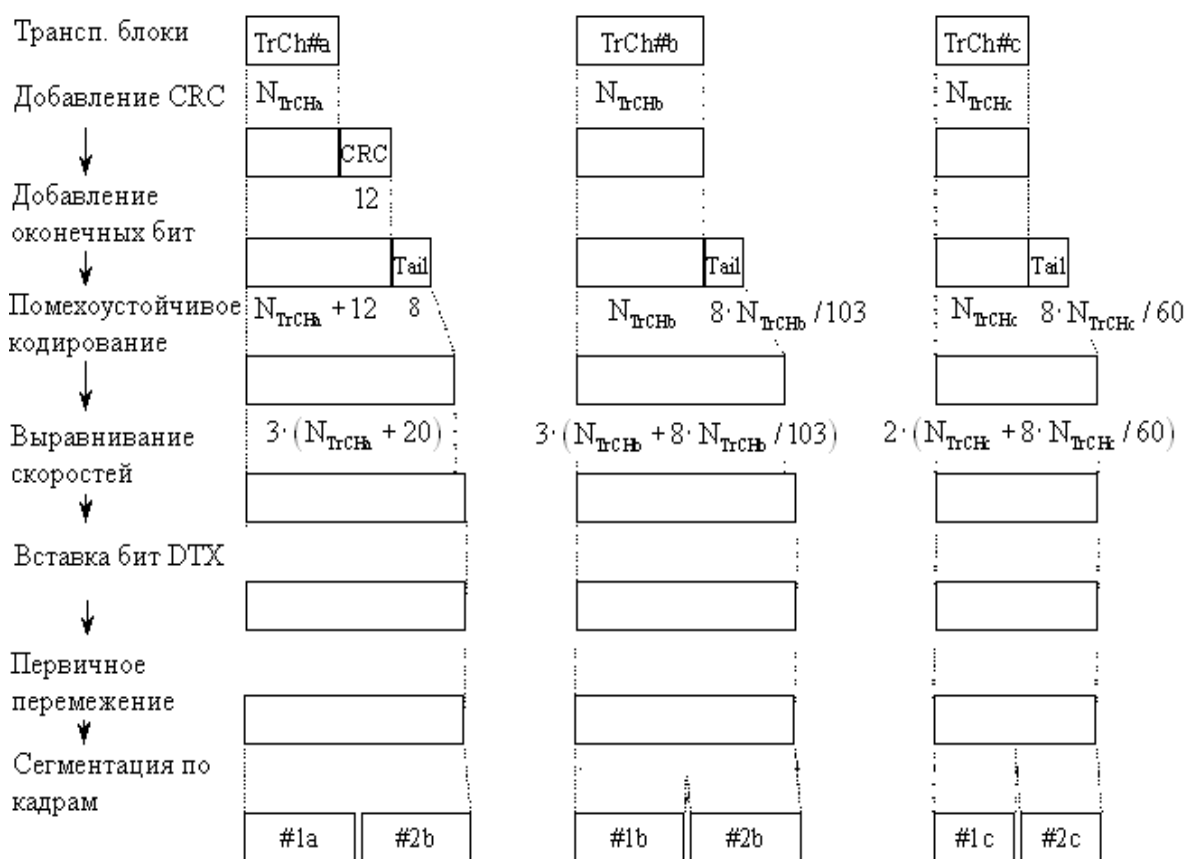


Рис. 3.24. Кодирование нисходящих выделенных каналов DCH (режим 12,2 Кбит/с)

Для передачи кодированной речи абоненту выделяется 3 выделенных канала DCH; размеры транспортных блоков этих каналов приведены в табл. 3.15.

Таблица 3.15

Параметры кодирования каналов DCH (режим 12,2 Кбит/с)

Количество физических каналов		3
Транспортные блоки	TrCH#a	0, 39 или 81 бит
	TrCH#b	103 бит
	TrCH#c	60 бит
TFCS	#1	$N_{\text{TrCHa}}=1 \times 81, N_{\text{TrCHb}}=1 \times 103,$ $N_{\text{TrCHc}}=1 \times 60$ бит
	#2	$N_{\text{TrCHa}}=1 \times 39, N_{\text{TrCHb}}=0 \times 103,$ $N_{\text{TrCHc}}=0 \times 60$ бит
	#3	$N_{\text{TrCHa}}=1 \times 0, N_{\text{TrCHb}}=0 \times 103,$ $N_{\text{TrCHc}}=0 \times 60$ бит
CRC		12 бит (добавляется только к блоку TrCh#a)
Помехоустойчивое кодирование		Сверточное, $R = 1/3$ для блоков TrCh#a, b $R = 1/2$ для блока TrCh#c
TTI		20 мс

В первом канале передаются биты, играющие наиболее важную роль для восстановления речевого сигнала, к ним добавляется 12 проверочных бит. Транспортные блоки первых двух каналов кодируются помехоустойчивым сверточным кодированием со скоростью $1/3$, а в третьем канале кодирование производится со скоростью $1/2$. В результате кодирования получается по 2 сегмента от каждого транспортного блока, после чего они распределяются в двух кадрах радиосигнала, причем в первом кадре будут размещены первые сегменты всех трех каналов, а во втором — вторые.

Канал случайного доступа

Транспортный блок канала случайного доступа RACH может иметь размер 168 или 360 бит (табл. 3.16).

Таблица 3.16

Параметры кодирования канала RACH

Транспортный блок	$N_{RACH} = 168$ или 360 бит
CRC	16 бит
Помехоустойчивое кодирование	Сверточное, $R = 1/2$
TTI	20 мс
Минимальный коэффициент расширения SF	32

К транспортному блоку добавляется 16 проверочных бит, 8 оконечных нулевых бит, после чего он кодируется сверточным кодером со скоростью кодирования 1/2. (рис. 3.25).

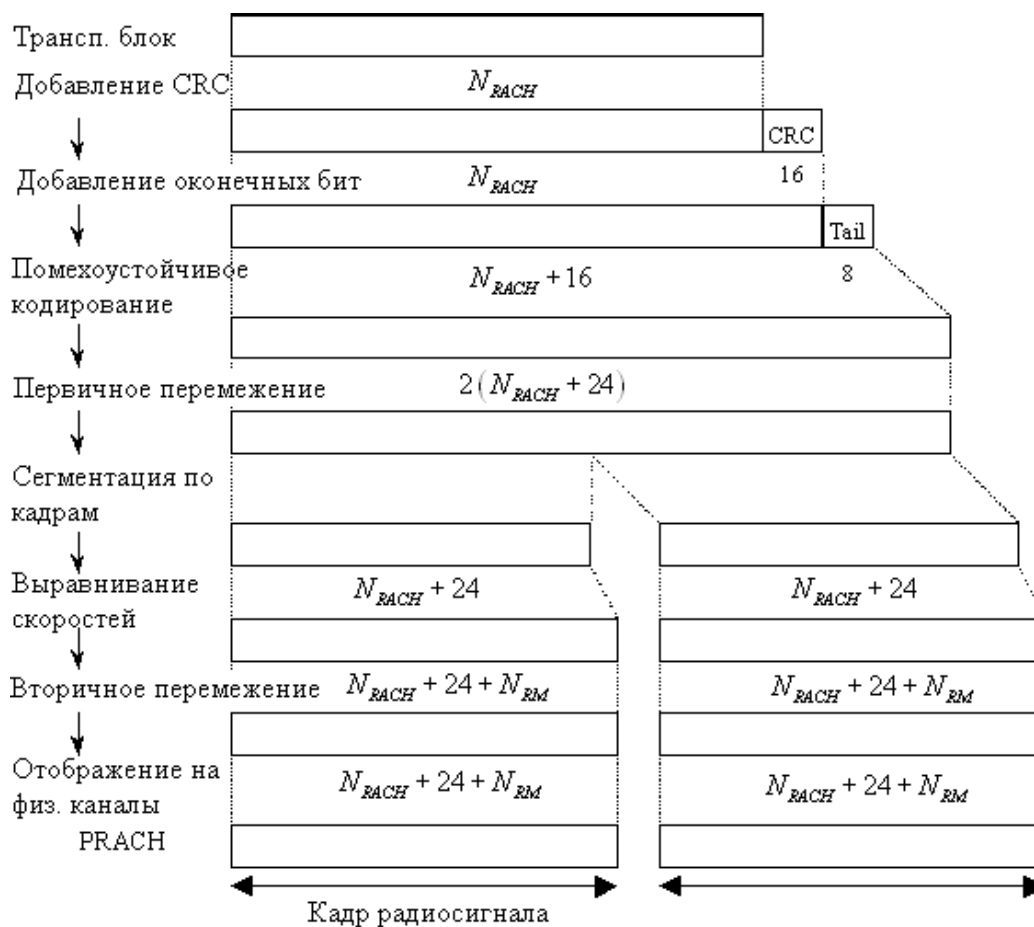


Рис. 3.25. Кодирование канала RACH

Восходящие выделенные каналы

На рис. 3.26 показана схема формирования восходящих выделенных каналов DCH. Эта схема описывает режим 12,2 Кбит/с, который используется для передачи кодированной речи абонента.

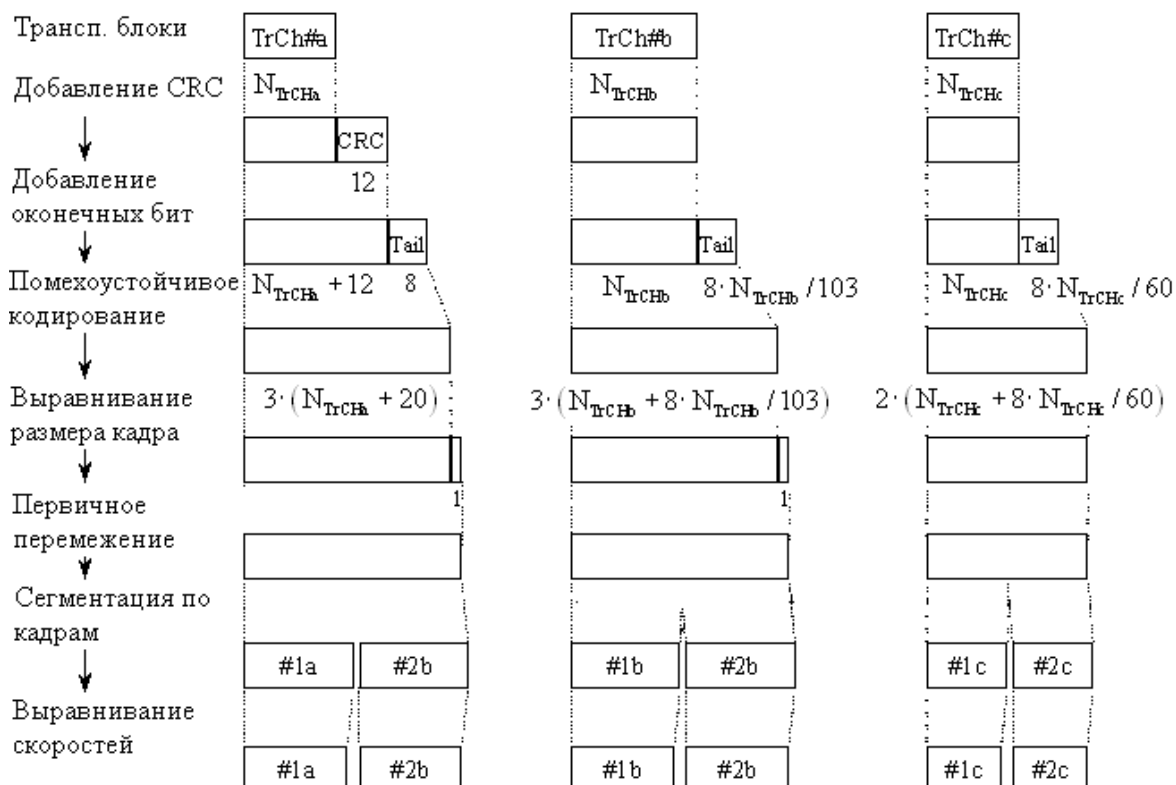


Рис. 3.26. Кодирование восходящих выделенных каналов DCH

Параметры кодирования каналов DCH аналогичны случаю нисходящих выделенных каналов, который был рассмотрен выше (в табл. 3.15).

3.6. Формирование сигналов в системе UMTS

В данном разделе будут рассмотрены некоторые вопросы, описанные в спецификациях 25.213 и 25.101, а именно: схемы формирования сигналов базовой станции, пользовательского терминала; частотные диапазоны, выделенные для работы системы UMTS, а также значения несущих частот в соответствии с нумерацией каналов системы.

В табл. 3.17 приводятся частотные диапазоны, в которых может работать система UMTS в режиме частотного дуплекса (режим FDD). Отметим, что разнос между несущими частотами восходящего и нисходящего каналов различен для каждого диапазона, эти значения приведены в табл. 3.18.

Таблица 3.17

Частотные диапазоны системы UMTS (режим FDD)

Частотный диапазон	Полоса восходящего канала, МГц	Полоса нисходящего канала, МГц
I	1920–1980	2110–2170
II	1850–1910	1930–1990
III	1710–1785	1805–1880
IV	1710–1755	2110–2155
V	824–849	869–894
VI	830–840	875–885
VII	2500–2570	2620–2690
VIII	880–915	925–960
IX	1749,9–1784,9	1844,9–1879,9
X	1710–1770	2110–2170
XI	1427,9–1447,9	1475,9–1495,9
XII	698–716	728–746
XIII	777–787	746–756
XIV	788–798	758–768
XV	зарезервирован	зарезервирован
XVI	зарезервирован	зарезервирован
XVII	зарезервирован	зарезервирован
XVIII	зарезервирован	зарезервирован
XIX	830–845	875–890
XXI	1447,9–1462,9	1495,9–1510,9

Несущие частоты могут принимать значения внутри выделенного диапазона с шагом 200 кГц. Значение несущей частоты сигнала привязано к абсолютному номеру канала (UTRA Absolute Radio Frequen-

су Channel Number, UARFCN) системы UMTS, причем абсолютная нумерация каналов захватывает все возможные рабочие диапазоны частот.

Таблица 3.18

Разнос между частотами восходящего и нисходящего каналов

Частотный диапазон	Частотный разнос (МГц)
I	190
II	80
III	95
IV	400
V	45
VI	45
VII	120
VIII	45
IX	95
X	400
XI	48
XII	30
XIII	31
XIV	30
XIX	45
XXI	48

Абсолютный номер N_U восходящего канала связан со значением несущей частоты согласно формуле

$$N_U = 5 (F_{UL} - F_{UL_Offset}),$$

где несущая частота канала F_{UL} , выраженная в единицах МГц, может принимать значения из диапазона

$$F_{UL_low} \leq F_{UL} \leq F_{UL_high}.$$

Абсолютный номер N_D нисходящего канала связан со значением несущей частоты аналогичным образом:

$$N_D = 5 (F_{DL} - F_{DL_Offset}),$$

где несущая частота канала F_{DL} может принимать значения из диапазона

$$F_{DL_low} \leq F_{DL} \leq F_{DL_high}.$$

Значения крайних частот диапазонов F_{DL_high} , F_{DL_low} , F_{UL_high} , F_{UL_low} , а также значения смещений F_{UL_Offset} , F_{DL_Offset} приведены в табл. 3.19.

Таблица 3.19

Граничные несущие частоты диапазонов и частотные смещения

Частот- ный диа- пазон	Восходящий канал			Нисходящий канал		
	Смеще- ние F_{UL_Offset} , МГц	Диапазон несущих частот, МГц		Смеще- ние F_{DL_Offset} , МГц	Диапазон несущих частот (МГц)	
		F_{UL_low}	F_{UL_high}		F_{DL_low}	F_{DL_high}
I	0	1922,4	1977,6	0	2112,4	2167,6
II	0	1852,4	1907,6	0	1932,4	1987,6
III	1525	1712,4	1782,6	1575	1807,4	1877,6
IV	1450	1712,4	1752,6	1805	2112,4	2152,6
V	0	826,4	846,6	0	871,4	891,6
VI	0	832,4	837,6	0	877,4	882,6
VII	2100	2502,4	2567,6	2175	2622,4	2687,6
VIII	340	882,4	912,6	340	927,4	957,6
IX	0	1752,4	1782,4	0	1847,4	1877,4
X	1135	1712,4	1767,6	1490	2112,4	2167,6
XI	733	1430,4	1445,4	736	1478,4	1493,4
XII	-22	700,4	713,6	-37	730,4	743,6
XIII	21	779,4	784,6	-55	748,4	753,6
XIV	12	790,4	795,6	-63	760,4	765,6
XIX	770	832,4	842,6	735	877,4	887,6
XXI	1358	1450,4	1460,4	1326	1498,4	1508,4

Кроме основных несущих частот в каждом рабочем диапазоне предусмотрены дополнительные каналы; в табл. 3.20 представлены

значения несущих частот дополнительных каналов, а в табл. 3.21 — сами номера основных и дополнительных каналов.

Таблица 3.20

Несущие частоты дополнительных каналов

Частот- ный диа- пазон	Восходящий канал		Нисходящий канал	
	Смещение F_{UL_Offset} , МГц	Несущие частоты дополнительных каналов, МГц (F_{UL})	Смещение F_{DL_Offset} , МГц	Несущие частоты дополни- тельных кана- лов, МГц, (F_{DL})
II	1850,1	1852,5; 1857,5; 1862,5; 1867,5; 1872,5; 1877,5; 1882,5; 1887,5; 1892,5; 1897,5; 1902,5; 1907,5;	1850,1	1932,5; 1937,5; 1942,5; 1947,5; 1952,5; 1957,5; 1962,5; 1967,5; 1972,5; 1977,5; 1982,5; 1987,5
IV	1380,1	1712,5; 1717,5; 1722,5; 1727,5; 1732,5; 1737,5; 1742,5; 1747,5; 1752,5	1735,1	2112,5; 2117,5; 2122,5; 2127,5; 2132,5; 2137,5; 2142,5; 2147,5; 2152,5
V	670,1	826,5; 827,5; 831,5; 832,5; 837,5; 842,5	670,1	871,5; 872,5; 876,5; 877,5; 882,5; 887,5
VI	670,1	832,5; 837,5	670,1	877,5; 882,5
VII	2030,1	2502,5; 2507,5; 2512,5; 2517,5; 2522,5; 2527,5; 2532,5; 2537,5; 2542,5; 2547,5; 2552,5; 2557,5; 2562,5; 2567,5	2105,1	2622,5; 2627,5; 2632,5; 2637,5; 2642,5; 2647,5; 2652,5; 2657,5; 2662,5; 2667,5; 2672,5; 2677,5; 2682,5; 2687,5

Окончание таблицы 3.20

Частот- ный диа- пазон	Восходящий канал		Нисходящий канал	
	Смещение F_{UL_Offset} , МГц	Несущие частоты дополнительных каналов, МГц (F_{UL})	Смещение F_{DL_Offset} , МГц	Несущие частоты дополнительных кана- лов, МГц, (F_{DL})
X	1075,1	1712,5; 1717,5; 1722,5; 1727,5; 1732,5; 1737,5; 1742,5; 1747,5; 1752,5; 1757,5; 1762,5; 1767,5	1430,1	2112,5; 2117,5; 2122,5; 2127,5; 2132,5; 2137,5; 2142,5; 2147,5; 2152,5; 2157,5; 2162,5; 2167,5
XII	-39,9	700,5; 701,5; 706,5; 707,5; 712,5; 713,5	-54,9	730,5; 731,5; 736,5; 737,5; 742,5; 743,5
XIII	11,1	779,5; 784,5	-64,9	748,5; 753,5
XIV	2,1	790,5; 795,5	-72,9	760,5; 765,5
XIX	755,1	832,5; 837,5; 842,5	720,1	877,5; 882,5; 887,5

В системе используются широкополосные сигналы с шириной полосы 5 МГц. Следовательно, минимальный разнос между несущими частотами соседних каналов системы UMTS должен иметь значение 5 МГц. В России и Европе системы UMTS используют первый частотный диапазон, для которого выделены полосы 1920–1980 МГц и 2110–2170 МГц.

Таблица 3.21

Номера основных и дополнительных каналов

Частотный диапазон	Восходящий канал		Нисходящий канал	
	Основные	Дополнитель- ные	Основные	Дополнитель- ные
I	9612–9888	-	10562–10838	-

Продолжение таблицы 3.21

Частотный диапазон	Восходящий канал		Нисходящий канал	
	Основные	Дополнительные	Основные	Дополнительные
II	9262–9538	12, 37, 62, 87, 112, 137, 162, 187, 212, 237, 262, 287	9662–9938	412, 437, 462, 487, 512, 537, 562, 587, 612, 637, 662, 687
III	937–1288	-	1162–1513	-
IV	1312–1513	1662, 1687, 1712, 1737, 1762, 1787, 1812, 1837, 1862	1537–1738	1887, 1912, 1937, 1962, 1987, 2012, 2037, 2062, 2087
V	4132–4233	782, 787, 807, 812, 837, 862	4357–4458	1007, 1012, 1032, 1037, 1062, 1087
VI	4162–4188	812, 837	4387–4413	1037, 1062
VII	2012–2338	2362, 2387, 2412, 2437, 2462, 2487, 2512, 2537, 2562, 2587, 2612, 2637, 2662, 2687	2237–2563	2587, 2612, 2637, 2662, 2687, 2712, 2737, 2762, 2787, 2812, 2837, 2862, 2887, 2912
VIII	2712–2863	-	2937–3088	-
IX	8762–8912	-	9237–9387	-
X	2887–3163	3187, 3212, 3237, 3262, 3287, 3312, 3337, 3362, 3387, 3412, 3437, 3462	3112–3388	3412, 3437, 3462, 3487, 3512, 3537, 3562, 3587, 3612, 3637, 3662, 3687
XI	3487–3562	-	3712–3787	-

Окончание таблицы 3.21

Частотный диапазон	Восходящий канал		Нисходящий канал	
	Основные	Дополнительные	Основные	Дополнительные
ХII	3612–3678	3702, 3707, 3732, 3737, 3762, 3767	3837–3903	3927, 3932, 3957, 3962, 3987, 3992
ХIII	3792–3818	3842, 3867	4017–4043	4067, 4092
ХIV	3892–3918	3942, 3967	4117–4143	4167, 4192
ХIX	312–363	387, 412, 437	712–763	787, 812, 837
ХХI	462–512	-	862–912	-

3.6.1. ФОРМИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ ВОСХОДЯЩИХ КАНАЛОВ

В данном разделе представлены процедуры формирования физических сигналов в восходящем направлении.

Выделенные физические каналы

Данные восходящих выделенных физических каналов DPDCH, а также каналов HS-DPCCH, E-DPDCH, E-DPCCH кодируются с использованием схем ФМ-2, либо КАМ-4. В обоих случаях битовой последовательности сопоставляется последовательность из вещественных чисел, причем в случае ФМ-2 логическая 1 кодируется числом –1, логический 0 кодируется числом 1; битам DTX также соответствует число 0.

При модуляции КАМ-4 биты объединяются в пары, после чего каждой паре ставится в соответствие вещественное число из табл. 3.22.

Таблица 3.22

Отображение бит при модуляции КАМ-4

Биты n_k, n_{k+1}	Вещественное число
00	0,4472
01	1,3416
10	-0,4472
11	-1,3416

Количество выделенных каналов, передаваемых одновременно, определяется на более высоких уровнях и зависит от технических возможностей ПТ. Различные комбинации с максимальным числом выделенных каналов, формируемых одновременно, приведены в табл. 3.23.

Таблица 3.23

Комбинации восходящих выделенных каналов

	DPDCH	HS-DPCCH	E-DPDCH	E-DPCCH
Комбинация 1	6	1	-	-
Комбинация 2	1	1	2	1
Комбинация 3	-	1	4	1

После формирования вещественных последовательностей для каждого из выделенных каналов выполняется процедура расширения, суть которой состоит в замене каждого вещественного числа последовательностью чипов, представляющей собой нужный каналообразующий код $c_{d,i}$, поэлементно умноженный на данное вещественное число.

После операции расширения каждая последовательность чипов поэлементно умножается на свой взвешивающий коэффициент β_d или β_c , после чего последовательности чипов поэлементно суммируются, причем последовательности выделенных каналов с нечетными номерами суммируются отдельно, и полученная в результате суммирования последовательность чипов будет представлять собой веществен-

ную часть “групповой” комплексной последовательности чипов \mathbf{S}_{DPCH} . Последовательности чипов, соответствующие выделенным каналам с четными номерами, а также выделенному управляющему каналу DPCCCH поэлементно суммируются и результирующая последовательность представляет собой мнимую часть “групповой” комплексной последовательности чипов \mathbf{S}_{DPCH} (рис. 3.27).

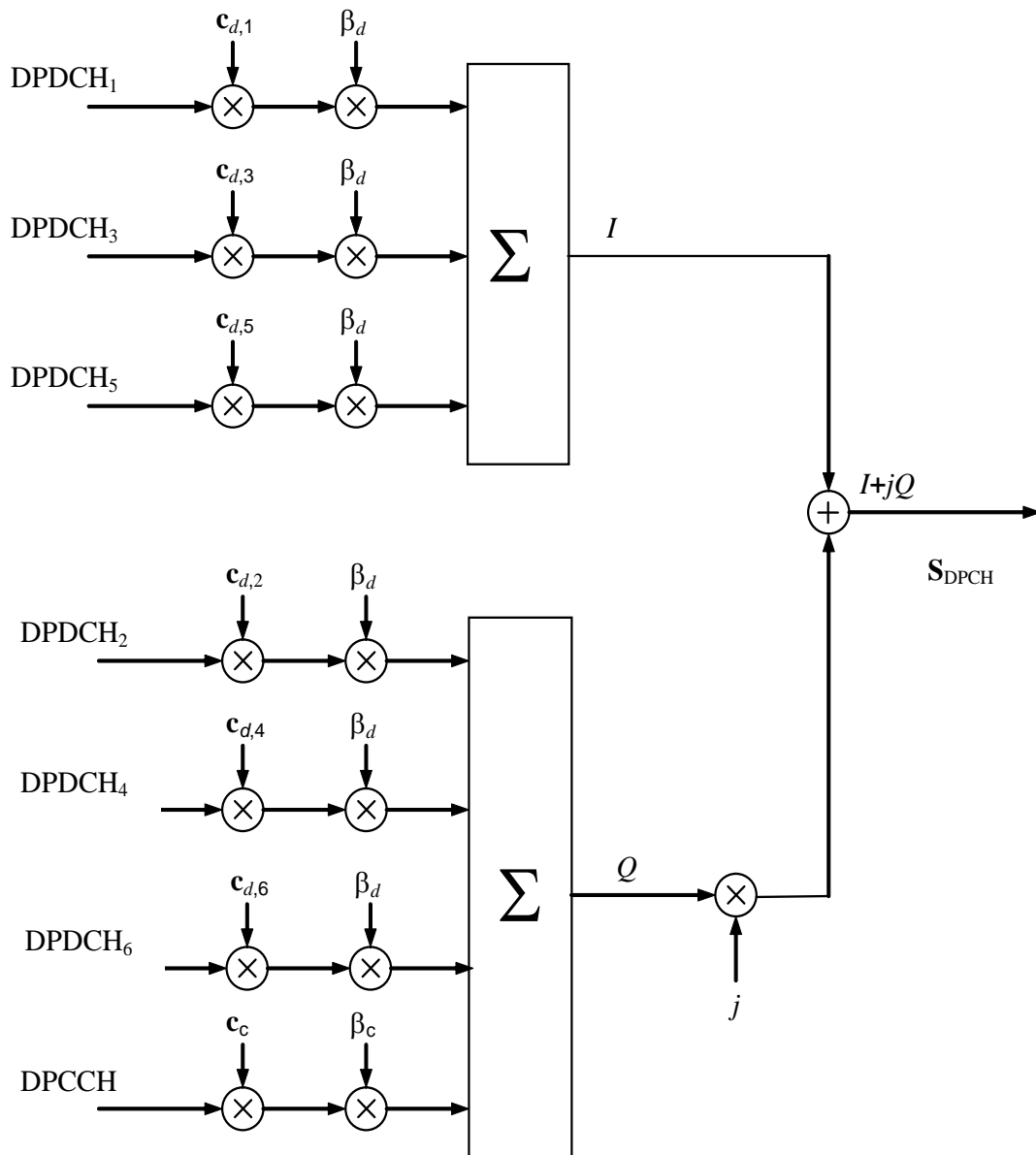


Рис. 3.27. Расширение и мультиплексирование выделенных физических каналов

Данные выделенного физического управляющего канала DPCCN всегда расширяются кодом $C_{ch,256,0}$. Если требуется один выделенный физический канал DPDCH, то он получается посредством расширения каналобразующим кодом $c_{d,1} = C_{ch,SF,k}$, где SF — коэффициент расширения, а $k = SF/4$. Если требуется несколько каналов DPDCH, то n -му каналу $DPDCH_n$ назначается каналобразующий код $c_{d,n} = C_{ch,4,k}$, где $k = 1$, если $n \in \{1, 2\}$; $k = 2$, если $n \in \{5, 6\}$; $k = 3$, если $n \in \{3, 4\}$ с коэффициентом расширения $SF = 4$.

Для описания процедуры формирования преамбул и сообщений канала случайного доступа PRACH необходимо ввести алгоритм построения скремблирующих кодов.

Длинные скремблирующие коды $c_{long,1,n}$, $c_{long,2,n}$ формируются как результат поэлементной суммы по модулю 2 двух битовых последовательностей, представляющих собой фрагменты двух m -последовательностей, обозначим их x и y , которые формируются на основе регистров сдвига с обратной связью, описываемых полиномами 25-го порядка:

$$g_1(x) = x^{25} + x^3 + 1;$$

$$g_2(x) = x^{25} + x^3 + x^2 + x + 1.$$

Сформированные таким образом двоичные m -последовательности в дальнейшем потребуются для вычисления элементов последовательности Голда.

Пусть $n_{23}, n_{22}, \dots, n_0$ — инициализирующая битовая последовательность скремблирующего кода, в которой n_0 является битом самого младшего разряда. Тогда последовательность x будет зависеть от выбранного номера скремблирующего кода n , обозначим её x_n , а i -й элемент последовательности x_n или y будем обозначать соответственно $x_n(i)$, $y(i)$. Элементы m -последовательностей определяются на основе следующего алгоритма.

% Инициализация

$$x_n(0) = n_0; x_n(1) = n_1; \dots, x_n(23) = n_{23}; x_n(24) = 1;$$

$y(0) = 1; y(1) = 1; \dots, y(23) = 1; y(24) = 1;$

% Вычисление последующих элементов

для i от 0 до $2^{25} - 27$

$$x_n(i + 25) = (x_n(i + 3) + x_n(i)) \bmod 2;$$

$$y(i + 25) = (y(i + 3) + y(i + 2) + y(i + 1) + y(i)) \bmod 2;$$

кц

% Вычисление элементов последовательности Голда

для i от 0 до $2^{25} - 2$

$$z_n(i) = (x_n(i) + y(i)) \bmod 2;$$

кц

% Последовательность Голда с вещественными элементами

для i от 0 до $2^{25} - 2$

$$Z_n(i) = \begin{cases} +1, & \text{если } z_n(i) = 0; \\ -1, & \text{если } z_n(i) = 1; \end{cases}$$

кц

Итак, длинные скремблирующие коды определяются следующим образом:

$$\mathbf{c}_{\text{long},1,n}(i) = Z_n(i), n = 1, 2, \dots, 2^{25} - 2;$$

$$\mathbf{c}_{\text{long},2,n}(i) = Z_n((i + 16777232) \bmod (2^{25} - 1)), n = 1, 2, \dots, 2^{25} - 2.$$

Теперь, на основании вещественных скремблирующих кодов определяются комплексные скремблирующие коды. Длинный комплексный скремблирующий код определяется следующим образом:

$$\mathbf{C}_{\text{long},n}(i) = \mathbf{c}_{\text{long},1,n}(i) \left(1 + j(-1)^i \mathbf{c}_{\text{long},2,n}(2 \lfloor i / 2 \rfloor) \right), i = 1, 2, \dots, 2^{25} - 2.$$

Схема формирования длинных скремблирующих последовательностей представлена на рис. 3.28.

Короткие скремблирующие коды $\mathbf{c}_{\text{short},1,n}$, $\mathbf{c}_{\text{short},2,n}$ формируются с помощью четверичной последовательности $S(2)$, элементы которой могут принимать четыре значения: 0, 1, 2, 3 и формируются в результате операции суммы по модулю 4 соответствующих элементов трех

последовательностей: четвертичной последовательности $a(i)$, и двоичных последовательностей $b(i)$, $d(i)$, начальные элементы которых определяются номером нужного короткого скремблирующего кода n , который, в свою очередь, определяет инициализирующую битовую последовательность $n_{23}, n_{22}, \dots, n_0$.

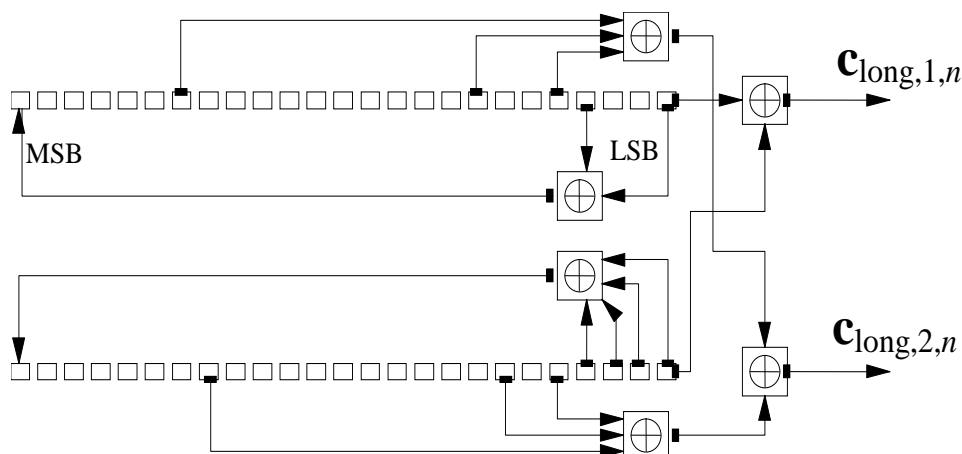


Рис. 3.28. Формирователь скремблирующих последовательностей восходящих каналов

Первые 255 элементов последовательности $S(2)$ формируются следующим образом:

$$z_n(i) = (a(i) + 2b(i) + 2d(i)) \bmod 4, i = 0, 1, \dots, 254;$$

$$z_n(255) = 0.$$

Далее формируется четвертичная последовательность $a(i)$ с помощью полинома $g_0(x) = x^8 + 3x^5 + x^3 + 3x^2 + 2x + 3$:

$$a(0) = (2n_0 + 1) \bmod 4;$$

$$a(i) = 2n_i \bmod 4, i = 1, 2, \dots, 7;$$

$$a(i) = (3a(i-3) + a(i-5) + 3a(i-6) + 2a(i-7) + 3a(i-8)) \bmod 4,$$

$$i = 8, 9, \dots, 254.$$

Двоичные последовательности $b(i)$ и $d(i)$ формируются на основе полиномов

$$g_1(x) = x^8 + x^7 + x^5 + x + 1,$$

и

$$g_2(x) = x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + 1:$$

для i от 0 до 7

$$b(i) = n_{8+i} \bmod 2;$$

$$d(i) = n_{16+i} \bmod 2;$$

кц

для i от 8 до 254

$$b(i) = (b(i-1) + b(i-3) + b(i-7) + b(i-8)) \bmod 2;$$

$$d(i) = (d(i-1) + d(i-3) + d(i-4) + d(i-8)) \bmod 2;$$

кц

Элементы коротких скремблирующих кодов формируются из полученной четвертичной последовательности z_n с помощью табл. 3.24.

Таблица 3.24

Формирование коротких скремблирующих кодов

$z_n(i)$	$\mathbf{c}_{\text{short},1,n}(i)$	$\mathbf{c}_{\text{short},2,n}(i)$
0	+1	+1
1	-1	+1
2	-1	-1
3	+1	-1

На основании $\mathbf{c}_{\text{short},1,n}$ и $\mathbf{c}_{\text{short},2,n}$ формируется короткий комплексный скремблирующий код:

$$\mathbf{C}_{\text{short},n}(i) = \mathbf{c}_{\text{short},1,n}(i \bmod 256) \left(1 + j(-1)^i \mathbf{c}_{\text{short},2,n} \left(2 \lfloor (i \bmod 256) / 2 \rfloor \right) \right).$$

Структурная схема формирователя коротких скремблирующих кодов приведена на рис. 3.29.

Скремблированию подвергаются данные выделенных физических каналов. Процедура скремблирования заключается в поэлементном умножении групповой комплексной последовательности чипов \mathbf{S}_{DPCH} на скремблирующий код выделенных каналов, имеющий длину 38400 элементов. При этом процедура скремблирования должна про-

изводиться по каждому кадру передаваемых данных, причем первый элемент скремблирующего кода должен умножаться на первый чип кадра.

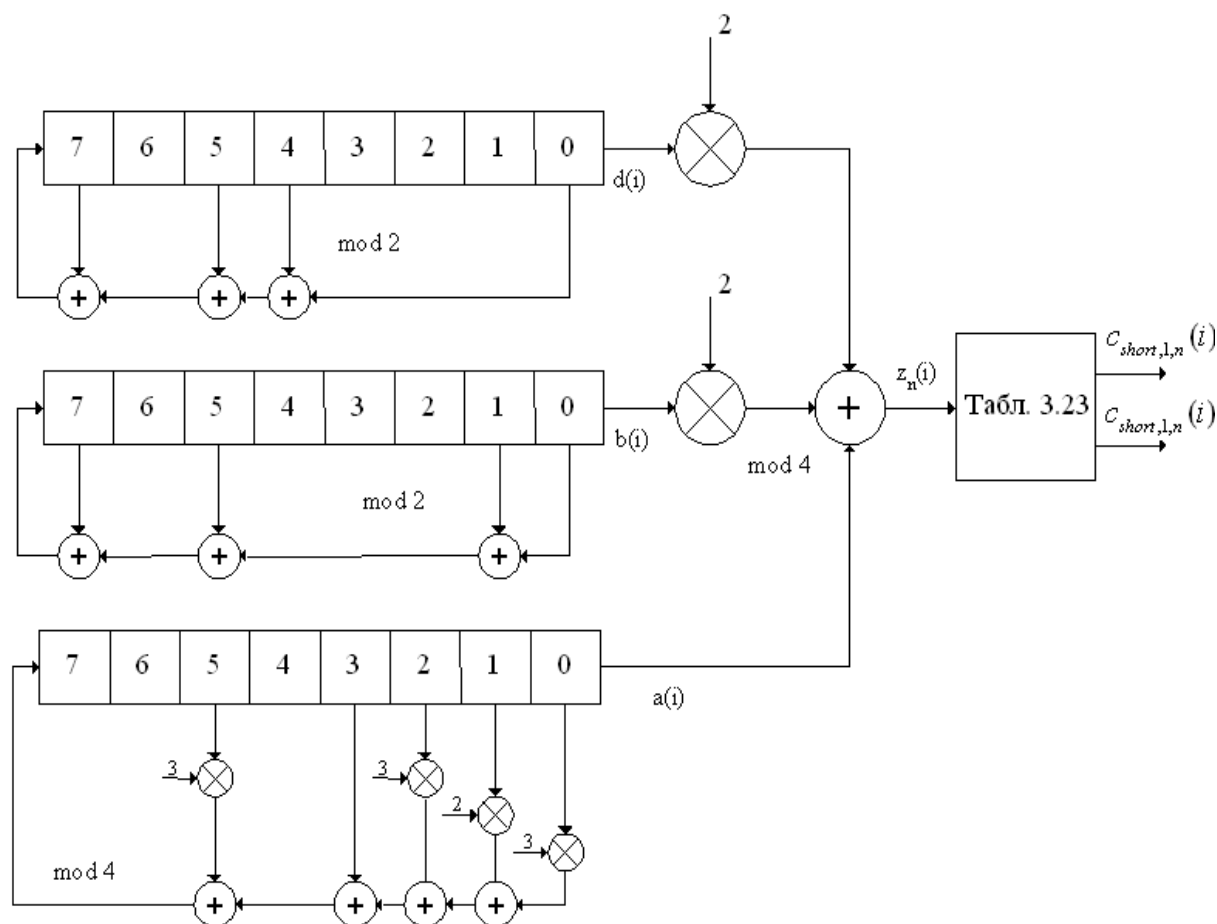


Рис. 3.29. Формирователь коротких скремблирующих последовательностей

Скремблирующие коды для выделенных физических каналов определяются следующим образом:

$$S_{\text{DPCH},n}(i) = C_{\text{long},n}(i), i = 0, 1, 2, \dots, 38399,$$

если используются длинные скремблирующие коды. При использовании коротких скремблирующих кодов данные выделенных каналов будут скремблироваться кодом

$$S_{\text{dpch},n}(i) = C_{\text{short},n}(i), i = 0, 1, 2, \dots, 38399.$$

Физический канал случайного доступа

Обратимся к рассмотрению формирования физического канала случайного доступа PRACH.

Как уже упоминалось выше, информационная часть сообщения физического канала случайного доступа содержит информационные данные и данные управления. Из этих бит формируются две вещественные последовательности по схеме ФМ-2, причем логический 0 представляется числом 1, а логическая 1 представляется -1 . Далее сформированные последовательности расширяются согласно схеме, представленной на рис. 3.30, в результате чего формируется комплексная последовательность чипов S , причем последовательность, несущая данные управления, будет передаваться в Q -квадратуре, а информационные данные — в I -квадратуре сигнала.

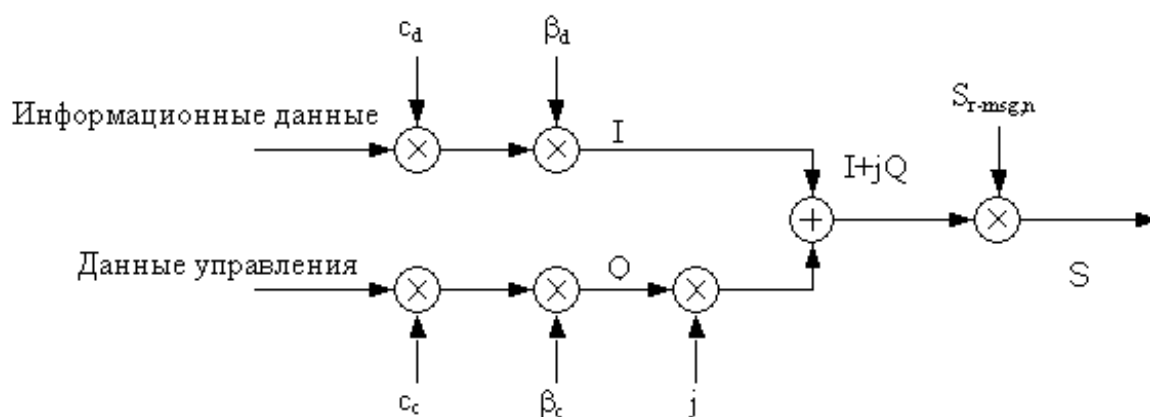


Рис. 3.30. Расширение данных канала PRACH

После расширения чипы информационной последовательности и чипы последовательности управления поэлементно умножаются на весовые коэффициенты β_d , β_c , складываются в двух квадратурах, после чего сформированная комплексная последовательность чипов поэлементно умножается на скремблирующий код $S_{r\text{-msg},n}$, который формируется из длинного комплексного скремблирующего кода:

$$S_{r\text{-msg},n}(i) = C_{\text{long},n}(i + 4096), i = 0, 1, 2, \dots, 38399.$$

Сообщение канала случайного доступа PRACH имеет свою ключевую последовательность $C_{\text{sig},s}(i)$, которая представляет собой периодическое повторение одной из строк матрицы Адамара размерностью 16×16 . Обозначим номер этой строки s , причем нумерацию будем вести от нуля, т. е. s может принимать значения от 0 до 15, тогда ключевая последовательность определяется следующим образом:

$$C_{\text{sig},s}(i) = P_s(i \bmod 16), i = 0, 1, 2, \dots, 4095,$$

где $P_s(i)$ — i -й элемент строки с номером s матрицы Адамара; нумерация, по-прежнему, ведется от нуля.

Ключевая последовательность вместе со скремблирующим кодом преамбулы определяет элементы преамбулы сообщения канала PRACH. Всего возможно сформировать 8192 скремблирующих кодов преамбулы, которые определяются на основе длинных кодов:

$$S_{\text{r-pre},n}(i) = c_{\text{long},1,n}(i), i = 0, 1, 2, \dots, 4095.$$

Номера скремблирующих кодов преамбулы $n = 0, 1, \dots, 8191$ разбиты на 512 групп, каждая из которых содержит 16 скремблирующих кодов с номерами $k = 0, 1, 2, \dots, 15$. Номер кодовой группы определяется номером первичного скремблирующего кода m , используемого базовой станцией, которая обслуживает данный ПТ. Таким образом, номер n скремблирующего кода преамбулы сообщения канала PRACH (этот же номер определяет скремблирующий код $S_{\text{r-msg},n}$ информационной части сообщения) может принимать 16 значений $n = 16m + k$, где $k = 0, 1, 2, \dots, 15$, $m = 0, 1, \dots, 511$.

Элементы преамбулы сообщения канала случайного доступа PRACH определяются согласно выражению

$$C_{\text{pre},n,s}(k) = S_{\text{r-pre},n}(k) C_{\text{sig},s}(k) \exp \left[j \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{2} k \right) \right], k = 0, 1, 2, \dots, 4095.$$

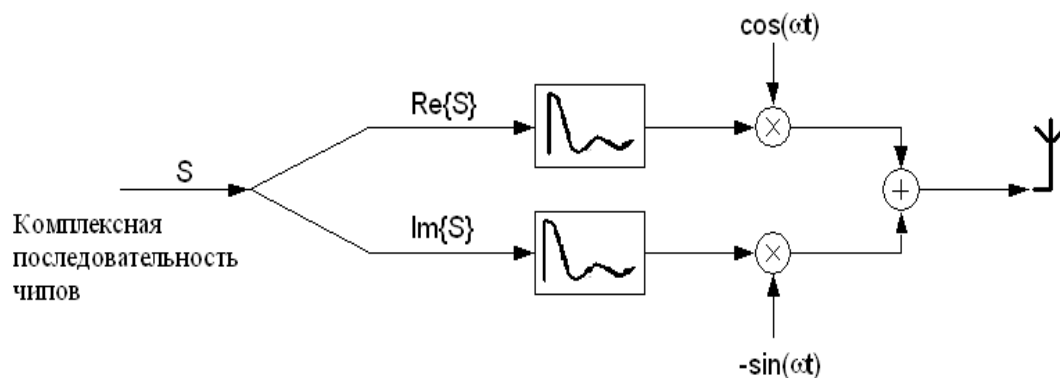


Рис. 3.31. Модулятор сигнала восходящего канала

После формирования, последовательность чипов восходящего канала поступает на модулятор, показанный на рис. 3.31. В модуляторе разделяются вещественная и мнимая части последовательности чипов, элементы двух последовательностей поступают на формирователи чиповых импульсов, после чего сигнал переносится на несущую частоту.

3.6.2. ФОРМИРОВАНИЕ СИГНАЛА НИСХОДЯЩЕГО КАНАЛА

Данные нисходящих каналов могут модулироваться по схемам ФМ-2, КАМ-16 или КАМ-64. Для рассмотренных выше нисходящих физических каналов, а именно, для пилотного канала общего пользования CPICH, первичного и вторичного физических управляющих каналов общего пользования P-CCPCH и S-CCPCH, а также для выделенных физических каналов DPDCH, DPSSCH, данные модулируются по схеме ФМ-2 (рис. 3.32).

Элементы сформированной на предыдущих этапах битовой последовательности нисходящих каналов поступают на преобразователь последовательного потока данных в параллельный, в котором следующие друг за другом биты объединяются в пары и поступают на модулятор, причем объединение в пары должно происходить таким образом, чтобы биты, стоящие на четных и нечетных местах, размещались, соответственно, в I - и Q -квадратуре формируемого сигнала. Блок модулятора преобразует поступающие на его входы битовые последовательности в вещественные, в которых логическому символу 0

соответствует число 1, логической 1 — число -1 , а биту индикации прерывания передачи ставится в соответствие число 0. Далее в каждой из двух квадратур проводится операция расширения данных, причем расширение в квадратурах проводится одним и тем же каналообразующим кодом $C_{ch,SF,m}$.

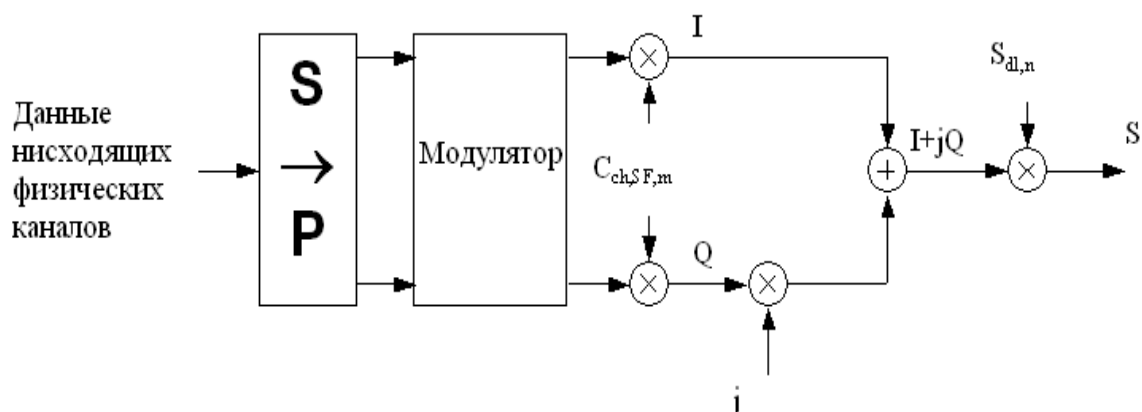


Рис. 3.32. Модуляция и расширение данных нисходящих каналов

Первичный физический управляющий канал общего пользования Р-ССРСН всегда расширяется кодом $C_{ch,256,1}$. Данные пилотного канала СРІСН всегда расширяются кодом $C_{ch,256,0}$. Для остальных физических каналов каналообразующие коды определяются сетью наземного радиодоступа UTRAN.

После процедуры расширения данных проводится процедура скремблирования, которая заключается в поэлементном умножении полученной комплексной последовательности на скремблирующий код, причем чип, соответствующий началу кадра, должен умножаться на первый элемент скремблирующего кода. Все нисходящие каналы скремблируются одним и тем же скремблирующим кодом, который закреплен за данной базовой станцией. Операция скремблирования не проводится только в каналах синхронизации Р-SCH, S-SCH.

По описанному ниже алгоритму может быть сформировано всего $2^{18} - 1 = 262\,143$ различных скремблирующих кодов с номерами $0 \dots 262142$. Тем не менее, не все коды используются в системе UMTS. Все множество скремблирующих кодов делится на 512 наборов, каж-

дый из которых состоит из одного первичного и 15 вторичных скремблирующих кодов.

Номера первичных скремблирующих кодов удовлетворяют соотношению: $n = 16i$, где $i = 0 \dots 511$. Вторичными скремблирующими кодами i -го набора являются коды с номерами $16i + k$, где $k = 1 \dots 15$.

Множество первичных скремблирующих кодов делится на 64 кодовых скремблирующих группы, каждая из которых состоит из 8 первичных скремблирующих кодов. Причем j -я кодовая скремблирующая группа состоит из первичных скремблирующих кодов с номерами $16 \cdot 8j + 16k$, где $j = 0 \dots 63$ и $k = 0 \dots 7$.

Последовательность скремблирующего кода строится путем объединения двух вещественных последовательностей в одну комплексную. Скремблирующий код повторяется каждые 10 мс, т. е. каждый кадр.

Введем порождающие вещественные последовательности x и y . Последовательность x строится на основе примитивного (в двоичном поле Галуа) полинома $1 + q^7 + q^{18}$, а последовательность y — на основе полинома $1 + q^5 + q^7 + q^{10} + q^{18}$. Введем также последовательность z_n , зависящую от номера скремблирующего кода. Наконец, пусть $x(i)$, $y(i)$ и $z_n(i)$ обозначают i -й элемент последовательности x , y и z_n , соответственно.

Правило построения x и y последовательностей имеет следующий вид.

Инициализация:

$$\begin{aligned} x(0) = 1, x(1) = x(2) = \dots = x(16) = x(17) = 0, \\ y(0) = y(1) = \dots = y(16) = y(17) = 1. \end{aligned}$$

Рекурсивное определение последовательности:

$$\begin{aligned} x(i + 18) &= x(i + 7) + x(i) \bmod 2, \quad i = 0, \dots, 2^{18} - 20, \\ y(i + 18) &= y(i + 10) + y(i + 7) + y(i + 5) + y(i) \bmod 2, \\ i &= 0, \dots, 2^{18} - 20. \end{aligned}$$

Последовательность z_n , $n = 0, 1, 2, \dots, 2^{18} - 2$, определяется следующим образом:

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

Полученная последовательность далее преобразуется по следующему правилу:

$$Z_n(i) = \begin{cases} +1 & \text{если } z_n(i) = 0; \\ -1 & \text{если } z_n(i) = 1; \end{cases} \quad i = 0, 1, \dots, 2^{18} - 2.$$

Наконец, последовательность комплексного скремблирующего кода S_n получается следующим образом:

$$S_n(i) = Z_n(i) + j Z_n((i + 131072) \bmod (2^{18} - 1)), i = 0, 1, \dots, 38399.$$

Структурная схема формирователя скремблирующих последовательностей нисходящих каналов показана на рис. 3.33.

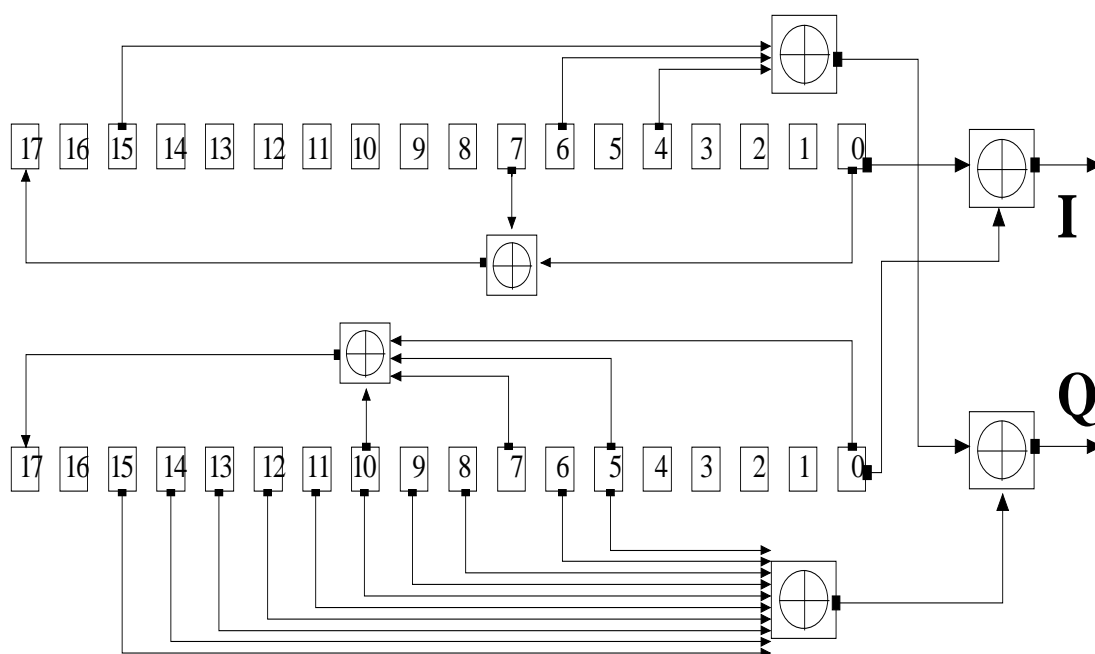


Рис. 3.33. Генератор скремблирующих кодов нисходящих каналов

Сформированные последовательности чипов, соответствующие различным нисходящим каналам, поэлементно суммируются со своими весовыми коэффициентами, к ним добавляются символы первичной и вторичной синхропоследовательностей, после чего сформированная групповая комплексная последовательность чипов поступает на модулятор. В модуляторе разделяются вещественная и мнимая

части данной последовательности, и каждая из них поступает на формирователь чиповых импульсов. Окончательным этапом формирования сигнала является его перенос на несущую частоту (рис. 3.34).

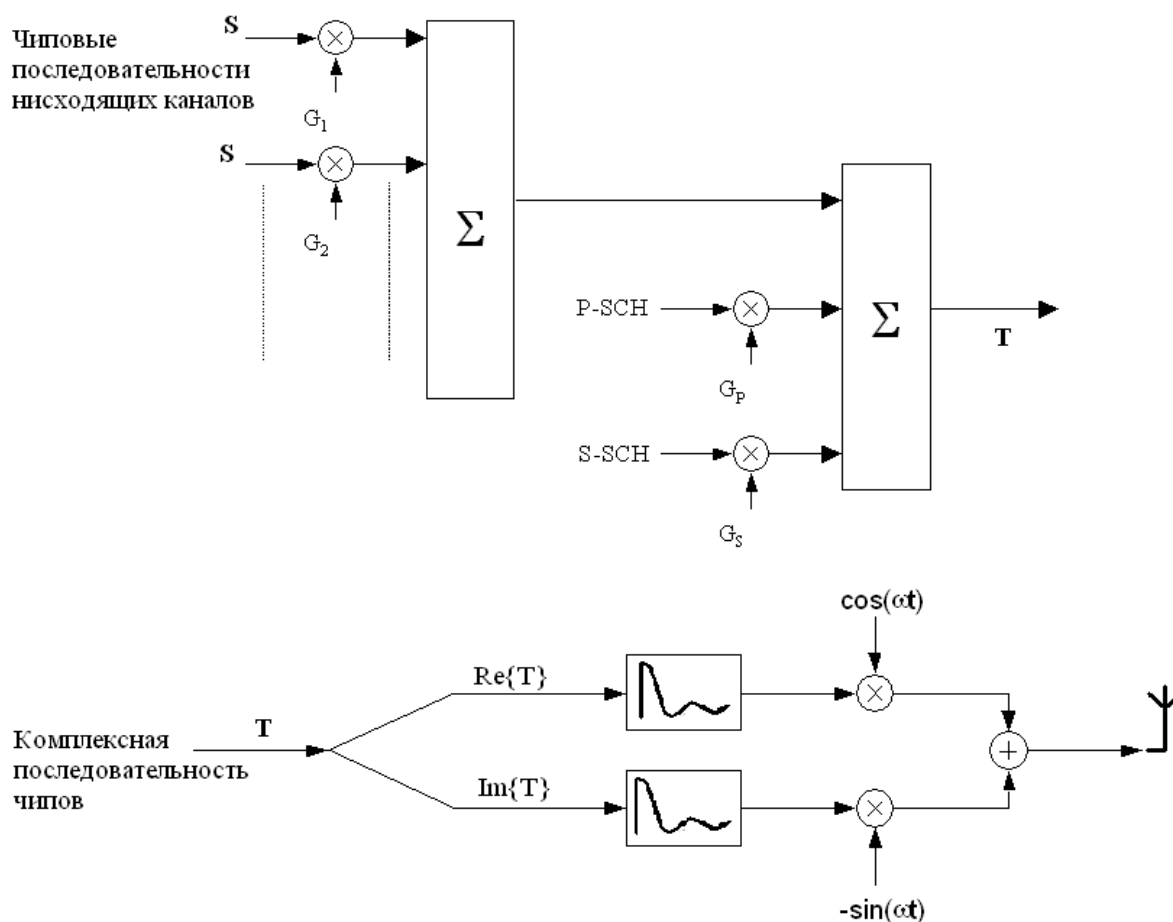


Рис. 3.34. Мультиплексирование и модуляция сигналов нисходящих каналов

3.7. ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ СЕТИ UMTS

В данном разделе рассмотрены процедуры первичной обработки сигналов сети UMTS, направленные на осуществление слотовой и кадровой синхронизации, а также определение номера первичного скремблирующего кода. Дальнейшая обработка, целью которой, в конечном итоге, является получение пользовательского трафика (звукового или видео-) или какой-либо специальной информации, требует

достаточно объёмного изложения как особенностей организации канальных структур, основанных на технологии ASN.1¹, так и процедур демодуляции-декодирования сложных сигнально-кодовых конструкций и, поэтому, далеко выходит за рамки данного учебного пособия.

Упрощенная структурная схема приема и обработки сигналов системы UMTS в универсальном программно-аппаратном комплексе показана на рис. 3.35.

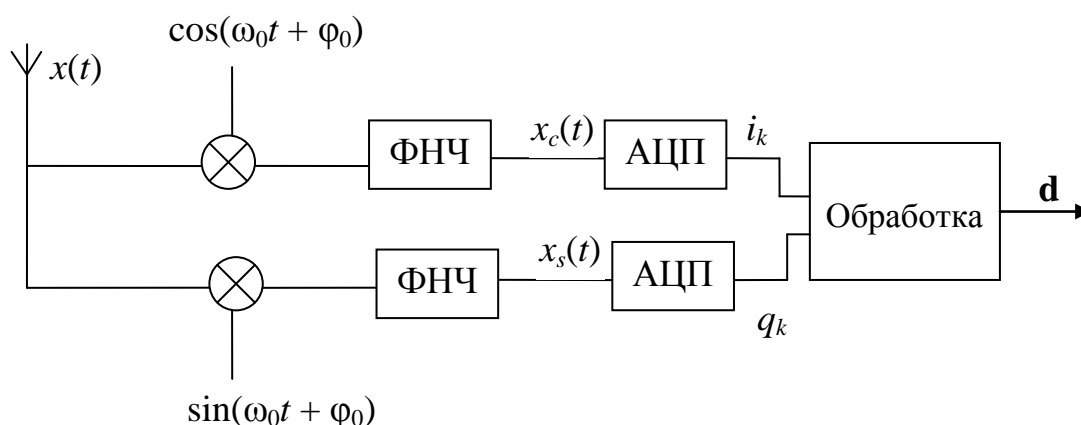


Рис. 3.35. Упрощенная структурная схема приема и обработки сигналов

Принятый из эфира сигнал $x(t)$ преобразуется на нулевую частоту (на рис. 3.35 показана только одна пара преобразователей частоты; реально таких преобразователей может быть несколько), фильтрами нижних частот ФНЧ выделяются низкочастотные синфазная и квадратурная компоненты $x_c(t)$ и $x_s(t)$. Далее в аналого-цифровых преобразователях АЦП происходит их дискретизация и квантование на заданное количество уровней. Оцифрованные отсчеты подаются на специализированный программно-аппаратный вычислитель, осуществляющий цифровую обработку сигналов. Результатом такой обработки является байтовая последовательность

¹ ASN.1 — стандарт записи, описывающий структуры данных для представления, кодирования, передачи и декодирования данных. Он обеспечивает набор формальных правил для описания структуры объектов, которые не зависят от конкретной программной реализации.

$$\mathbf{d} = (d^{(1)}, d^{(2)}, \dots),$$

представляющая собой поток данных, предназначенный для решения различных задач обработки сигналов, из которых в данном разделе будет рассмотрена процедура поиска соты — первичная (по порядку действия) процедура синхронизации ПТ с сетью, начинающаяся с момента включения питания ПТ.

Процедура поиска соты состоит из трех основных этапов.

1. Слотовая синхронизация при помощи сигнала первичного канала синхронизации P-SCH.
2. Кадровая синхронизация и определение группы первичного скремблирующего кода при помощи сигнала вторичного канала синхронизации S-SCH.
3. Определение номера первичного скремблирующего кода при помощи первичного пилот-канала P-CPICH.

Далее рассмотрим каждый указанный этап в отдельности. При этом будем считать, что в распоряжении имеется последовательность X , полученная из дискретизации по времени и квантования по уровню двух квадратур сигнала нисходящего канала снесенного на нулевую частоту. Частота дискретизации, согласно спецификациям, равна $F_d = 3,840$ МГц, а АЦП имеет 2^{16} уровней. Таким образом, при обработке сигнала в последовательность X со скоростью следования чипов заносятся комплексные отсчетные значения, где на мнимую и вещественную составляющие отводится по 16 бит из которых первый бит — знаковый.

Слотовая синхронизация

Напомним, что сигнал канала P-SCH передается в начале каждого слота любого кадра первичного общего канала управления P-CCPCH, имеет длительность в 256 чипов (при длительности одного слота в 2560 чипов) и строится на основе одинаковой для всех БС кодовой последовательности — первичного синхрокода \mathbf{C}_{PSC} . Таким образом, для нахождения кода \mathbf{C}_{PSC} в принятом сигнале, можно построить корреляционную функцию вида

$$\text{SlotKorr}[k] = \left| \sum_{n=1}^{256} X[n + k + 2560m] C_{\text{PSC}}[n] \right|, k = 1, \dots, 2560. \quad (3.1)$$

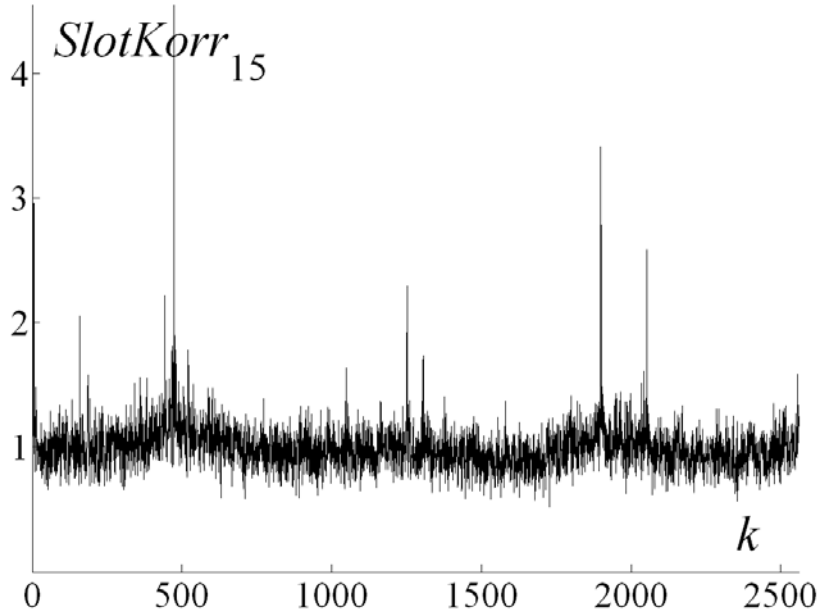


Рис. 3.36. График функции SlotKorr₁₅

График такой функции должен иметь несколько пиков соответствующих сигналам канала P-SCH разных БС, причем уровень пика тем выше, чем мощнее сигнал базовой станции. Однако даже при относительно благоприятных условиях приема уровень полученных пиков может оказаться очень мал ввиду присутствия сигнала нескольких БС. Для увеличения уровня пиков можно производить интегрирование корреляционной функции, т. е. учитывать несколько соседних слотов. Тогда вид корреляционной функции SlotKorr изменится:

$$\text{SlotKorr}_{\text{Slots}}[k] = \sum_{m=0}^{\text{Slots}-1} \left| \sum_{n=1}^{256} X[n + k + 2560m] C_{\text{PSC}}[n] \right|, k = 1, \dots, 2560, \quad (3.2)$$

где Slots – количество учитываемых слотов.

Как показывают опыты, достаточно рассматривать Slots = 15. Так, на рис. 3.36 приведен график функции SlotKorr₁₅, построенный при учёте 15 слотов.

Кадровая синхронизация

Сигнал канала S-SCH также передается в начале каждого слота любого кадра канала P-CCPCH и имеет длительность в 256 чипов, однако, в противовес каналу P-SCH, строится на основе различных кодовых последовательностей. Всего существует 16 различных вторичных синхрокодов $C_{SSC,k}$, и в каждом слоте выбор определенного кода определяется группой первичного скремблирующего кода базовой станции и номером слота в кадре в соответствии с таблицей $Table_{SSC}$. С учетом полученной на первом этапе синхронизации с началом слота остается определить номера вторичных синхрокодов, передаваемых в начале каждого слота пятнадцати подряд идущих слотов (по количеству слотов в одном кадре), и далее, с учетом возможного циклического сдвига, определить группу первичного скремблирующего кода и начало кадра. Для определения номера вторичного синхрокода во всех слотах одного кадра необходимо построить семейство корреляционных функций вида

$$FrameKorr_{SlotNum}[k] = \sum_{n=1}^{256} X[n + SlotPos[SlotNum]]C_{SSC,k}[n],$$

$$k = 1, \dots, 16; SlotNum = 0, \dots, 14, \quad (3.3)$$

где, $SlotNum$ — номер слота в котором определяется вторичный синхрокод, а $SlotPos[SlotNum]$ — положение начала слота с номером $SlotNum$, полученное из процедуры слотовой синхронизации и измеряемое в чипах. Положения пиков в каждой из 15 корреляционных функциях $FrameKorr_{SlotNum}$ дают последовательность A номеров вторичных синхрокодов в 15 подряд идущих слотах. Тогда для определения номера группы первичного скремблирующего кода и начала кадра необходимо найти в таблице $Table_{SSC}$ строку с последовательностью B , “наиболее похожей” на последовательность A с учетом всех циклических сдвигов последней. В качестве меры похожести последовательностей можно использовать величину

$$DSeq = \sum_{k=1}^{15} \text{sign} |A_{Offset}[k] - B_{GN}[k]|, \quad GN = 1, \dots, 64, Offset = 0, \dots, 14, \quad (3.4)$$

где последовательность A_{Offset} получена из последовательности A путем циклического сдвига влево на Offset элементов, GN — номер строки таблицы $\text{Table}_{\text{SSC}}$ с последовательностью B , значение $DS = 0$ указывает на одинаковые последовательности, а $DS = 15$ — на последовательности, у которых все элементы с одинаковыми номерами не совпадают. Значения GN и Offset , минимизирующие значение DS , определяют номер группы первичного скремблирующего кода и сдвиг до начала кадра в слотах соответственно.

Определение номера первичного скремблирующего кода

Как было сказано выше, в стандарте UMTS определено 512 наборов скремблирующих кодов, в каждом из которых содержится по одному первичному и пятнадцать вторичных скремблирующих кодов. 512 наборов кодов делятся на 64 группы по 8 наборов в группе. Номер группы и набора в группе однозначно определяют первичный скремблирующий код. Следовательно, зная номер группы GN , полученный при кадровой синхронизации, остается определить номер кода в группе, т. е. выбрать один из восьми возможных первичных скремблирующих кодов. Для этого можно использовать первичный пилот-канал P-CPICH, так как именно для него заранее известны значение коэффициента расширения $SF = 256$, номер каналообразующего кода $N = 0$ и передаваемая информационная последовательность в течение одного кадра. Таким образом, в качестве первичного скремблирующего кода можно выбрать тот код из восьми возможных, который обеспечит наибольшую похожесть передаваемой в первичном пилот-канале информации на заранее заданную. Для этого построим корреляционную функцию вида:

$$\text{KodeKorr}[n] = \sum_{m=0}^{149} \left| \sum_{k=1}^{256} X[k + 256m] \mathbf{S}_{dl,16(8GN+n)}^*[k + 256m] \right|, n = 0, \dots, 7, \quad (3.5)$$

где $\mathbf{S}_{dl,16(8GN+n)}$ — первичный скремблирующий код с номером n в группе GN , и при построении KodeKorr учтено, что каналообразующий код $\mathbf{C}_{\text{ch},256,0}$ первичного пилот-канала состоит только из логиче-

ских 1, а информационная последовательность передаваемая по первичному пилот-каналу состоит только из логических 0. Положение пика KodeKorr (рис. 3.37) определяет номер первичного скремблирующего кода в группе GN .

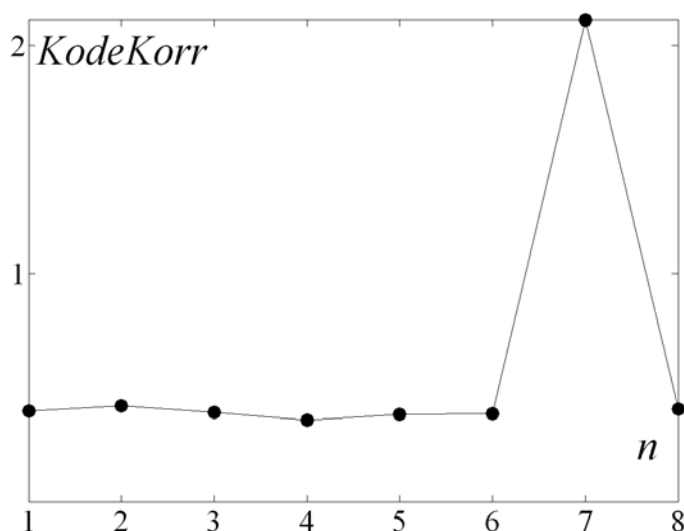


Рис. 3. 37. График функции KodeKorr

Чтение широковещательного канала ВСН

В результате процедуры поиска соты ПТ может обнаружить сигналы нескольких БС. Тогда следующим шагом для начала работы является чтение информации широковещательного канала ВСН, обнаруженных БС для того, чтобы определить, принадлежат ли БС к сети обслуживающей данный ПТ, и если да, то свободны ли БС для процедуры регистрации абонента. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить процедуры демодуляции и декодирования для канала ВСН. Остановимся подробнее на рассмотрении этих этапов.

Демодуляция канала Р-ССРСН

Канал ВСН отображается на первичный общий физический канал управления Р-ССРСН, коэффициент расширения и номер каналаобразующего кода которого одинаковы для всех базовых станций и равны соответственно $SF = 256$ и $C_{ch,256,1}$. Номер первичного скремблирующего кода и положение начала кадра для Р-ССРСН были получены в

ходе процедуры поиска соты. Таким образом, можно непосредственно произвести считывание бит, переносимых каналом Р-ССРСН. Логично производить чтение целыми кадрами (покадрово) в силу того, что длительность первичного скремблирующего кода совпадает с длительностью одного кадра. Учитывая, что $SF = 256$, и первые 256 чипов каждого слота не используются для передачи данных в канале Р-ССРСН (в это время передаются сигналы Р-SCH и S-SCH), один кадр содержит 270 информационных бит. Итак, алгоритм демодуляции одного кадра канала Р-ССРСН может быть описан следующим образом:

алг % Демодуляция одного кадра канала Р-ССРСН

нач

нц для k от 1 до 38400

$\text{FrameChips}[k] := X[k + \text{FrameOffset}]$

кц

нц для k от 1 до 38400

$\text{BaseChips}[k] := X[k + \text{FrameOffset}] \cdot S_{dl,16(8GN+n)}^*[k]$

кц

нц для m от 0 до 14

нц для n от 0 до 9

нц для k от 1 до 256

$\text{PosInFrame} := k + 256 \cdot n + 2560 \cdot m$

$\text{PilotChips}[\text{PosInFrame}] := \text{BaseChips}[\text{PosInFrame}] \cdot C_{\text{ch},256,0}[k]$

$\text{DataChips}[\text{PosInFrame}] := \text{BaseChips}[\text{PosInFrame}] \cdot C_{\text{ch},256,1}[k]$

кц

кц

кц

$\text{Pos} := 1$

нц для m от 0 до 14

нц для n от 1 до 9

$\text{PilotSample} := 0; \text{DataSample} := 0$

$\text{DiBitStartPos} := n \cdot 256 + m \cdot 2560;$

нц для k от 1 до 256

```

PilotSample := PilotSample + PilotChips[k + DiBitStartPos]
DataSample := DataSample + DataChips[k + DiBitStartPos]
    кц
ConstellationPoint := (1 + j) · DataSample / PilotSample
    если Real(ConstellationPoint) > 0 то Point1 := 1
    иначе Point1 := -1
    все
    если Imag(ConstellationPoint) > 0 то Point2 := 1
    иначе Point2 := -1
    все
    bit1 := 2·Point1 - 2; bit2 := 2·Point2 - 2;
    OutPut[Pos] := bit1; OutPut[Pos + 1] := bit2; Pos := Pos + 2;
кц
кц
кон алг

```

Поясним вкратце данный алгоритм.

Прежде всего, в соответствии с длительностью присутствия в общем сигнале рассматриваемого кадра из входного потока данных выделяется подпоследовательность *FrameChips*. Переменная *FrameOffset* есть положение начала кадра во входной последовательности *X*, а значение 38400 — количество чипов в одном кадре. Из выбранной подпоследовательности необходимо выделить сигнал нужной базовой станции *BaseChips*. Это соответствует поэлементному умножению *FrameChips* на значения первичного скремблирующего кода $S_{dl,16(8GN+n)}$, номер которого получен в ходе процедуры поиска соты.

Для выделения сигналов каналов P-CPICH и P-CCPCH последовательность *BaseChips* для каждого из 10 дибит (соответствует $SF = 256$) каждого из 15 слотов кадра поэлементно умножается на соответствующий каналообразующий код, давая в результате две последовательности *PilotChips* и *DataChips*. Определение комплексного отсчета одного дибита для P-CPICH или P-CCPCH канала соответст-

вует сложению соответствующих 256 элементов последовательности PilotChips или DataChips. Для того, чтобы получить точку на сигнальном созвездии, по которой можно будет произвести демодуляцию, необходимо учесть искажение сигнала, вносимое каналом. При этом для каждой пары комплексных отсчетов PilotSample и DataSample считаются выполненными соотношения:

$$\text{PilotSample} = \text{PilotConstellationPoint} \cdot H,$$

$$\text{DataSample} = \text{DataConstellationPoint} \cdot H,$$

где PilotConstellationPoint и DataConstellationPoint — точки сигнального созвездия, установленные при передаче, H — комплексный коэффициент передачи канала. Таким образом, считается, что влияние на данную пару комплексных отсчетов со стороны канала одинаковое. Тогда из этих соотношений, очевидно, следует:

$$\begin{aligned} \text{DataConstellationPoint} &= \text{DataSample} \times \\ &\times \text{PilotConstellationPoint} / \text{PilotSample}. \end{aligned}$$

Наконец, учитывая, что $\text{PilotConstellationPoint} = 1 + j$, получаем

$$\text{DataConstellationPoint} = (1 + j) \text{DataSample} / \text{PilotSample}.$$

Далее необходимо произвести демодуляцию в соответствии с сигнальным созвездием, при этом функции Real и Imag означают соответственно взятие вещественной или мнимой компоненты комплексного числа. Наконец, полученная пара точек Point1 и Point2 сигнального созвездия демодулируется, и два бита bit1 и bit2 записываются в выходную последовательность OutPut.

Декодирование канала ВСН

Для получения пакетов логического канала ВСН необходимо учесть, что перед тем, как их передавать, производится ряд преобразований для получения возможности исправлять ошибки, появляющихся при прохождении сигнала по каналу связи. На рис. 3.38 представлена последовательность преобразований исходных пакетов логического канала ВСН, производимая в передатчике. Очевидно, что в приемнике должны выполняться обратные преобразования в обрат-

ном порядке. Рассмотрим подробнее все обратные преобразования по порядку.

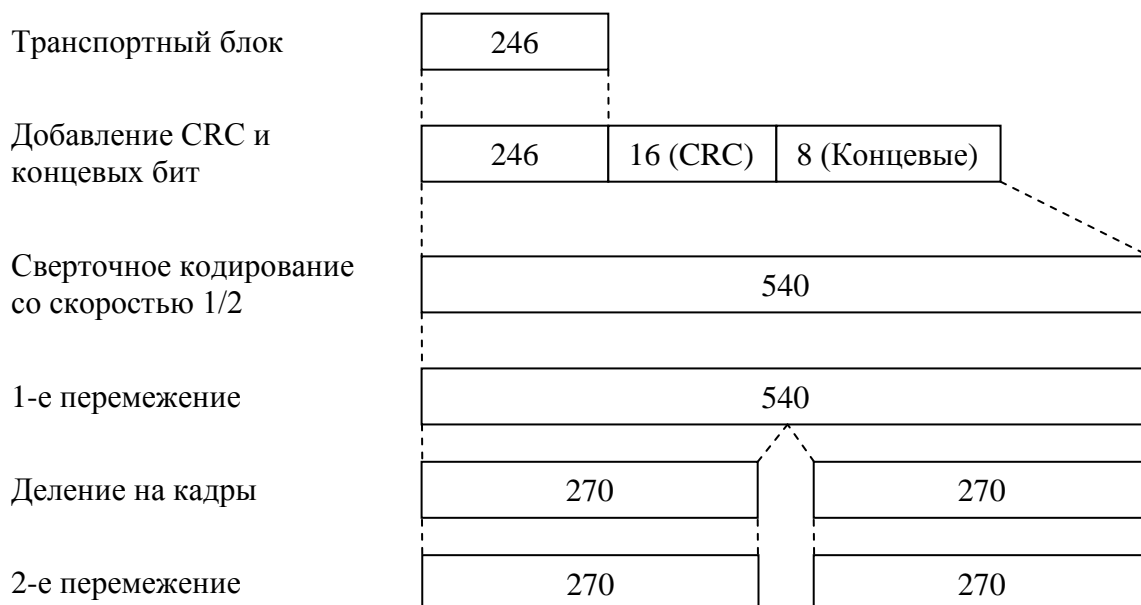


Рис. 3.38. Этапы преобразования пакета ВСН на передающей стороне

Как следует из рис. 3.38, один пакет логического канала ВСН передается в течение двух кадров физического канала Р-ССРСН, при этом заранее неизвестно, какие кадры являются четными (первыми в паре, несущей пакет ВСН) и нечетными. Для определения четности используется метод проб, т. е. производится ряд попыток получения пакета ВСН из всех возможных пар кадров канала Р-ССРСН: (1, 2), (2, 3), (3, 4) и т. д. Параметром качества при этом является проверка целостности сообщения CRC16, а количество проверяемых пар кадров канала Р-ССРСН зависит от предустановок приемного устройства: чем оно больше, тем больше вероятность получить хоть один правильно декодированный пакет ВСН. Очевидно, что в самом простом случае можно ограничиться парами (1, 2) и (2, 3).

Входными данными для блока 2-го деперемежения является 270-битная последовательность OutPut. Произведем ее переобозначение в соответствии со спецификацией 25.212:

$$v_p = \text{OutPut},$$

причем индекс последовательности равен номеру кадра в паре кадров (канала Р-ССРСН), из которого получена последовательность. Операция 2-го деперемежения одинакова для v_1 и v_2 , поэтому далее для определенности будем указывать только v_1 .

Все элементы v_1 , начиная с первого, записываются в столбцы матрицы I_2 размерностью 9 строк и 30 столбцов:

$$I_2 = \begin{pmatrix} v_1[1] & v_1[10] & \cdots & v_1[262] \\ v_1[2] & v_1[11] & \cdots & v_1[263] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_1[9] & v_1[18] & \cdots & v_1[270] \end{pmatrix},$$

после чего столбцы матрицы перемешиваются по следующему правилу:

Старый номер столбца	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Новый номер столбца	0	12	25	6	18	3	15	26	9	22
Старый номер столбца	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Новый номер столбца	2	13	24	7	19	4	16	29	10	21
Старый номер столбца	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Новый номер столбца	1	14	27	8	20	5	17	28	11	23

Выходная деперемеженная последовательность u_1 получается путем чтения элементов из матрицы I_2 по строкам:

$$I_2 = \begin{pmatrix} u_1[1] & u_1[2] & \cdots & u_1[30] \\ u_1[31] & u_1[32] & \cdots & u_1[60] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_1[241] & u_1[242] & \cdots & u_1[270] \end{pmatrix}$$

Блок объединения кадров производит конкатенацию (сцепление) последовательностей u_1 и u_2 так, что первые 270 бит выходной последовательности x совпадают с последовательностью u_1 , остальные — с последовательностью u_2 .

Блок 1-го деперемежения отличается от блока 2-го деперемежения отсутствием перемешивания столбцов и тем, что матрица I_1 со-

стоит из двух столбцов и 270 строк. Тогда последовательность x записывается в I_1 по столбцам:

$$I_2 = \begin{pmatrix} x[1] & x[271] \\ x[2] & x[272] \\ \vdots & \vdots \\ x[270] & x[540] \end{pmatrix},$$

а выходная деперемеженная последовательность h получается путем чтения элементов из матрицы I_2 по строкам:

$$I_2 = \begin{pmatrix} h[1] & h[2] \\ h[3] & h[4] \\ \vdots & \vdots \\ h[539] & h[540] \end{pmatrix}.$$

Для пакетов канала ВСН используется сверточное кодирование со скоростью $1/2$ и порождающими полиномами (561, 753). При этом для ускорения процедуры декодирования при кодировании в конец блока добавляются 8 нулевых концевых бит (декодирование целесообразно проводить по алгоритму Витерби). Выходная последовательность b состоит из 270 бит.

Для контроля целостности сообщения необходимо произвести деление двух многочленов. Делимый многочлен имеет вид:

$$a[1]D^{261} + a[2]D^{260} + \dots \\ \dots + a[246]D^{16} + p[16]D^{15} + p[15]D^{14} + \dots + p[2]D + p[1],$$

где последовательность a есть первые 246 элементов последовательности b , а последовательность p — с 247 по 262 элементы последовательности b . Многочлен-делитель (см. разд. 3.1) имеет вид

$$g_{CRC16}(D) = D^{16} + D^{12} + D^5 + 1.$$

Если остаток при делении указанных многочленов окажется нулевым, то пакет считается декодированным безошибочно.

Вопросы и задания

1. Перечислите основные этапы формирования кодированного композитного транспортного канала CСТrС для группы нисходящих каналов DСН, ВСН, FАСН, РСН.
2. Для чего проводится процедура выравнивания скоростей передачи данных? В чем заключается данная процедура? В чем заключаются особенности данной процедуры применительно к схемам формирования, использующим сверточное помехоустойчивое кодирование, турбокодирование?
3. Что такое биты индикации прерывистой передачи (биты DTХ), каким образом они формируются?
4. Перечислите основные типы кодированных композитных транспортных каналов CСТrС и ограничения, накладываемые при их формировании.
5. В чем заключается суть процедуры расширения данных? Для чего проводится эта процедура?
6. Перечислите основные восходящие и нисходящие физические каналы.
7. В чем заключается процедура скремблирования данных?
8. Оцените корректирующую способность кодовых конструкций, участвующих в формировании физических каналов.
9. В каком частотном диапазоне функционируют сети UMTS в России и Европе?
10. Какой вид имеют структурные схемы устройств оптимального поэлементного приёма сигналов с модуляцией ФМ-2, КАМ-4, КАМ-16 и КАМ-64? Какова помехоустойчивость такого приёма?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Биккенин Р.Р.* Теория электрической связи : учебное пособие для студ. высших учебных заведений / Р. Р. Биккенин, М. Н. Чесноков. — М. : Издательский центр “Академия”, 2010. — 336 с.
2. *Макаров С. Б.* Телекоммуникационные технологии: введение в технологии GSM : учеб. пособие для высш. учеб. заведений / С. Б. Макаров, Н. В. Певцов, Е. А. Попов, М. А. Сиверс. — М. : Издательский центр “Академия”, 2006. — 256 с.
3. *Ипатов В. П.* Системы мобильной связи : учебное пособие для вузов / В. П. Ипатов, В. К. Орлов, И. М. Самойлов, В. Н. Смирнов. — М. : Горячая линия — Телеком, 2003. — 272 с.
4. *Волков А. Н.* UMTS. Стандарт сотовой связи третьего поколения / А. Н. Волков, А. Е. Рыжков, М. А. Сиверс. — СПб. : Издательство “Линк”, 2008. — 224 с.
5. *Невдяев Л. М.* Мобильная связь 3-го поколения / Л. М. Невдяев. — М. : МЦНТИ, 2000. — 208 с.
6. *Кааринен Х.* Сети UMTS. Архитектура, мобильность, сервисы / Х. Кааринен, А. Ахтиайнен, Л. Лаитинен, С. Найан, В. Ниemi. — М. : Техносфера, 2007. — 464 стр.
7. *Попов Е. А.* Технология GPRS пакетной передачи данных в сетях GSM : учеб. пособие / Е. А. Попов. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2008. — 182 с.
8. *Ипатов В.* Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения / В. Ипатов. — М. : Техносфера, 2007. — 488 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1

Содержания полей Pilot слотов восходящего канала DPCCH

	$N_{\text{pilot}} = 3$			$N_{\text{pilot}} = 4$				$N_{\text{pilot}} = 5$					$N_{\text{pilot}} = 6$					
№ бита	0	1	2	0	1	2	3	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	5
Слот 0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0
Слот 1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0
Слот 2	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
Слот 3	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Слот 4	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1
Слот 5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0
Слот 6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0
Слот 7	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0
Слот 8	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0
Слот 9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Слот 10	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1
Слот 11	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
Слот 12	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0
Слот 13	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1
Слот 14	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1
	$N_{\text{pilot}} = 7$										$N_{\text{pilot}} = 8$							
№ бита	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	7			
Слот 0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0			
Слот 1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0			
Слот 2	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1			
Слот 3	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0			
Слот 4	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1			
Слот 5	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0			
Слот 6	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0			
Слот 7	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0			
Слот 8	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0			
Слот 9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
Слот 10	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1			
Слот 11	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1			
Слот 12	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0			
Слот 13	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1			
Слот 14	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1			

Таблица П.2

Содержания полей Pilot управляющей части сообщения канала RACH

	$N_{\text{pilot}} = 8$							
№ бита	0	1	2	3	4	5	6	7
Слот 0	1	1	1	1	1	1	1	0
Слот 1	1	0	1	0	1	1	1	0
Слот 2	1	0	1	1	1	0	1	1
Слот 3	1	0	1	0	1	0	1	0
Слот 4	1	1	1	0	1	0	1	1
Слот 5	1	1	1	1	1	1	1	0
Слот 6	1	1	1	1	1	0	1	0
Слот 7	1	1	1	0	1	0	1	0
Слот 8	1	0	1	1	1	1	1	0
Слот 9	1	1	1	1	1	1	1	1
Слот 10	1	0	1	1	1	0	1	1
Слот 11	1	1	1	0	1	1	1	1
Слот 12	1	1	1	0	1	0	1	0
Слот 13	1	0	1	0	1	1	1	1
Слот 14	1	0	1	0	1	1	1	1

Таблица П.3

Содержание полей Pilot нисходящего канала DPSSN

	$N_{\text{pilot}} = 2$	$N_{\text{pilot}} = 4$ (*1)		$N_{\text{pilot}} = 8$ (*2)				$N_{\text{pilot}} = 16$ (*3)							
№ сим- вола	0	0	1	0	1	2	3	0	1	2	3	4	5	6	7
Слот 0	11	11	11	11	11	11	10	11	11	11	10	11	11	11	10
Слот 1	00	11	00	11	00	11	10	11	00	11	10	11	11	11	00
Слот 2	01	11	01	11	01	11	01	11	01	11	01	11	10	11	00
Слот 3	00	11	00	11	00	11	00	11	00	11	00	11	01	11	10
Слот 4	10	11	10	11	10	11	01	11	10	11	01	11	11	11	11
Слот 5	11	11	11	11	11	11	10	11	11	11	10	11	01	11	01
Слот 6	11	11	11	11	11	11	00	11	11	11	00	11	10	11	11
Слот 7	10	11	10	11	10	11	00	11	10	11	00	11	10	11	00
Слот 8	01	11	01	11	01	11	10	11	01	11	10	11	00	11	11
Слот 9	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	00	11	11
Слот 10	01	11	01	11	01	11	01	11	01	11	01	11	11	11	10
Слот 11	10	11	10	11	10	11	11	11	10	11	11	11	00	11	10
Слот 12	10	11	10	11	10	11	00	11	10	11	00	11	01	11	01
Слот 13	00	11	00	11	00	11	11	11	00	11	11	11	00	11	00
Слот 14	00	11	00	11	00	11	11	11	00	11	11	11	10	11	01

Примечание.

Значение $N_{\text{pilot}} = 4$ используется во всех слотах, кроме конфигураций 2В и 3В.

Значение $N_{\text{pilot}} = 8$ используется во всех слотах, кроме конфигураций 0В, 1В, 4В, 5В, 8В и 9В.

Значение $N_{\text{pilot}} = 16$ используется во всех слотах, кроме конфигураций 6В, 7В, 10В, 11В, 12В и 13В

Таблица П.4

Содержание полей Pilot нисходящего канала S-ССРСН

	$N_{\text{pilot}} = 8$				$N_{\text{pilot}} = 16$							
№ символа	0	1	2	3	0	1	2	3	4	5	6	7
Слот 0	11	11	11	10	11	11	11	10	11	11	11	10
Слот 1	11	00	11	10	11	00	11	10	11	11	11	00
Слот 2	11	01	11	01	11	01	11	01	11	10	11	00
Слот 3	11	00	11	00	11	00	11	00	11	01	11	10
Слот 4	11	10	11	01	11	10	11	01	11	11	11	11
Слот 5	11	11	11	10	11	11	11	10	11	01	11	01
Слот 6	11	11	11	00	11	11	11	00	11	10	11	11
Слот 7	11	10	11	00	11	10	11	00	11	10	11	00
Слот 8	11	01	11	10	11	01	11	10	11	00	11	11
Слот 9	11	11	11	11	11	11	11	11	11	00	11	11
Слот 10	11	01	11	01	11	01	11	01	11	11	11	10
Слот 11	11	10	11	11	11	10	11	11	11	00	11	10
Слот 12	11	10	11	00	11	10	11	00	11	01	11	01
Слот 13	11	00	11	11	11	00	11	11	11	00	11	00
Слот 14	11	00	11	11	11	00	11	11	11	10	11	01

Таблица П.5

Распределение ВСП по слотам

кодовая скремблирующая группа	Номер слота														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Группа 0	1	1	2	8	9	10	15	8	10	16	2	7	15	7	16
Группа 1	1	1	5	16	7	3	14	16	3	10	5	12	14	12	10
Группа 2	1	2	1	15	5	5	12	16	6	11	2	16	11	15	12
Группа 3	1	2	3	1	8	6	5	2	5	8	4	4	6	3	7
Группа 4	1	2	16	6	6	11	15	5	12	1	15	12	16	11	2
Группа 5	1	3	4	7	4	1	5	5	3	6	2	8	7	6	8
Группа 6	1	4	11	3	4	10	9	2	11	2	10	12	12	9	3

Продолжение таблицы П.5

кодированная скремблирующая группа	Номер слота														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Группа 7	1	5	6	6	14	9	10	2	13	9	2	5	14	1	13
Группа 8	1	6	10	10	4	11	7	13	16	11	13	6	4	1	16
Группа 9	1	6	13	2	14	2	6	5	5	13	10	9	1	14	10
Группа 10	1	7	8	5	7	2	4	3	8	3	2	6	6	4	5
Группа 11	1	7	10	9	16	7	9	15	1	8	16	8	15	2	2
Группа 12	1	8	12	9	9	4	13	16	5	1	13	5	12	4	8
Группа 13	1	8	14	10	14	1	15	15	8	5	11	4	10	5	4
Группа 14	1	9	2	15	15	16	10	7	8	1	10	8	2	16	9
Группа 15	1	9	15	6	16	2	13	14	10	11	7	4	5	12	3
Группа 16	1	10	9	11	15	7	6	4	16	5	2	12	13	3	14
Группа 17	1	11	14	4	13	2	9	10	12	16	8	5	3	15	6
Группа 18	1	12	12	13	14	7	2	8	14	2	1	13	11	8	11
Группа 19	1	12	15	5	4	14	3	16	7	8	6	2	10	11	13
Группа 20	1	15	4	3	7	6	10	13	12	5	14	16	8	2	11
Группа 21	1	16	3	12	11	9	13	5	8	2	14	7	4	10	15
Группа 22	2	2	5	10	16	11	3	10	11	8	5	13	3	13	8
Группа 23	2	2	12	3	15	5	8	3	5	14	12	9	8	9	14
Группа 24	2	3	6	16	12	16	3	13	13	6	7	9	2	12	7
Группа 25	2	3	8	2	9	15	14	3	14	9	5	5	15	8	12
Группа 26	2	4	7	9	5	4	9	11	2	14	5	14	11	16	16
Группа 27	2	4	13	12	12	7	15	10	5	2	15	5	13	7	4
Группа 28	2	5	9	9	3	12	8	14	15	12	14	5	3	2	15
Группа 29	2	5	11	7	2	11	9	4	16	7	16	9	14	14	4
Группа 30	2	6	2	13	3	3	12	9	7	16	6	9	16	13	12
Группа 31	2	6	9	7	7	16	13	3	12	2	13	12	9	16	6
Группа 32	2	7	12	15	2	12	4	10	13	15	13	4	5	5	10
Группа 33	2	7	14	16	5	9	2	9	16	11	11	5	7	4	14
Группа 34	2	8	5	12	5	2	14	14	8	15	3	9	12	15	9
Группа 35	2	9	13	4	2	13	8	11	6	4	6	8	15	15	11
Группа 36	2	10	3	2	13	16	8	10	8	13	11	11	16	3	5
Группа 37	2	11	15	3	11	6	14	10	15	10	6	7	7	14	3
Группа 38	2	16	4	5	16	14	7	11	4	11	14	9	9	7	5
Группа 39	3	3	4	6	11	12	13	6	12	14	4	5	13	5	14
Группа 40	3	3	6	5	16	9	15	5	9	10	6	4	15	4	10

Окончание таблицы П.5

кодированная скремблирующая группа	Номер слота														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Группа 41	3	4	5	14	4	6	12	13	5	13	6	11	11	12	14
Группа 42	3	4	9	16	10	4	16	15	3	5	10	5	15	6	6
Группа 43	3	4	16	10	5	10	4	9	9	16	15	6	3	5	15
Группа 44	3	5	12	11	14	5	11	13	3	6	14	6	13	4	4
Группа 45	3	6	4	10	6	5	9	15	4	15	5	16	16	9	10
Группа 46	3	7	8	8	16	11	12	4	15	11	4	7	16	3	15
Группа 47	3	7	16	11	4	15	3	15	11	12	12	4	7	8	16
Группа 48	3	8	7	15	4	8	15	12	3	16	4	16	12	11	11
Группа 49	3	8	15	4	16	4	8	7	7	15	12	11	3	16	12
Группа 50	3	10	10	15	16	5	4	6	16	4	3	15	9	6	9
Группа 51	3	13	11	5	4	12	4	11	6	6	5	3	14	13	12
Группа 52	3	14	7	9	14	10	13	8	7	8	10	4	4	13	9
Группа 53	5	5	8	14	16	13	6	14	13	7	8	15	6	15	7
Группа 54	5	6	11	7	10	8	5	8	7	12	12	10	6	9	11
Группа 55	5	6	13	8	13	5	7	7	6	16	14	15	8	16	15
Группа 56	5	7	9	10	7	11	6	12	9	12	11	8	8	6	10
Группа 57	5	9	6	8	10	9	8	12	5	11	10	11	12	7	7
Группа 58	5	10	10	12	8	11	9	7	8	9	5	12	6	7	6
Группа 59	5	10	12	6	5	12	8	9	7	6	7	8	11	11	9
Группа 60	5	13	15	15	14	8	6	7	16	8	7	13	14	5	16
Группа 61	9	10	13	10	11	15	15	9	16	12	14	13	16	14	11
Группа 62	9	11	12	15	12	9	13	13	11	14	10	16	15	14	16
Группа 63	9	12	10	15	13	14	9	14	15	11	11	13	12	16	10

Гельгор Александр Леонидович
Попов Евгений Александрович

СОТОВЫЕ СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА UMTS

Учебное пособие

Лицензия ЛР № 020593 от 07.08.97
Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, т. 2; 953005 – учебная литература

Подписано к печати Формат 60х84/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 14,19 . Уч.-изд. л. . Тираж экз. Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного авторами,
в Цифровом типографском центре
Издательства Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 550-40-14.
Тел./факс: (812) 297-57-76.