

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.2047-0
(12/2013)

Подробные спецификации спутниковых радиоинтерфейсов перспективной Международной подвижной электросвязи (IMT-Advanced)

Серия М

**Подвижная спутниковая служба,
спутниковая служба радиоопределения,
любительская спутниковая служба
и относящиеся к ним спутниковые службы**



Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

| Серия | Название |
|----------|--|
| BO | Спутниковое радиовещание |
| BR | Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения |
| BS | Радиовещательная служба (звуковая) |
| BT | Радиовещательная служба (телевизионная) |
| F | Фиксированная служба |
| M | Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы |
| P | Распространение радиоволн |
| RA | Радиоастрономия |
| RS | Системы дистанционного зондирования |
| S | Фиксированная спутниковая служба |
| SA | Космические применения и метеорология |
| SF | Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы |
| SM | Управление использованием спектра |
| SNG | Спутниковый сбор новостей |
| TF | Передача сигналов времени и эталонных частот |
| V | Словарь и связанные с ним вопросы |

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2015 г.

© ITU 2015

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.2047-0

**Подробные спецификации спутниковых радиointерфейсов перспективной
Международной подвижной электросвязи (IMT-Advanced)**

(2013)

Сфера применения

В настоящей Рекомендации определяются технологии спутниковых радиointерфейсов перспективной Международной подвижной электросвязи (IMT-Advanced) и предоставляются подробные спецификации радиointерфейсов.

Спецификации радиointерфейсов содержат подробные характеристики и параметры спутниковой компоненты системы IMT-Advanced. В настоящей Рекомендации предусматривается возможность обеспечения совместимости в глобальном масштабе, международного роуминга и доступа к услугам передачи данных с высокой скоростью.

Ключевые слова

Спутник; радиointерфейс; IMT-Advanced; SAT-OFDM; BMSat.

Сокращения/гlossарий

| | | |
|------|--|---|
| 3GPP | Third generation partnership project | Проект партнерства третьего поколения |
| ACK | Acknowledgement | Подтверждение |
| AI | Acquisition indicator | Индикатор обнаружения |
| AM | Acknowledge mode | Режим подтверждения |
| AMC | Adaptive modulation and coding | Адаптивная модуляция и кодирование |
| ARQ | Automatic repeat request | Автоматический запрос повторения |
| AS | Access stratum | Уровень доступа |
| 3GPP | 3 rd Generation partnership project | Проект партнерства третьего поколения |
| BCCH | Broadcast control channel | Широковещательный канал управления |
| BCH | Broadcast channel | Широковещательный канал |
| BPSK | Binary phase shift keying | Двоичная фазовая манипуляция |
| BSR | Buffer status reporting | Отчет о состоянии буфера |
| CCCH | Common control channel | Общий канал управления |
| CCE | Control channel element | Элемент канала управления |
| CCSA | China communications standards association | Ассоциация в области стандартов связи Китая |
| CFI | Control format indicator | Индикатор формата управления |
| CGC | Complementary ground component | Дополнительная наземная компонента |
| CoMT | Coordinated multi-point transmission | Координированная многоадресная передача |
| CP | Cyclic prefix | Циклический префикс |
| CQI | Channel quality information | Информация о качестве канала |

| | | | |
|-----------|--|-----|--|
| CRC | Cyclic redundancy check | | Циклическая проверка избыточности |
| CRS | Cell-specific reference signals | | Опорные сигналы конкретной соты |
| C-RNTI | Control-radio network temporary identifier | | Временный идентификатор сети управления радиодоступом |
| CSI | Channel state information | | Информация о состоянии канала |
| DCCH | Dedicated control channel | | Специализированный канал управления |
| DCI | Downlink control information | | Управляющая информация на линии вниз |
| DFT | Discrete Fourier transform | ДПФ | Дискретное преобразование Фурье |
| DFTS-OFDM | Discrete Fourier transform-spread orthogonal frequency division multiplexing | | Мультиплексирование с ортогональным разделением частот на основе расширения спектра дискретным преобразованием Фурье |
| DL | Downlink | | Линия вниз |
| DL-SCH | Downlink shared channel | | Совместно используемый канал на линии вниз |
| DM-RS | Demodulation reference signals | | Опорные сигналы демодуляции |
| DSAT-eNB | Donor satellite eNodeB | | Узел eNodeB спутника-донора |
| DTCH | Dedicated traffic channel | | Выделенный канал нагрузки |
| ECR | Efficient code rate | | Эффективная кодовая скорость |
| EF | Envelop fluctuation | | Флуктуация огибающей |
| EIRP | Equivalent isotropically radiated power | | Эквивалентная изотропно излучаемая мощность (э.и.и.м.) |
| E-PPCH | Enhanced physical paging channel | | Улучшенный физический пейджинговый канал |
| E-USRA | Evolved universal satellite radio access | | Расширенный универсальный спутниковый радиодоступ |
| E-USRAN | Evolved universal satellite radio access network | | Сеть расширенного универсального спутникового радиодоступа |
| FEC | Forward error correction | | Упреждающая коррекция ошибок |
| FDD | Frequency division duplexing | | Дуплексирование с частотным разделением |
| FDMA | Frequency division multiple access | | Многостанционный доступ с частотным разделением каналов |
| FFR | Fractional frequency reuse | | Частичное повторное использование частот |
| FSTD | Frequency switched transmit diversity | | Разнесение при передаче с переключением по частоте |
| GBR | Guaranteed bit rate | | Гарантированная скорость передачи данных |
| GEO | Geostationary earth orbit | | Геостационарная околоземная орбита |
| GNSS | Global navigation satellite system | | Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) |
| GPS | Global positioning system | | Глобальная система определения местоположения |
| GSO | Geostationary-satellite orbit | | Геостационарная спутниковая орбита |

| | | |
|-------|---|---|
| G/T | Antenna gain-to-noise temperature | Отношение усиления к шумовой температуре антенны |
| GTP | General packet radio service tunnelling protocol | Протокол туннелирования службы пакетной радиосвязи общего пользования |
| HARQ | Hybrid ARQ | Гибридный метод ARQ |
| HEO | Highly elliptical orbit | Сильно вытянутая эллиптическая орбита |
| HI | HARQ indicator | Индикатор HARQ |
| IBIC | Inter-beam interference coordination | Координация межлучевых помех |
| ID | Identity | Идентичность |
| IFFT | Inverse fast Fourier transform | Обратное быстрое преобразование Фурье |
| IMAP | Internet message access protocol | Протокол доступа к сообщениям интернета |
| IMT | International Mobile Telecommunications | Международная подвижная электросвязь |
| IP | Internet protocol | Интернет-протокол |
| ITS | Intelligent transport systems | Интеллектуальные транспортные системы |
| IU | Interleaving unit | Блок перемежения |
| L2 | Layer 2 | Уровень 2 |
| LCID | Logical channel identifier | Идентификатор логического канала |
| LEO | Low earth orbit | Низкая околоземная орбита |
| LHCP | Left hand circular polarisation | Левосторонняя круговая поляризация |
| LTE | Long term evolution | Долгосрочное развитие |
| MAC | Medium access control | Управление доступом к среде передачи |
| MBMS | Multimedia broadcast and multicast service | Услуга мультимедийной ширококвещательной и многоадресной передачи |
| MBSFN | Multicast/broadcast over a single frequency network | Многоадресные/широковещательные передачи в одночастной сети |
| MCCH | Multicast control channel | Многоадресный канал управления |
| MCH | Multicast channel | Многоадресный канал |
| MCS | Modulation and coding scheme | Схема модуляции и кодирования |
| MEO | Medium earth orbit | Средняя околоземная орбита |
| MES | Mobile earth station | Подвижная земная станция |
| MIMO | Multiple input and multiple output antennas | Антенны со многими входами и многими выходами |
| MME | Mobility management entity | Объект управления мобильностью |
| MMEC | Mobility management entity code | Код объекта управления мобильностью |
| MSS | Mobile satellite service | Подвижная спутниковая служба (ПСС) |
| MTCH | Multicast traffic channel | Канал многоадресной нагрузки |
| NACK | Negative-acknowledgement | Неподтверждение приема |
| N/A | Not applicable | Не применяется |

| | | |
|--------|---|--|
| NAS | Non-access stratum | Уровень "без доступа" |
| NDI | New data indicator | Индикатор новых данных |
| OAM | Network operations and maintenance | Эксплуатация и техническое обслуживание сетей |
| OFDM | Orthogonal frequency division multiplexing | Мультиплексирование с ортогональным разделением частот |
| OFDMA | Orthogonal frequency division multiple access | Многостанционный доступ с ортогональным разделением частот |
| OSC | Offset-modulated single-carrier | Одиночная несущая, модулируемая смещением |
| PAPR | Peak to average power ratio | Отношение пиковой мощности к средней |
| PBCH | Physical broadcast channel | Физический широковещательный канал |
| PCCC | Parallel concatenated convolutional code | Параллельный каскадный сверточный код |
| PCCH | Paging control channel | Пейджинговый канал управления |
| PCFICH | Physical control format indicator channel | Физический канал индикации формата управления |
| PCH | Paging channel | Пейджинговый канал |
| PDCCH | Physical downlink control channel | Физический канал управления на линии вниз |
| PDCP | Packet data convergence protocol | Протокол конвергенции пакетных данных |
| PDSCH | Physical downlink shared channel | Совместно используемый физический канал на линии вниз |
| PDU | Protocol data unit | Блок данных протоколов |
| PHICH | Physical hybrid ARQ indicator channel | Физический канал индикации для гибридной схемы ARQ |
| PMCH | Physical multicast channel | Физический канал многоадресной передачи |
| PMI | Precoding matric indicator | Матричный индикатор предварительного кодирования |
| POP | Post office protocol | Почтовый протокол |
| PRACH | Physical random access channel | Физический канал случайного доступа |
| PRB | Physical resource block | Блок физических ресурсов |
| PRS | Positioning reference signals | Опорные сигналы определения местоположения |
| PSD | Power spectral density | Спектральная плотность мощности |
| PSRACH | Physical satellite random access channel | Физический спутниковый канал случайного доступа |
| PSS | Primary synchronization channel | Первичный канал синхронизации |
| PUCCH | Physical uplink control channel | Физический канал управления на линии вверх |
| PUSCH | Physical uplink shared channel | Совместно используемый физический канал на линии вверх |

| | | |
|----------|---|---|
| QAM | Quadrature amplitude modulation | Квадратурная амплитудная модуляция |
| QoS | Quality of service | Качество обслуживания |
| QPSK | Quadrature phase shift keying | Квадратурная фазовая манипуляция |
| RA | Random access | Случайный доступ |
| RACH | Random access channel | Канал случайного доступа |
| RAN | Radio access network | Сеть радиодоступа |
| RB | Resource block | Блок ресурсов |
| RBG | Resource block group | Группа блоков ресурсов |
| RE | Resource element | Элемент ресурсов |
| RF | Radio frequency | Радиочастота |
| RHCP | Right hand circular polarisation | Правосторонняя круговая поляризация |
| RI | Rank indicator | Индикатор ранжирования |
| RIT | Radio Interface Technology | Технология радиointерфейсов |
| RLC | Radio link control | Управление радиолинией |
| RM | Receiver memory | Память приемника |
| ROHC | Robust header compression | Устойчивая компрессия заголовков |
| RRC | Radio resource control | Управление радиоресурсами |
| RRM | Radio resource management | Менеджмент радиоресурсов |
| RS | Reference signal | Опорный сигнал |
| RTD | Round trip delay | Круговая задержка |
| Rx | Receiver | Приемник |
| S-eNodeB | Satellite eNodeB in the SAT-OFDM | Спутниковый узел eNodeB в интерфейсе SAT-OFDM |
| S1AP | S1 application protocol | Прикладной протокол для интерфейса S1 |
| SAT-eNB | Satellite eNodeB | Спутниковый узел eNodeB |
| SDU | Service data unit | Блок служебных данных |
| S-GW | Serving gateway | Обслуживающий шлюз |
| SC-FDMA | Single carrier frequency division multiple access | Многостанционный доступ с частотным разделением каналов с одной несущей |
| SCH | Synchronization signal | Сигнал синхронизации |
| SFBC | Space-frequency block coding | Пространственно-частотное блочное кодирование |
| SI | System information | Системная информация |
| SIR | Signal to interference ratio | Отношение сигнал/помеха |
| SN | Sequence number | Порядковый номер |
| SNR | Signal to noise ratio | Отношение сигнал/шум |
| SRS | Sounding reference symbol | Зондирующий опорный символ |

| | | |
|--------|---|---|
| SSS | Secondary synchronization channel | Вторичный канал синхронизации |
| STC | Space-time coding | Пространственно-временное кодирование |
| TA | Time advance | Опережение по времени |
| TB | Transport block | Транспортный блок |
| TDM | Time division multiplexing | Мультиплексирование с временным разделением каналов |
| TF | Transport format | Транспортный формат |
| TM | Transparent mode | Прозрачный режим |
| TMSI | Temporary mobile subscriber identity | Временная идентификация абонента подвижной связи |
| TS | Technical specification | Техническая спецификация |
| TTA | Korean telecommunication technology association | Корейская ассоциация технологий электросвязи |
| TTI | Transmission time interval | Временной интервал передачи |
| Tx | Transmitter | Передатчик |
| UCI | Uplink control information | Информация управления на линии вверх |
| UE | User equipment | Пользовательское оборудование |
| UL | Uplink | Линия вверх |
| UL-SCH | Uplink shared channel | Совместно используемый канал на линии вверх |
| UM | Unacknowledged mode | Режим без подтверждения |
| UTC | Coordinated universal time | Всемирное координированное время |
| VARQ | Virtual HARQ | Виртуальный режим HARQ |
| VoIP | Voice over Internet protocol | Передача голоса по интернет-протоколу |
| X2AP | X2 Application Protocol | Прикладной протокол для интерфейса X2 |

Соответствующие Рекомендации, Отчеты и Резолюции МСЭ

| | |
|-----------------------------|--|
| Рекомендация МСЭ-R М.1224-1 | Словарь терминов, относящихся к Международной подвижной электросвязи (ИМТ) |
| Рекомендация МСЭ-R М.1645 | Основы и общие задачи будущего развития ИМТ-2000 и последующих систем |
| Рекомендация МСЭ-R М.1822 | Структура услуг, обеспечиваемых с помощью ИМТ |
| Рекомендация МСЭ-R М.1850-1 | Подробные спецификации радиointерфейсов для спутниковой компоненты Международной подвижной электросвязи 2000 (ИМТ-2000) |
| Отчет МСЭ-R М.2176-1 | Перспективы и требования для спутникового(ых) радиointерфейса(ов) системы ИМТ-Advanced |
| Отчет МСЭ-R М.2279 | Результат оценки, формирование консенсуса и решение о разработке системы ИМТ-Advanced (шаги 4–7), включая характеристики радиointерфейсов системы ИМТ-Advanced |
| Резолюция МСЭ-R 56-1 | Определение названий для международной подвижной электросвязи |
| Резолюция МСЭ-R 57-1 | Принципы процесса разработки системы ИМТ-Advanced |

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a)* что системы Международной подвижной электросвязи (ИМТ), в том числе системы ИМТ-2000 и ИМТ-Advanced, являются системами широкополосной подвижной связи;
- b)* что системы ИМТ-Advanced обладают новыми функциональными возможностями ИМТ, которые превосходят возможности системы ИМТ-2000;
- c)* что такие системы обеспечивают доступ к широкому спектру услуг электросвязи, включая услуги усовершенствованных систем подвижной связи, предоставляемые сетями подвижной и фиксированной связи, в которых все чаще используется пакетная передача;
- d)* что системы ИМТ-Advanced поддерживают приложения со степенью мобильности от низкой до высокой, а также широкий спектр скоростей передачи данных в соответствии с потребностями пользователей и служб в многопользовательских средах;
- e)* что система ИМТ-Advanced поддерживает также мультимедийные приложения высокого качества в широком диапазоне услуг и платформ, обеспечивая значительное улучшение функциональных характеристик и качества обслуживания;
- f)* что система ИМТ-Advanced обладает следующими основными характеристиками:
 - высокая степень унификации выполняемых функций в глобальном масштабе при сохранении гибкости в предоставлении широкого спектра услуг и применений экономичным способом;
 - совместимость услуг в рамках ИМТ и с сетями фиксированной связи;
 - возможность взаимодействия с другими системами радиодоступа;
 - услуги подвижной связи высокого качества;
 - пригодность пользовательского оборудования для применения по всему миру;
 - удобные для пользователя применения, услуги и оборудование;
 - возможность обеспечения всемирного роуминга;
 - более высокие пиковые уровни скорости передачи данных (то есть режим широкополосной связи) для поддержки перспективных услуг и приложений;

g) что эти характеристики позволяют системе IMT-Advanced удовлетворять растущие потребности пользователей;

h) что эти возможности системы IMT-Advanced постоянно совершенствуются в соответствии с изменениями запросов пользователей и разработкой технологий;

j) что спутниковая компонента системы IMT-Advanced является неотъемлемой частью будущей инфраструктуры IMT, включающей оптимальные методы предоставления услуг;

k) что при проектировании и разработке спутниковой системы IMT-Advanced целесообразно поддерживать максимально возможную унификацию с наземной компонентой,

признавая,

a) что в Резолюции МСЭ-R 57-1 "Принципы процесса разработки системы IMT-Advanced" кратко излагаются основные критерии и принципы, используемые в процессе разработки Рекомендаций и Отчетов для системы IMT-Advanced, включая Рекомендацию(и) по спецификациям радиointерфейсов;

b) что в Отчете МСЭ-R М.2279 содержатся выводы и заключения по шагам 4–7 проведения оценки, формирования консенсуса и принятия решений в процессе разработки спутниковой системы IMT-Advanced, включая характеристики спутниковых радиointерфейсов IMT-Advanced,

рекомендует,

1 что для системы IMT-Advanced следует использовать следующие типы спутниковых радиointерфейсов:

- BMSat (широкополосная подвижная спутниковая связь); и
- SAT-OFDM (спутниковое мультиплексирование с ортогональным разделением частот);

2 что информация, приведенная или найденная по ссылкам в Приложениях 1 и 2, должна использоваться в качестве полного набора стандартов для подробных спецификаций спутниковых радиointерфейсов системы IMT-Advanced.

Приложение 1

Спецификация технологии радиointерфейсов BMSat

СОДЕРЖАНИЕ

| | <i>Стр.</i> |
|--|-------------|
| 1.1 Обзор технологии радиointерфейсов | 9 |
| 1.1.1 Обзор технологии радиointерфейсов (RIT) | 9 |
| 1.1.2 Обзор системных аспектов технологии радиointерфейсов (RIT)..... | 9 |
| 1.1.3 Обзор конкретных характеристик технологии радиointерфейсов (RIT) | 23 |
| 1.2 Подробная спецификация технологии радиointерфейсов | 35 |
| 1.2.1 BMSat specific | 36 |
| 1.2.2 Radio Layer 1 (уровень 1 радиointерфейса) | 36 |
| 1.2.3 Radio Layers 2&3 (уровни 2 и 3 радиointерфейса)..... | 37 |
| 1.2.4 Architecture (архитектура)..... | 37 |

1.1 Обзор технологии радиointерфейсов

1.1.1 Обзор технологии радиointерфейсов (RIT)

Спецификации спутниковых радиointерфейсов системы IMT-Advanced, известных под названием BMSat, разрабатываются в Китае. Радиointерфейс BMSat разрабатывается на основе спецификаций усовершенствованной наземной технологии долгосрочного развития (LTE-Advanced) (известной также под названием технологии LTE, версии 10 и последующих версий, разработанной в рамках проекта партнерства третьего поколения (3GPP)) и требований спутниковой связи. В целях адаптации к условиям передачи спутниковых радиосигналов в технологию LTE-Advanced вносятся целый ряд изменений.

BMSat представляет собой технологию радиointерфейсов для режима частотного дуплексного разделения (FDD RIT), предназначенную для работы в парном спектре. Поддерживаются как дуплексный, так и полудуплексный режим FDD. BMSat отвечает всем минимальным требованиям системы IMT-Advanced МСЭ при обязательных условиях открытой местности, определенным во всех аспектах предоставления услуг, использования спектра и технических характеристик.

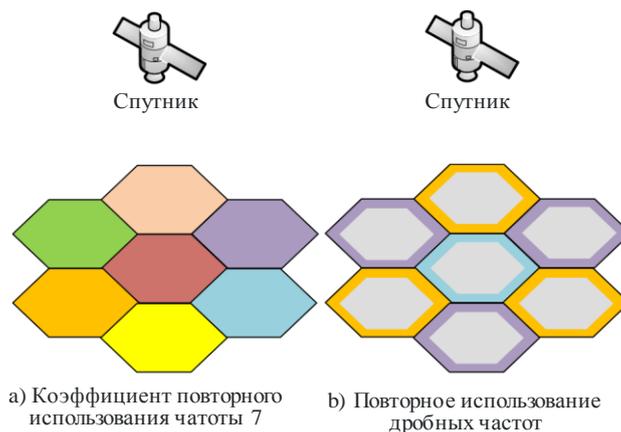
Полный набор стандартов для спутникового радиointерфейса системы IMT-Advanced, определяемого как BMSat, включает не только ключевые характеристики системы IMT-Advanced, но и дополнительные функциональные возможности системы BMSat, каждая из которых непрерывно совершенствуется.

1.1.2 Обзор системных аспектов технологии радиointерфейсов (RIT)

Технология BMSat предназначена главным образом для спутников на геостационарной околоземной орбите (GEO). Предполагается, что каждый спутник развертывается вместе с системами зеркальных антенн, имеющих большие апертуры, и может создавать несколько сфокусированных лучей. Конкретная частота используется повторно в различных лучах. BMSat может поддерживать гибкие схемы повторного использования частот, в том числе повторное использование целых частот и повторное использование дробных частот, как показано на рисунке 1.1.

РИСУНОК 1.1

Схемы повторного использования частот для BMSat



М.2047-1-01

Основной схемой передачи является обычный метод OFDM. В зависимости от характеристик усилителя мощности, установленного на спутнике/терминале, в рамках структуры OFDM как на линии вверх, так и на линии вниз могут использоваться два режима передачи с малой флуктуацией огибающей: OFDM с расширением спектра с использованием дискретного преобразования Фурье (DFTS-OFDM) и одиночная несущая, модулируемая смещением (OSC). Использование передачи DFTS-OFDM и передачи OSC обусловлено более низким соотношением пиковой и средней мощностей (PAPR) передаваемого сигнала по сравнению с обычным методом OFDM. Это позволяет более эффективно использовать усилитель мощности спутника/терминала, что эквивалентно увеличению зоны покрытия и/или снижению потребляемой мощности.

Кодирование канала осуществляется на основе турбокодирования со скоростью 1/3. Поддерживаются режимы модуляции данных QPSK, 16QAM и 16APSK как на линии вниз, так и на линии вверх.

BMSat поддерживает полосы частот шириной приблизительно от 1,4 МГц до 100 МГц. Для поддержки полос частот шириной более 20 МГц применяется объединение несущих, то есть одновременная параллельная передача нескольких компонентных несущих на один и тот же терминал или от него. Компонентные несущие не обязательно должны располагаться подряд по частоте, они могут даже располагаться в разных полосах частот, чтобы разрозненные распределения спектра можно было использовать посредством объединения спектра.

BMSat поддерживает три типа планирования: поканальное планирование (динамическое), полупостоянное планирование и фиксированное планирование. Поканальное планирование как во временной, так и в частотной областях поддерживается и на линии вниз, и на линии вверх, при этом планировщик базовой станции отвечает за выбор (динамический) ресурса передачи и скорости передачи данных. Полупостоянное/фиксированное планирование позволяет на полупостоянной/фиксированной основе выделять ресурсы передачи и назначать скорости передачи данных конкретному пользовательскому оборудованию (UE) для обеспечения качества обслуживания (QoS) по срочным услугам и уменьшения объема служебной сигнализации управления. Базовой единицей планирования является временной интервал передачи (ТТИ), равный 1 мс. Для улучшения покрытия в интерфейсе BMSat поддерживается объединение ТТИ, которое позволяет вести передачу в течение более длительного периода времени, чем один интервал ТТИ (вплоть до 20 интервалов ТТИ).

BMSat включает в себя схемы передачи с несколькими антеннами. Поддерживается пространственное уплотнение до двух уровней на линии вниз и на линии вверх. Поддерживается разнесение при передаче, основанное на пространственно-частотном блочном кодировании (SFBC), или комбинация SFBC и разнесение при передаче с переключением по частоте (FSTD) на линии вниз, или разнесение с выбором автономной антенны.

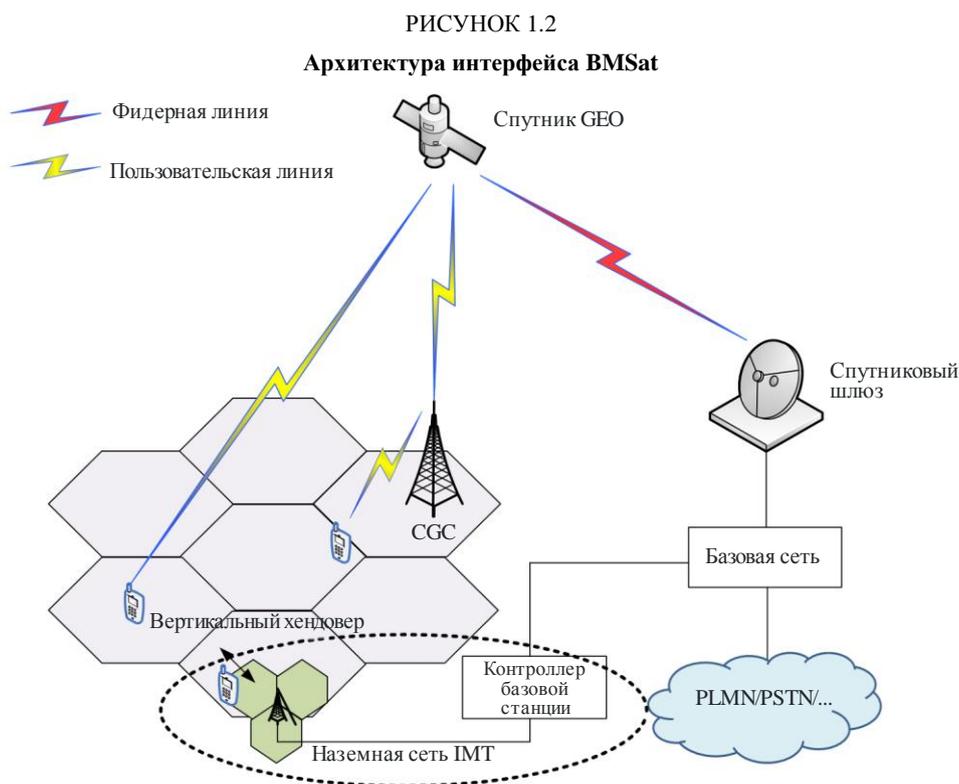
Эти технологии RIT поддерживают координацию помех между лучами (IBIC), при которой соседние лучи обмениваются информацией, помогающей осуществлять планирование в целях снижения уровня помех. IBIC может использоваться для однородного развертывания неперекрывающихся лучей с одинаковой мощностью передачи.

1.1.2.1 Архитектура сети

Архитектура BMSat, изображенная на рисунке 1.2, состоит из спутников GEO, оборудованных или не оборудованных системой обработки и коммутации, спутникового шлюза, базовой спутниковой сети и дополнительной наземной компоненты (CGC). Спутниковый шлюз представляет собой физический объект и может включать в себя сложный логический объект – узел eNodeB спутника (SAT-eNB). Каждый узел SAT-eNB осуществляет логическое управление одним лучом или несколькими лучами, а один луч логически управляется одним узлом SAT-eNB. Дополнительная наземная компонента (CGC) в интерфейсе BMSat выполняет функцию ретрансляции для заполнения "мертвых" зон, которые не могут быть охвачены спутниковыми сигналами (например, для связи внутри помещений), либо для улучшения качества передачи сигналов. Компонента CGC – не просто повторитель сигнала, она обладает собственным идентификатором луча, каналами синхронизации, опорными символами и может формировать свой собственный луч. Она осуществляет демодуляцию и декодирование сигнала в прямом канале, затем передает на оборудование пользователя данные с помощью новой модуляций и видов кодирования, которые зависят от качества линии связи между компонентой CGC и пользовательским оборудованием. Компонента CGC является фиксированным узлом и может использовать более совершенные антенны и другие методы повышения эффективности передачи сигналов на линии связи компонента CGC – спутник. На терминалах компонента CGC выглядит как узел SAT-eNB, а на узле SAT-eNB – как пользовательское оборудование.

Радиоинтерфейс BMSat включает две линии связи: линию UE – компонента CGC и линию UE – спутник. Параметры линии связи UE – спутник определяются на основе стандартов наземной системы LTE-Advanced и модифицируются для адаптации к условиям спутниковой передачи радиосигналов. Линия связи UE – компонента CGC может повторно использовать спецификации наземной системы LTE-Advanced. В этом случае необходимо, чтобы терминал поддерживал оба режима – BMSat и LTE-Advanced.

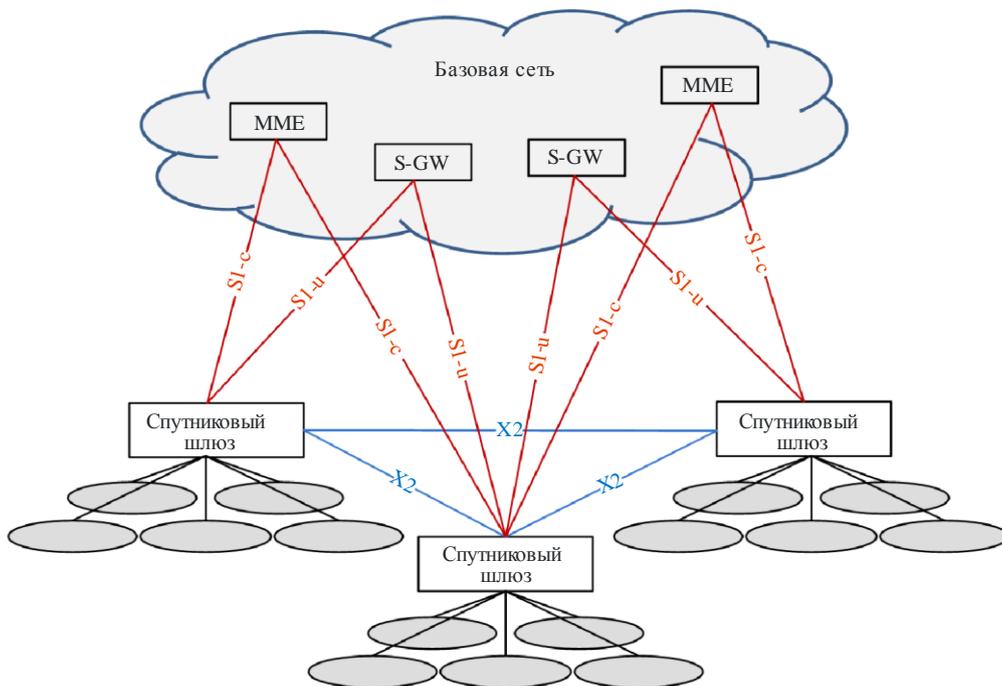
ПРИМЕЧАНИЕ. – Линия связи компонента CGC – спутник такая же, как и линия UE – спутник.



Сеть радиодоступа BMSat обладает плоской архитектурой с единственным типом узла – спутниковым шлюзом (SAT-eNB), отвечающим за все функции, относящиеся к радиосвязи, в одном или нескольких лучах. Узел SAT-eNB при помощи интерфейса S1 подключается к базовой сети, точнее говоря к обслуживающему шлюзу (S-GW), посредством S1-u – части интерфейса, относящейся к плоскости пользователя, а к объекту управления мобильностью (MME) посредством S1-c – части интерфейса, относящейся к плоскости управления. Один узел SAT-eNB может служить интерфейсом для нескольких объектов MME/S-GW в целях совместного использования нагрузки и в качестве запасного варианта.

Интерфейс X2, соединяющий узлы SAT-eNB друг с другом, применяется главным образом для поддержки мобильности в активном режиме. Этот интерфейс может также использоваться для функций многолучевого управления радиоресурсами (RRM), таких как IBIC. Кроме того, интерфейс X2 используется для поддержки мобильности без потерь между соседними лучами при помощи пересылки пакетов.

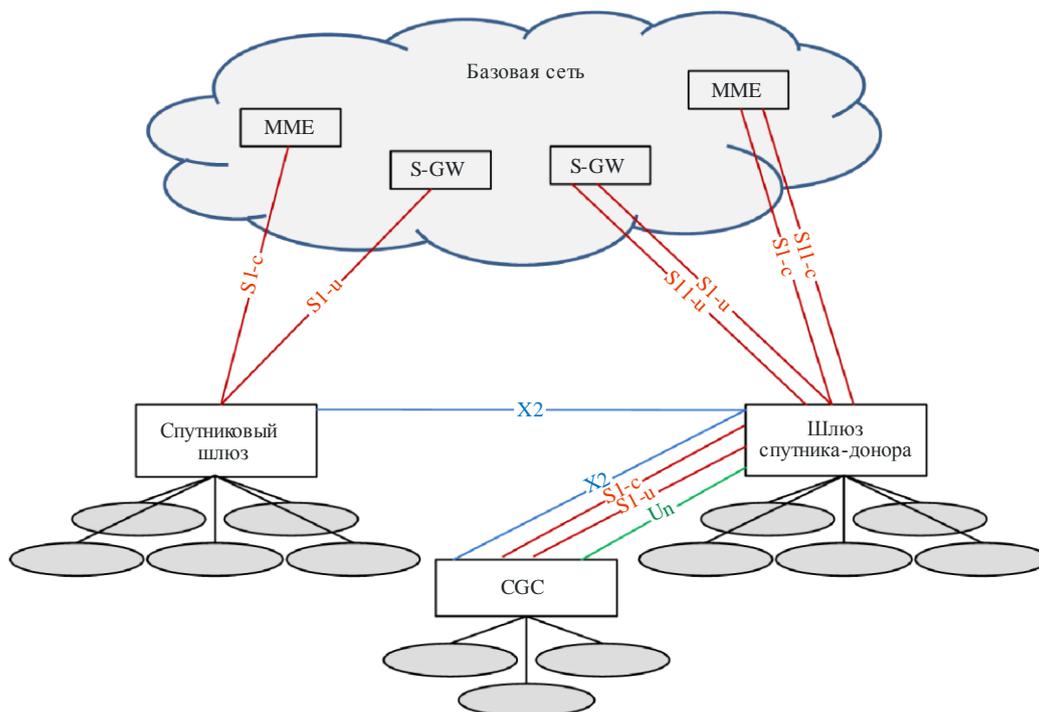
РИСУНОК 1.3

Интерфейсы сети радиодоступа для BMSat

М.2047-1-03

На рисунке 1.4 изображены интерфейсы сети радиодоступа для BMSat с поддержкой CGC. CGC является завершением интерфейсов S1, X2 и Un. Узел SAT-eNB спутника-донора (DSAT-eNB) выполняет прокси-функции S1 и X2 между CGC и другими сетевыми узлами (другими узлами SAT-eNB, объектами MME и шлюзами S-GW). Прокси-функции S1 и X2 включают прохождение сообщений сигнализации S1 и X2, предназначенных для оборудования UE, а также пакетов данных GTP между интерфейсами S1 и X2, связанными с CGC, а также интерфейсами S1 и X2, связанными с другими сетевыми узлами. Благодаря прокси-функциям для CGC узел DSAT-eNB выглядит как MME (для S1-c), как SAT-eNB (для X2) и как S-GW (для S1-u).

РИСУНОК 1.4
Интерфейсы сети радиодоступа для BMSat,
поддерживающие CGC



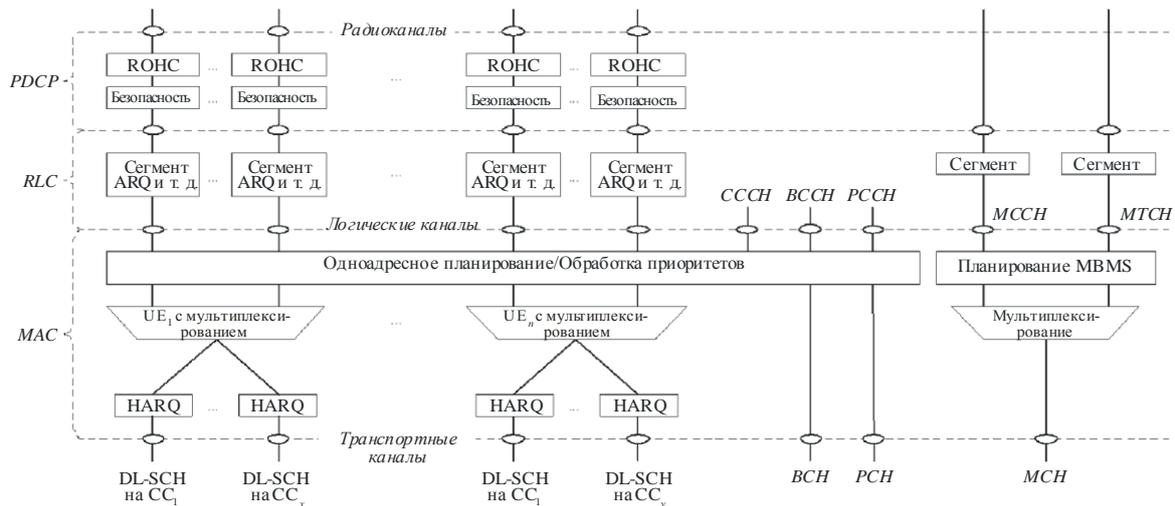
М.2047-04

1.1.2.2 Архитектура протокола уровня 2

Уровень 2 (L2) состоит из нескольких подуровней: протокол конвергенции пакетных данных (PDCP), управление радиолинией (RLC) и управление доступом к среде передачи данных (MAC). На рисунках 1.5 и 1.6 изображены соответственно структуры протоколов для линии вниз и линии вверх. Уровень 2 предоставляет один или несколько радиоканалов более высоким уровням, на которые отображаются IP-пакеты в соответствии с их требованиями к качеству обслуживания (QoS). Блоки данных протокола L2/MAC, называемые также транспортными блоками, создаются в соответствии с мгновенными решениями по планированию и передаются на физический уровень по одному или нескольким транспортным каналам (один транспортный канал одного типа для каждой компонентной несущей).

РИСУНОК 1.5

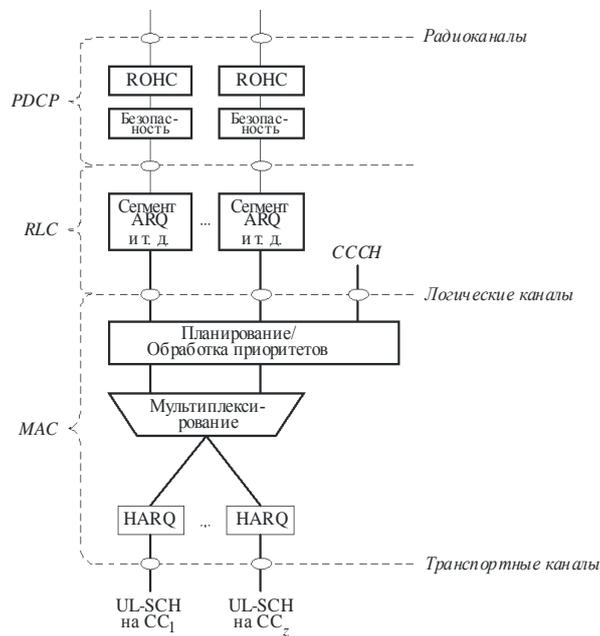
Структура протокола L2 линии вниз



М.2047-05

РИСУНОК 1.6

Структура протокола L2 линии вверх



М.2047-06

1.1.2.2.1 Протокол конвергенции пакетных данных

Протокол конвергенции пакетных данных (PDCP) отвечает за:

- плоскость пользователя:
 - компрессию заголовков и декомпрессию IP-поточков данных при помощи ROHC;
 - перенос пользовательских данных;
 - обслуживание последовательных номеров (SN) PDCP;
 - последовательную доставку блоков PDU верхнего уровня в рамках процедуры восстановления протокола PDCP для RLC AM;

- обнаружение дубликатов блоков SDU нижнего уровня в рамках процедуры восстановления PDCP для RLC AM;
- повторную передачу блоков SDU PDCP в режиме хендовера для RLC AM;
- шифрование и дешифрование;
- отбрасывание блоков SDU, основанное на установках таймера;
- плоскость управления:
 - обслуживание последовательных номеров (SN) PDCP;
 - шифрование и защиту целостности, верификацию;
 - перенос данных плоскости управления.

В протоколе PDCP используются услуги, предоставляемые подуровнем RLC. Для одного пользовательского устройства (UE) имеется по одному объекту протокола PDCP на каждый радиоканал.

1.1.2.2.2 Протокол управления радиолинией

Протокол управления радиолинией (RLC) отвечает за:

- перенос блоков PDU верхнего уровня;
- исправление ошибок с помощью автоматического запроса повторения ARQ (только для передачи данных в режиме AM);
- объединение, сегментацию и повторную сборку блоков SDU RLC (только для передачи данных в режимах UM и AM);
- повторную сегментацию блоков PDU данных RLC (только для передачи данных в режиме AM);
- перегруппировку блоков PDU данных RLC (только для передачи данных в режимах UM и AM);
- обнаружение дубликатов (только для передачи данных в режимах UM и AM);
- обнаружение ошибок протокола (только для передачи данных в режиме AM);
- отбрасывание блоков SDU данных RLC (только для передачи данных в режимах UM и AM);
- восстановление RLC.

В зависимости от режима работы объект RLC может предоставлять все перечисленные выше услуги, либо часть услуг, либо не предоставлять услуг вообще. RLC может работать в трех различных режимах:

- прозрачный режим I – в котором протокол RLC абсолютно прозрачен и, в сущности, его функция не используется. Такая конфигурация используется для вещательных каналов плоскости управления, таких как широковещательный канал управления (BCCH), общий канал управления (CCCH) и пейджинговый канал управления (PCCH), только в тех случаях, когда информация передается одновременно нескольким пользователям;
- режим без подтверждения (UM) – в котором RLC обеспечивает все функциональные возможности, описанные выше, за исключением исправления ошибок, используется, когда не требуется передача без ошибок, например для канала многоадресного управления (MCCH) и канала многоадресной нагрузки (MTCH), с использованием мультимедийного вещания по одночастотной сети (MBSFN) и передачи речи по IP (VoIP);
- режим с подтверждением (AM), в котором протокол RLC предоставляет все услуги, описанные выше, является основным режимом работы для передачи пакетных данных TCP/IP по совместно используемому каналу на линии вниз (DL-SCH). Поддерживаются сегментация/повторная сборка, последовательная доставка и повторная передача данных при обнаружении ошибок.

Протокол RLC предоставляет услуги протоколу PDCP в форме радиоканалов и использует услуги уровня MAC в форме логических каналов. Для терминала конфигурируется один объект протокола RLC на один радиоканал.

1.1.2.2.3 Управление доступом к среде передачи данных

Уровень управления доступом к среде передачи данных (MAC) отвечает за:

- отображение между логическими каналами и транспортными каналами;
- уплотнение и разуплотнение блоков SDU MAC, принадлежащих одному или разным логическим каналам, в транспортные блоки (и из транспортных блоков), доставляемые на физический уровень (и обратно) по транспортным каналам;
- отчетность по информации о планировании;
- линию связи UE – CGC: исправление ошибок с помощью N-процессного гибридного метода ARQ с остановкой и ожиданием (HARQ) с синхронной (для линии вверх) и асинхронной (для линии вниз) повторными передачами;
- линию связи UE – спутник: исправление ошибок с помощью виртуального гибридного метода ARQ (V-HARQ) с синхронной (для линии вверх) и асинхронной (для линии вниз) повторными передачами;
- обработку приоритетов между логическими каналами одного UE;
- обработку приоритетов между несколькими UE с помощью динамического планирования;
- назначение приоритета логическим каналам;
- идентификацию мультимедийного вещания/многоадресной службы (MBMS);
- выбор транспортного формата;
- дозаполнение.

MAC предлагает протоколу RLC услуги в форме логических каналов. Логический канал определяется типом информации, которую он передает, и его обычно относят к каналам управления, используемым для передачи информации управления и конфигурации, необходимой для работы системы BMSat, или к каналам трафика, используемым для переноса пользовательских данных. Набор типов логических каналов, предназначенных для системы BMSat, включает:

- вещательный канал управления (BCCH), используемый для передачи информации по управлению широковещательной системой;
- пейджинговый канал управления (PCCH) – канал на линии вниз, используемый для радиовызова, когда сети неизвестно местоположение UE, и для уведомлений об изменении системной информации;
- общий канал управления (CCCH), используемый для передачи управляющей информации между UE и сетью, в случае когда UE не имеет RRC-соединения;
- специализированный канал управления (DCCH), используемый для передачи управляющей информации к мобильному терминалу и от него, когда UE не имеет RRC-соединения;
- многоадресный канал управления (MCCH), используемый для передачи управляющей информации, необходимой для приема MTCH;
- специализированный канал трафика (DTCH), используемый для передачи пользовательских данных к мобильному терминалу и от него. Этот тип логических каналов используется для передачи всех пользовательских данных на линии вверх и пользовательских данных, отличных от MBSFN, на линии вниз;
- канал многоадресного трафика (MTCH), используемый для передачи услуг MBMS на линии вниз.

На физическом уровне уровень MAC использует услуги в виде транспортных каналов. Транспортный канал определяется набором способов и характеристик передачи информации по радиоинтерфейсу. Данные в транспортном канале организованы в транспортные блоки. В каждом временном интервале передачи (TTI) на каждой компонентной несущей передаются максимум один или два (в случае пространственного уплотнения) транспортных блока.

Каждому блоку соответствует транспортный формат (TF), определяющий порядок передачи транспортного блока по радиоинтерфейсу. Транспортный формат включает информацию о размере транспортного блока, схеме модуляции и распределении антенн. Планировщик отвечает за (динамическое) определение транспортного формата в каждом интервале времени TTI как на линии вверх, так и на линии вниз.

Определяются следующие типы транспортных каналов.

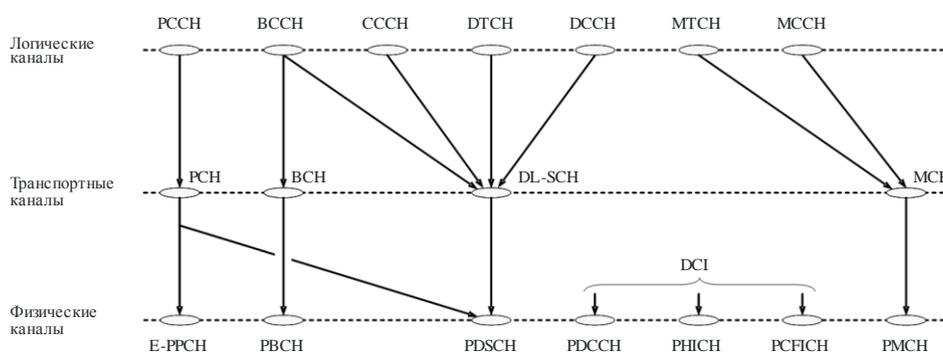
- Вещательный канал (ВСН) имеет фиксированный транспортный формат, предоставляемый в спецификациях. Он используется для передачи частей системной информации в ВССН, а точнее так называемого главного информационного блока (МИБ).
- Пейджинговый канал (РСН) используется для передачи информации радиовызова из логического канала РССН. РСН поддерживает прерывистый прием (DRX), чтобы позволить мобильному терминалу экономить энергию источника питания, пробуждаясь только для приема сообщений РСН в заранее определенные моменты времени.
- Совместно используемый канал на линии вниз (DL-SCH) является основным типом транспортного канала, используемого в системе BMSat для передачи данных на линии вниз. Он поддерживает динамическую адаптацию скорости передачи данных и планирование, зависящее от канала, метод HARQ/V-HARQ с мягким суммированием и пространственным уплотнением. Он также поддерживает DRX для уменьшения потребления энергии мобильным терминалом, одновременно обеспечивая мгновенную готовность к работе. DL-SCH используется также для передачи частей системной информации в ВССН, не отображенной на ВСН. В случае передачи на терминал, использующий несколько компонентных несущих, оборудование UE принимает один канал DL-SCH на каждую компонентную несущую.
- Многоадресный канал (МСН) используется для поддержки MBMS. Он характеризуется полустатическим транспортным форматом или полупостоянным планированием. В случае передачи в нескольких лучах с использованием MBSFN планирование и конфигурация транспортного формата координируются между лучами, участвующими в передаче MBSFN.
- Совместно используемый канал на линии вверх (UL-SCH) является аналогом канала DL-SCH, то есть транспортным каналом линии вверх, используемым для передачи данных на линии вверх.

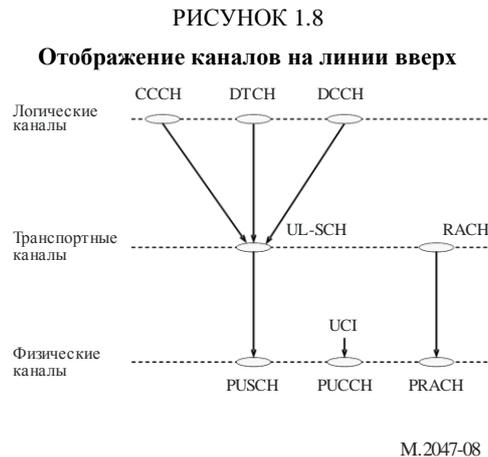
Кроме того, канал со случайным доступом (RACH) также определяется как транспортный канал линии вверх, хотя он не передает транспортные блоки. RACH используется на линии вверх для ответа на пейджинговое сообщение или для инициирования перехода в состояние подключения RRC RRC_CONNECTED в соответствии с потребностью терминала в передаче данных.

Отображение между логическими, транспортными и физическими каналами (рассмотренное в п. 1.1.3.3) представлено на рисунке 1.7 для линии вниз и на рисунке 1.8 для линии вверх.

РИСУНОК 1.7

Отображение каналов на линии вниз





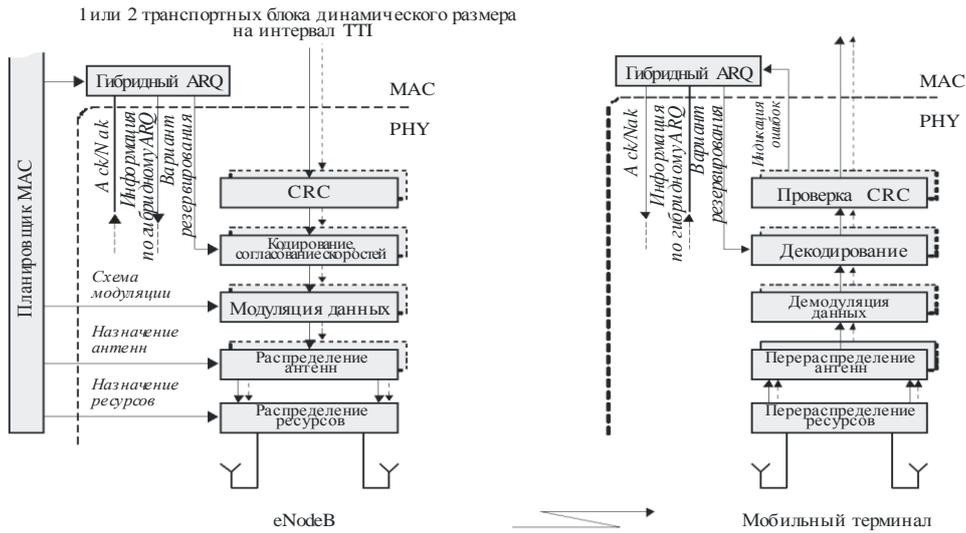
1.1.2.3 Физический уровень

На линии связи UE – CGC физический уровень отвечает за:

- модуляцию и демодуляцию физических каналов;
- обнаружение ошибок в транспортном канале и передачу информации об ошибке на более высокие уровни;
- кодирование с упреждающим исправлением ошибок (FEC) и декодирование транспортных каналов;
- согласование скоростей кодированного транспортного канала и физических каналов;
- отображение кодированного транспортного канала на физические каналы в соответствии с рисунком 1.7 (линия вниз) и рисунком 1.8 (линия вверх);
- гибридный метод ARQ (HARQ) с мягким сложением;
- синхронизацию по времени и частоте;
- взвешивание мощности физических каналов;
- обработку сигналов и формирование лучей с использованием нескольких антенн;
- измерения характеристик и передачу информации о результатах измерений на более высокие уровни;
- обработку радиочастот;
- упрощенную схему обработки для канала DL-SCH, представленную на рисунке 1.9.

РИСУНОК 1.9

Упрощенная схема обработки физического уровня для канала DL-SCH на одной компонентной несущей

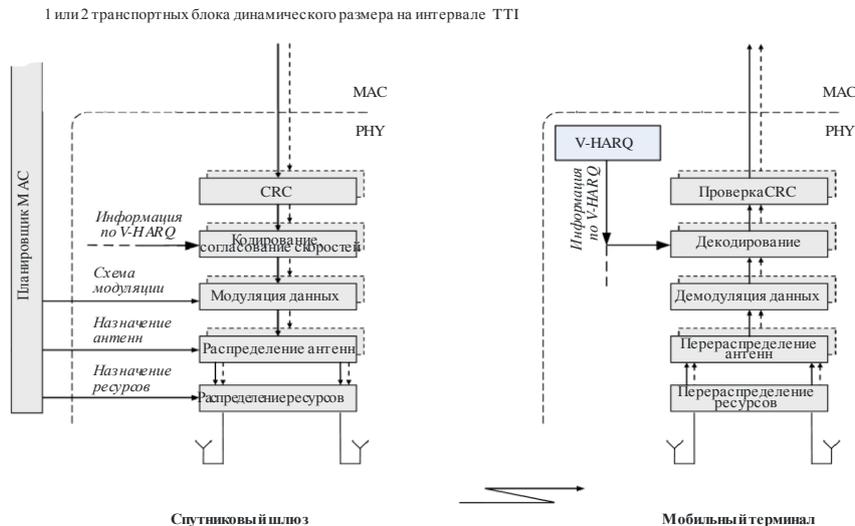


Ниже указаны три элемента физического уровня линии связи UE – спутник, которые отличаются от элементов линии UE – CGC:

- объединение для виртуальной гибридной схемы ARQ;
- упрощенная схема обработки для канала DL-SCH, представленная на рисунке 1.10;
- обработка с использованием нескольких антенн (формирование луча не поддерживается).

РИСУНОК 1.10

Упрощенная схема обработки физического уровня для канала DL-SCH на одной компонентной несущей с помощью виртуального режима HARQ



1.1.2.3.1 Физические каналы

Для линии вниз определено семь различных типов физических каналов:

- совместно используемый физический канал на линии вниз (PDSCH) – используется для предоставления услуг передачи данных в плоскости пользователя и плоскости управления;

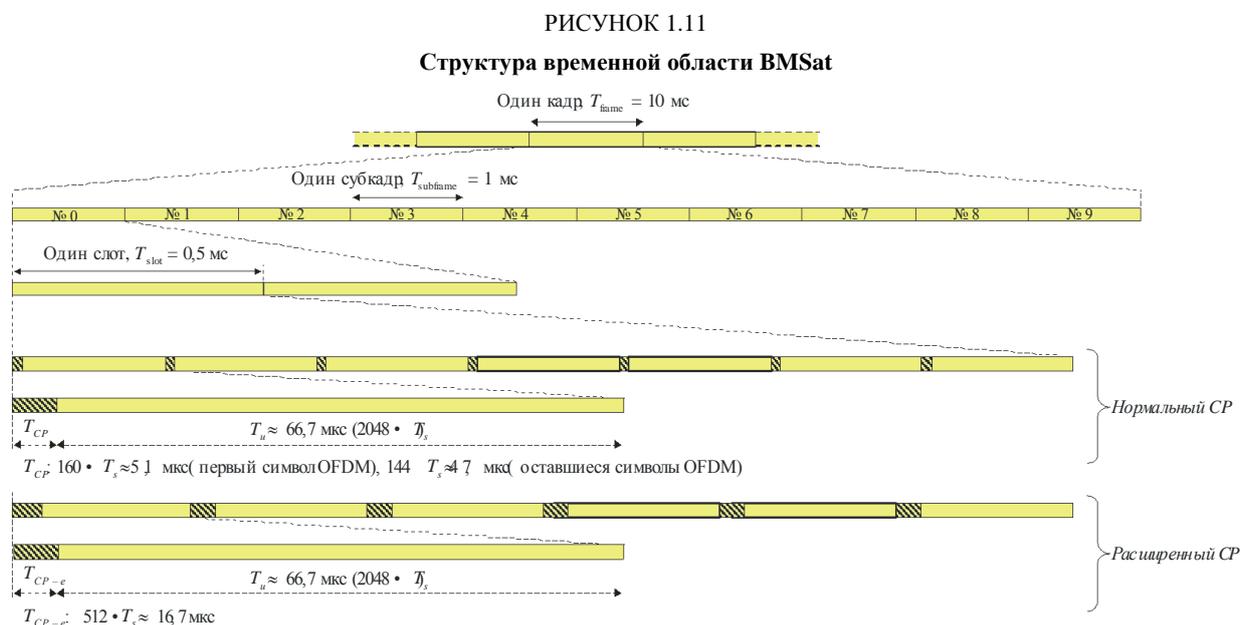
- физический канал многоадресной передачи (PMCH) – используется для передачи радиовещательных услуг в плоскости пользователя и плоскости управления во время передачи субкадров сети MBSFN;
- физический канал управления на линии вниз (PDCCH) – используется для передачи управляющей информации, связанной с распределением ресурсов, транспортным форматом и режимами HARQ/V-HARQ;
- физический радиовещательный канал (PBCH) – используется для передачи информации, относящейся к конкретному лучу и/или системе;
- физический канал индикации формата управления (PCFICH) – показывает для оборудования UE формат управления (количество символов, включающих каналы PDCCH, PHICH) в текущем субкадре;
- физический канал индикации для схемы H-ARQ (PHICH) – транспортирует информацию ACK/NAK для передачи по линии вверх (PUSCH), полученных компонентой CGC для линии связи UE – CGC;
- расширенный физический пейджинговый канал (E-PPCH) – транспортирует расширенную пейджинговую информацию для вызова пользователей в условиях глубокого замирания сигнала.

Для линии вверх определяются три различных типа физических каналов:

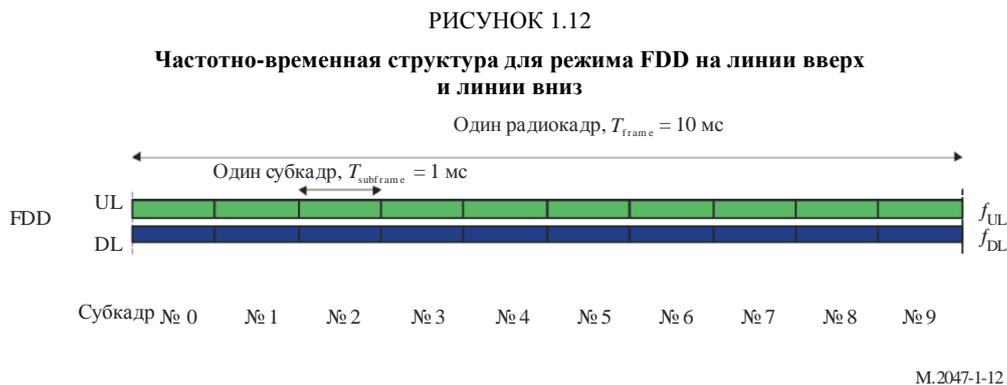
- физический канал случайного доступа (PRACH) – транспортирует преамбулу, используемую для запуска процедуры случайного доступа в узле SAT-eNB;
- совместно используемый физический канал на линии вверх (PUSCH) – используется для передачи как пользовательских данных, так и информации управления верхним уровнем;
- физический канал управления на линии вверх (PUCCH) – используется для передачи управляющей информации (запросы на выделение физических ресурсов, CQI, PMI, RI и информации HARQ/V-HARQ для PDSCH и т. д.).

1.1.2.3.2 Структура передачи во временной области и схемы дуплексирования

На рисунке 1.11 изображена высокоуровневая структура передачи во временной области, где каждый кадр (радиосигнала) длительностью 10 мс состоит из 10 одинаковых субкадров длительностью 1 мс. Каждый субкадр состоит из двух одинаковых временных интервалов (слотов) длительностью $T_{\text{slot}} = 0,5$ мс, а каждый слот состоит из ряда символов OFDM, включая циклический префикс.



Как показано на рисунке 1.12, BMSat может работать в режиме FDD.



Каждая компонентная несущая имеет по две несущие частоты – одну для передачи по линии вверх (f_{UL}), а другую для передачи по линии вниз (f_{DL}). В каждом кадре размещается десять субкадров линии вверх и десять субкадров линии вниз, а передача по линиям вверх и вниз в пределах одного луча может происходить одновременно. Работа в полудуплексном режиме на стороне оборудования UE поддерживается планировщиком, обеспечивающим в оборудовании UE неодновременный прием и передачу.

1.1.2.3.3 Обработка на физическом уровне

К транспортному(ым) блоку(ам), подлежащему передаче по каналу DL-SCH или UL-SCH, добавляется циклический избыточный код CRC, после чего происходит кодирование, основанное на турбокоде с кодовой скоростью 1/3. Согласование скоростей используется не только для согласования количества кодируемых битов с количеством ресурсов, выделенных для передачи по каналам DL-SCH/UL-SCH, но также для создания различных вариантов резервирования, управляемых протоколом HARQ/V--HARQ. В случае пространственного уплотнения такая обработка повторяется для двух транспортных блоков. После согласования скоростей проводится модуляция кодированных битов (QPSK, 16QAM, 64QAM для линии UE – CGC; QPSK, 16QAM/16APSK для линии UE – спутник). В случае передачи с использованием нескольких антенн символы модуляции отображаются на несколько уровней и предварительно кодируются, прежде чем будут отображены на различные порты антенн. В качестве альтернативного варианта может применяться разнесение при передаче. И наконец, (предварительно закодированные) символы модуляции отображаются на частотно-временные ресурсы, выделенные для передачи.

Передача по линии вниз основана на обычном методе OFDM с использованием циклического префикса. Разнос поднесущих составляет $\Delta f = 15 \text{ кГц}$ и поддерживаются две длины циклического префикса – обычный циклический префикс длиной $\approx 4,7 \text{ мкс}$ и расширенный циклический префикс длиной $\approx 16,7 \text{ мкс}$. В частотной области количество ресурсных блоков может меняться от 6 до 110 на одну компонентную несущую (для ширины полосы частот каналов от 1,4 до 20 МГц соответственно), где ресурсный блок занимает полосу 180 кГц в частотной области. Можно передавать до пяти компонентных несущих параллельно при использовании общей полосы частот до 100 МГц.

Передача на линии вверх основывается на методе OFDM с расширением спектра с помощью дискретного преобразования Фурье (DFTS-OFDM). Метод DFTS-OFDM может рассматриваться в качестве предкодера DFT, после которого применяется обычный метод OFDM с такими же численными данными, как и для линии вниз. Могут использоваться различные размеры предварительного кодирования DFT, соответствующие передачам с различными распланированными полосами частот.

В зависимости от характеристик усилителя мощности, установленного на спутнике/UE, как на линии вверх, так и на линии вниз (имеется в виду линия связи между спутником и UE) могут использоваться режим DFTS-OFDM и режим с одной несущей, модулируемой смещением частоты (OSC).

Остальные транспортные каналы линии вниз (PCH, BCH, MCH) основаны на тех же общих схемах обработки физического уровня, что и канал DL-SCH, хотя и с некоторыми ограничениями на ряд используемых характеристик.

1.1.2.3.4 Схемы передачи с использованием нескольких антенн

На линии вниз (линия связи UE – CGC поддерживается большое количество схем передачи с использованием нескольких антенн:

- передача с одной антенной при использовании одного опорного сигнала, характерного для соты;
- пространственное уплотнение с обратной связью, также известное как формирование лучей или предварительное кодирование, основанное на унитарной кодовой книге, до четырех уровней с использованием опорных сигналов, характерных для сот. Для оказания содействия компоненте CGC в выборе подходящей матрицы предварительного кодирования используются сообщения обратной связи, поступающие от терминала;
- пространственное уплотнение без обратной связи, также известное как циклическое разнесение по задержкам с большой величиной задержки – до четырех уровней с использованием опорных сигналов, характерных для сот;
- пространственное уплотнение до восьми уровней с использованием опорных сигналов, характерных для оборудования UE. Компонента CGC может использовать сообщения обратной связи или воспользоваться взаимностью каналов для задания весовых коэффициентов схемы формирования лучей;
- разнесение при передаче основано на пространственно-частотном блочном кодировании (SFBC) или на комбинации SFBC и разнесения при передаче с переключением по частоте (FSTD);
- многопользовательская схема MIMO, при которой нескольким терминалам назначаются перекрывающиеся частотно-временные ресурсы.

Для линии вниз UE – спутник:

- поддерживается разнесение при передаче на основе SFBC (пространственно-частотное блочное кодирование) с использованием не более двух портов антенны;
- поддерживается пространственное уплотнение до двух уровней без обратной связи с использованием опорных сигналов, характерных для сот.

На линии вверх UE – CGC поддерживаются следующие схемы передачи с использованием нескольких антенн:

- передача с одной антенной;
- предкодирование, поддерживающее пространственное уплотнение от одного до четырех уровней с адаптацией рангов.

Для линии вверх UE – спутник:

- поддерживается пространственное уплотнение до двух уровней без обратной связи;
- поддерживается отсутствие обратной связи и разнесение с автовыбором автономных антенн оборудования UE.

1.1.2.3.5 Регулирование мощности и адаптации канала

В соответствии с условиями для радиоканала возможна гибкая адаптация схемы модуляции и кодирования (MCS). Ко всем ресурсным единицам, присвоенным одному и тому же транспортному блоку в интервале ТП, применяется одинаковая схема модуляции и кодирования. С помощью регулирования мощности на линии вверх можно задать среднюю мощность одного символа системы DFTS-OFDM, в котором передается физический канал.

1.1.2.3.6 Сигнализация управления уровней L1/L2

Управляющая информация линии вниз (DCI) передается с использованием первых символов (от одного до трех) OFDM каждого субкадра линии вниз в каждой компонентной несущей, а количество символов OFDM указывается в канале PCFICH. Сообщения о плане линий вверх и вниз (состоящие из идентификатора оборудования UE, частотно-временных ресурсов и транспортного формата) и информация по виртуальному режиму гибридного ARQ передаются по каналам PDCCH и PHICH соответственно. Каждое сообщение передается по отдельному каналу PDCCH с использованием модуляции QPSK.

Управляющая информация линии вверх (UCI), включающая информацию о статусе канала, запросы относительно планирования и информацию по схемам HARQ/V-HARQ, передается на границах полосы пропускания основной компонентной несущей линии вверх. В качестве альтернативного варианта части сигнализации управления могут уплотняться вместе с данными по каналу PUSCH.

1.1.2.3.7 Многоадресные/широковещательные передачи в одночастотной сети

Транспортный канал MCH поддерживает многоадресные/широковещательные передачи в одночастотной сети (MBSFN), когда один и тот же сигнал передается с помощью нескольких синхронизированных по времени лучей. Одна компонентная несущая может поддерживать одновременно одноадресную и широковещательную передачи путем временного уплотнения передачи MCH и DL-SCH.

1.1.3 Обзор конкретных характеристик технологии радиointерфейсов (RIT)

1.1.3.1 Режим передачи с малой флуктуацией огибающей

Мощность систем спутниковой связи, как правило, ограничена. Для увеличения эффективной мощности в рамках структуры OFDM как на линии вверх, так и на линии вниз могут использоваться два режима передачи с малой флуктуацией огибающей (EF) – OFDM с расширением спектра с использованием ДПФ, применяемая на наземных линиях вверх систем LTE, и режим с одной несущей, модулируемой смещением частоты (OSC).

1.1.3.1.1 Режим OSC

Сигнал передачи в частотной области, отображаемый на набор поднесущих, формируется следующим образом:

$$y_m = \sqrt{\frac{2}{N}} \sin \frac{\pi(m+0,5)}{N} \sum_{n=0}^{N-1} e^{-j2\pi(m+0,5)n/N} \underline{x}_n,$$

где:

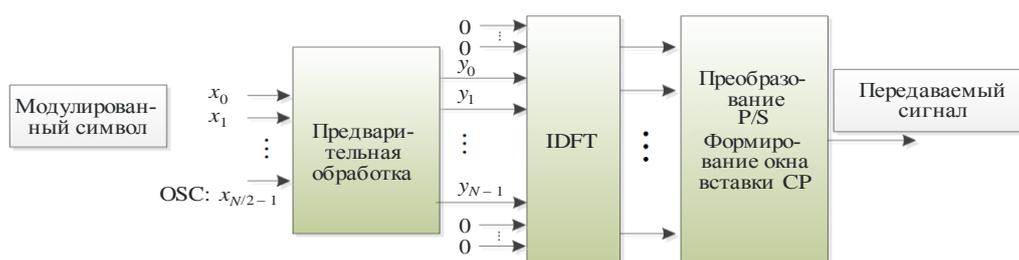
$$\underline{x}_{2k} = \text{Re}\{x_k\} \text{ и } \underline{x}_{2k+1} = \text{Im}\{x_k\}, \quad k = 0, 1, \dots, N/2 - 1;$$

$$x_n, \quad n = 0, 1, \dots, N/2 - 1$$

являются символами модуляции в виде комплексных чисел, а N – это размер набора поднесущих.

РИСУНОК 1.13

Формирование сигнала для режима передачи OSC



1.1.3.2 Виртуальный гибридный режим ARQ

Гибридная схема ARQ (HARQ), используемая в наземных системах LTE, не может функционировать эффективно из-за длительной задержки при передаче радиосигналов в системах спутниковой связи. Несмотря на это при помощи процесса HARQ наземной системы LTE была разработана новая схема – виртуальный режим HARQ без обратной связи ACK/NACK, – поддерживающая широкий диапазон характеристик каналов и скоростей передачи.

В целях обеспечения эффективной передачи в регионах с низким коэффициентом SINR должны поддерживаться уровни схем модуляции и кодирования (MCS) с низкой скоростью. Уровни MCS могут расширяться аналогичным образом при использовании процесса HARQ LTE. В виртуальной схеме HARQ, основанной на индикаторе качества канала (CQI), полученном от приемника, передатчик осуществляет адаптивный выбор уровня MCS, а также количества передаваемых вариантов резервирования. Эта схема может поддерживать передачу данных при условии очень низкого коэффициента SINR в канале, выбирая максимум четыре варианта резервирования.

А Обработка передаваемых сигналов для виртуального режима HARQ

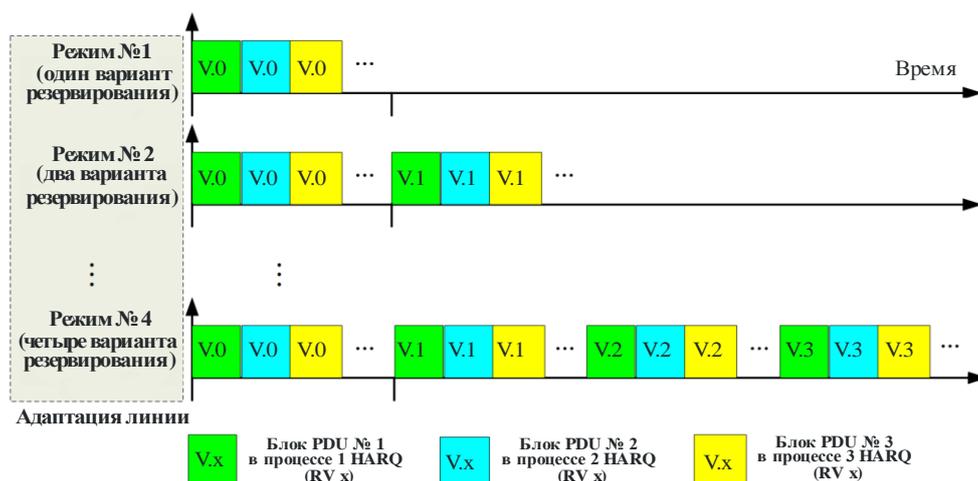
На основе полученного по обратной связи индикатора CQI передатчик выбирает уровень MCS и в то же время количество передаваемых вариантов резервирования для заданного количества интервалов TTI, как правило для единственного интервала TTI. Тем самым обеспечивается более гибкий выбор скорости передачи данных по сравнению с AMC в LTE. Каждая схема MCS соответствует эффективной кодовой скорости (ECR) в LTE, а всего в LTE поддерживается 29 скоростей ECR. Так как 64QAM не поддерживается в BMSat, остается 17 MCS/ECR. При совместном выборе схем MCS и количества одновременно передаваемых вариантов резервирования количество ECR в BMSat возрастает с 17 до 68. Из всех возможных значений ECR или их подмножества выбирается максимальная скорость передачи данных, которая должна быть меньше пропускной способности канала.

После определения скорости передачи данных, то есть уровня MCS и количества одновременно передаваемых вариантов резервирования, передатчик производит вычисление размера данных для согласования с установленной скоростью. После согласования скорости каждый вариант резервирования проходит через процедуры модуляции символов, конкатенации, распределения ресурсов и модуляции по схеме OFDM. Если для передачи в одном интервале TTI выбрано несколько вариантов резервирования, они могут быть объединены во временном или пространственном измерении.

В Приемник, работающий в виртуальном режиме HARQ

Сначала приемник, если необходимо, разъединяет принимаемый сигнал в соответствии с несколькими вариантами резервирования в одном интервале TTI. Затем в BMSat применяется метод декодирования HARQ в LTE. При этом множественные варианты резервирования, одновременно передаваемые в одном интервале TTI, считаются ретранслируемыми.

РИСУНОК 1.14
Виртуальный гибридный режим ARQ



М.2047-1-14

1.1.3.3 Объединение интервалов ТТІ в длинные периоды

В связи со значительными потерями на трассе спутниковой линии и ограничениями по мощности при передачах между оборудованием UE и спутником передача по линии вверх/линии вниз для некоторых классов оборудования UE может быть ограничена по мощности. В целях улучшения покрытия при передаче сигналов по каналам PDSCH/PUSCH может использоваться метод объединения интервалов ТТІ в периоды большой длительности (до 20 мс). При объединении интервалов ТТІ один транспортный блок передается в нескольких последовательных субкадрах. Суммарная мощность передачи пакета возрастает. При объединении интервалов ТТІ передача транспортного блока определяется на основе следующих шагов (рисунок 1.15):

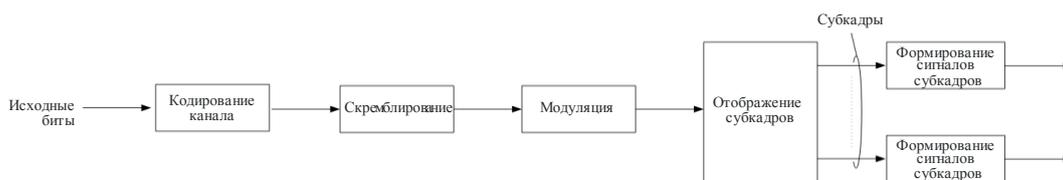
- кодирование исходных битов в каждом передаваемом кодовом слове;
- скремблирование закодированных битов в каждом передаваемом кодовом слове;
- модуляция скремблированных битов для формирования символов модуляции в виде комплексных чисел;
- отображение символов (в виде комплексных чисел) модуляции транспортного блока на тот или иной порт антенны в каждом субкадре объединения ТТІ: $x^q(n) = d(q \times M_{sym}^{SF} + n)$, $q = 0, 1, \dots, Q-1$, $n = 0, 1, \dots, M_{sym}^{SF} - 1$, где Q – количество объединенных субкадров, M_{sym}^{SF} – количество символов модуляции, отображенных в каждом субкадре, $x^q(n)$ – это n -й символ модуляции, отображенный в q -м субкадре, $d(\cdot)$ – это символы (в виде комплексных чисел) модуляции транспортного блока;
- формирование во временной области сигнала, который будет передаваться в каждом субкадре.

В целях повышения эффективности использования спектра при формировании сигнала во временной области в каждом субкадре может использоваться многостанционный доступ с кодовым разделением поперек OFDMA (SC-FDMA). Если быть точнее, процедура включает в себя следующие шаги:

- расширение символов модуляции в виде комплексных чисел в каждом субкадре (пример на рисунке 1.16), n -й символ модуляции субкадра q расширяется на $[w_0, w_1, \dots, w_{N_{SF}-1}]$, где N_{SF} – длина кода расширения;
- отображение символов расширения на элементы ресурсов (пример см. на рисунке 1.16), символы расширения n -х символов модуляции отображаются на n -ю поднесущую всех символов SC-FDMA, за исключением символов опорного сигнала;
- формирование сигнала во временной области для каждого субкадра.

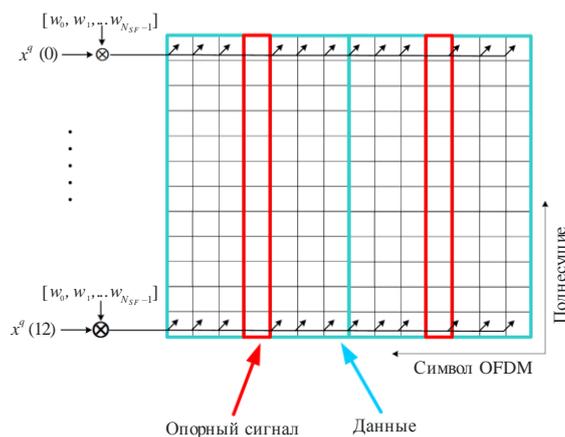
РИСУНОК 1.15

Передача при объединении интервалов ТТТ в длинные периоды



М.2047-1-15

РИСУНОК 1.16

Отображение символов расширения на элементы ресурсов (линия вверх)
(пример)

М.2047-1-16

1.1.3.4 Оптимизация случайного доступа

Задержка при распространении для спутниковой системы намного превышает задержку для наземной системы LTE. Процедуру доступа к наземной системе LTE следует оптимизировать в целях адаптации к длительной задержке.

В зависимости от того, может ли оборудование UE заранее получать опережение по времени (TA), в интерфейсе BMSat могут использоваться две схемы доступа:

- доступ RACH-less – для оборудования UE, которое может заранее получать точное опережение по времени;
- RACH – для оборудования UE, которое не может заранее получать опережение по времени.

1.1.3.4.1 Доступ RACH-less

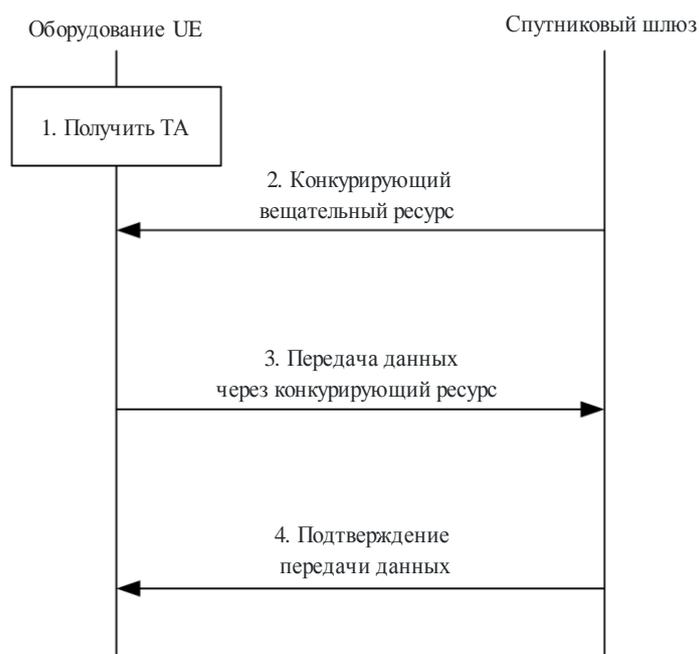
В тех случаях, когда оборудование UE может заранее получать точное значение опережения по времени, процедуру случайного доступа можно исключить и использовать процедуру доступа RACH-less. Процедура доступа RACH-less выполняется в трех случаях, приведенных ниже в качестве примеров.

- 1) Оборудование UE заранее подключилось к спутнику и получило значение опережения по времени. Значение опережения по времени, хранящееся в памяти оборудования UE, все еще является действующим, так как интервал времени между последним сеансом доступа и текущим сеансом доступа невелик.
- 2) Оборудование UE получает значение опережения по времени между ним и спутником при помощи определенного метода реализации, например, пользовательское оборудование UE может получить расстояние между ним и спутником, используя глобальную навигационную спутниковую систему (ГНСС).

- 3) Спутник передает в вещательном режиме эталонное время в единицах UTC, а оборудование UE, предназначенное для работы с ГНСС, может получить значение опережения по времени в соответствии с разницей между временем получения широковещательного сообщения и значением эталонного времени, полученным со спутника.

В процедуре доступа RACH-less спутниковый шлюз передает в вещательном режиме набор конкурирующих блоков PRB, а устройство UE доступа выбирает один из конкурирующих блоков PRB для передачи данных, содержащих его идентификатор. Если передача данных успешно выполнена, спутниковый шлюз должен отправить ответ оборудованию UE. В противном случае может возникнуть конфликт доступа, и оборудование UE может повторить процедуру доступа через случайный промежуток времени.

РИСУНОК 1.17
Доступ RACH-less



М.2047-1-17

ПРИМЕЧАНИЕ. – Если расчетное опережение по времени превышает время цикла T конкурирующих блоков PRB, то $TA = TA \bmod T$.

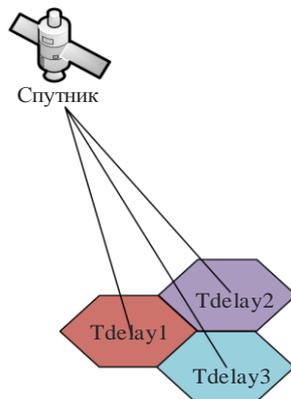
1.1.3.4.2 Оптимизация RACH

В том случае, если оборудование UE не может заранее получить значение опережения по времени, процедура RACH системы LTE может быть использована повторно. Могут использоваться две точки оптимизации.

- 1) Если диаметр спутникового луча составляет в диапазоне от 100 до 500 км, разница во времени приема спутником кодов синхронизации от различных устройств UE на линии вверх в одном и том же луче может выходить за пределы окна обнаружения синхронизации. Таким образом, длина циклического префикса (CP) и GT должна регулироваться в соответствии с радиусом охвата луча (см. п. 1.1.3.7).
- 2) Для спутника, имеющего несколько лучей, задержка передачи от спутника к каждому лучу различна. В целях обеспечения прихода преамбул RACH от различных лучей на спутник в пределах окна обнаружения спутник передает в вещательном режиме информацию о задержке распространения (то есть T_{delay}) от спутника до точки отсчета луча (то есть до центра луча) в каждом из спутниковых лучей. Затем устройства UE в данном луче устанавливают время передачи преамбул RACH в соответствии со значением T_{delay} . Это позволяет обеспечить прием преамбулы спутником в пределах окна обнаружения.

РИСУНОК 1.18

Передача в вещательном режиме информации о задержке распространения от спутника до точки отсчета луча (пример)



М.2047-1-18

1.1.3.5 Оптимизация хендовера

По сравнению с наземной системой LTE процедура хендовера в спутниковой системе связи является более сложной. Здесь представлены три сценария хендовера: хендовер между лучами внутри спутника, хендовер спутник – наземные системы и хендовер наземные системы – спутник. В целях сокращения времени прерывания связи при хендовере, обусловленного длительной задержкой распространения, необходимо рассмотреть некоторые усовершенствования по оптимизации процедуры хендовера.

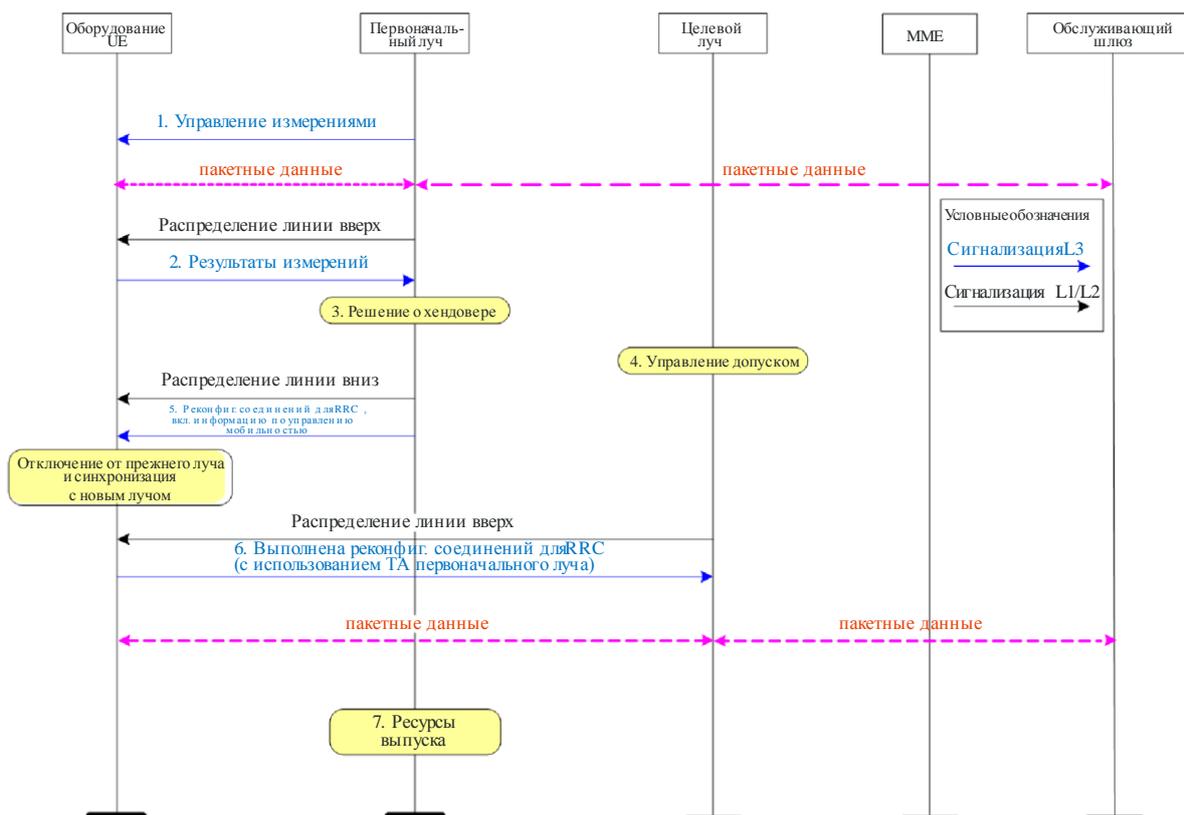
Хендовер основан на сетевом управлении при помощи оборудования UE, то есть решение о хендовере для оборудования UE в режиме подключения принимается сетью исходя из возможных отчетов с результатами измерений, полученных от оборудования UE. Результаты измерений, полученные от оборудования UE, основаны на интенсивности или качестве эталонных символов, а сеть настраивает конфигурацию различных параметров передачи результатов измерений.

1.1.3.5.1 Хендовер между лучами внутри спутника

Как правило, можно добиться жесткой синхронизации с одинаковыми значениями опережения по времени (на линии вверх) для первоначального луча и для целевого луча (обеспечивающего покрытие новой соты). Благодаря жесткой синхронизации переключаемое оборудование UE может обойтись без выполнения процедуры RACH в отношении целевого луча, что позволит ускорить процедуру хендовера. После того как первоначальным лучом отправлена команда хендовера, целевой луч может непосредственно управлять работой переключаемого оборудования UE в зоне целевого луча. Как только устройство UE получает команду хендовера, оно немедленно переключается на целевой луч для ожидания запланированных сеансов связи. Можно предположить, что время прерывания связи при хендовере будет очень коротким – в пределах нескольких миллисекунд.

РИСУНОК 1.19

Хендовер между лучами внутри спутника



М.2047-1-19

1.1.3.5.2 Хендовер спутник – наземные системы

В этом случае может быть непосредственно использована существующая процедура хендовера LTE. Можно предположить, что время прерывания связи будет таким же, как в наземной системе LTE, то есть около 10 мс.

1.1.3.5.3 Хендовер наземные системы – спутник

В этом случае время прерывания связи при хендвере может быть оптимизировано при помощи процедуры предварительной синхронизации. В целях сокращения периода прерывания связи при хендвере наземный узел eNodeB может предложить переключаемому оборудованию UE осуществить синхронизацию на линии вверх со спутниковым целевым лучом перед отправкой команды хендовера. Это означает, что оборудование UE должно поддерживать связь как с наземным, так и со спутниковым сегментами одновременно для осуществления синхронизации на линии вверх со спутниковым целевым лучом перед выходом из соты, обслуживаемой первоначальным лучом, либо оборудование UE должно поддерживать связь с ГНСС для получения данных об опережении по времени. После получения команды хендовера оборудование UE немедленно отправляет сообщение о выполнении хендовера спутниковому целевому лучу. (ПРИМЕЧАНИЕ. – Ресурсы RB для отправки сообщения о выполнении хендовера и сопутствующая информация могут быть включены в команду хендовера.) Если спутниковый шлюз получает сообщение о выполнении хендовера, это означает, что процедура хендовера успешно завершена и передача данных может быть продолжена. Таким образом можно избежать периода прерывания связи, вызванного процедурой синхронизации на линии вверх. Однако все еще имеет место период прерывания связи при хендвере, составляющий приблизительно 480 мс (примером может служить система GEO) – 240 мс (время передачи сообщения о выполнении хендовера – от устройства UE на шлюз спутника) + 240 мс (время передачи данных от спутника на устройство UE).

1.1.3.6 Улучшение пейджинговой связи

Терминалы систем спутниковой подвижной связи иногда работают в регионах с очень низким SNR, например внутри помещений или в сильно затененных или экранированных зонах. В этих случаях интенсивность сигнала будет намного ниже порога SNR при нормальном пейджинговом декодировании, а это означает, что входящий вызов не дойдет до пользователя.

В интерфейсе BMSat эта проблема может быть решена при помощи улучшенного пейджинга. Улучшенный пейджинг может информировать пользователей, находящихся в сильно экранированной зоне, о поступающем вызове, давая возможность пользователю выйти из помещения или из экранированной зоны для принятия вызова. С этой целью порог декодирования для улучшенного пейджинга должен быть намного ниже, чем для обычного пейджинга.

Для улучшенного пейджинга в BMSat в рамках структуры кадров LTE разрабатывается новый физический канал E-PPCH.

1.1.3.6.1 Полезная нагрузка в канале E-PPCH

При обычном пейджинге в системе LTE для поиска пользователей в зоне слежения используется S-TMSI (временный идентификатор мобильного абонента). Идентификатор S-TMSI состоит из 8-битового ММЕС (кода объекта управления мобильностью) и 32-битового идентификатора M-TMSI. ММЕ представляет собой объект для обработки управляющего сообщения в базовых сетях LTE. Несколько объектов ММЕ формируют ММЕ-пул, а код ММЕС используется для уникальной идентификации ММЕ в пределах ММЕ-пула. M-TMSI представляет собой временный идентификатор для абонента на одном объекте ММЕ.

В общем случае для одного спутникового шлюза достаточно одного объекта ММЕ, следовательно, идентификатора M-TMSI достаточно для обычного и улучшенного пейджинга в BMSat, а код ММЕС для интерфейса BMSat не является необходимым.

1.1.3.6.2 Распределение ресурсов для E-PPCH

Поскольку E-PPCH является новым физическим каналом, предназначенным для улучшенного пейджинга, отображение сообщения на элементы ресурсов в BMSat должно проводиться с особой тщательностью, чтобы избежать наложения с каналами управления и каналами синхронизации.

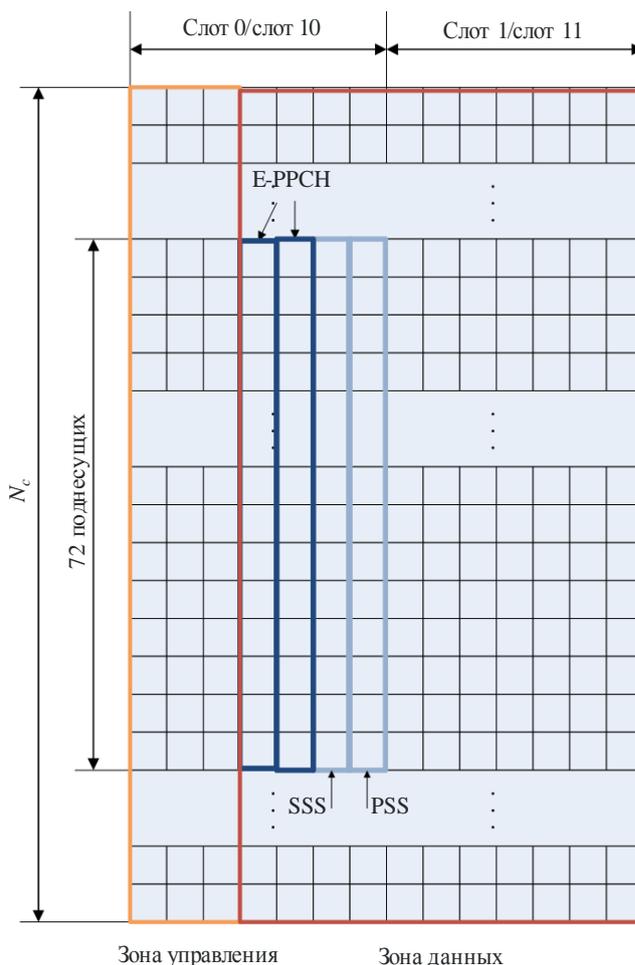
На рисунке 1.20 показаны частотно-временные ресурсы в BMSat для слота 0/слота 10 и слота 1/слота 11. Основной единицей распределения ресурсов в BMSat является PRB (блок физических ресурсов), который состоит из 12 поднесущих (180 кГц) на протяжении одного слота (семь символов OFDM). Первые три символа OFDM в каждом интервале TTИ (состоящем из двух слотов), как правило, используются для управляющей информации, а 6-й и 7-й символы OFDM шести центральных блоков PRB (72 поднесущих) в слоте 0 и слоте 10 используются для SSS (вторичного сигнала синхронизации) и PSS (первичного сигнала синхронизации) соответственно.

Исходя из вышеуказанных соображений 4-й и 5-й символы OFDM шести центральных блоков PRB в слоте 0 и слоте 10 назначаются в качестве канала E-PPCH, как показано на рисунке 1.20.

1.1.3.6.3 Надежная передача сигналов улучшенного пейджинга

Рассмотрим два метода, позволяющие увеличить отношение SNR для декодирования сигналов улучшенного пейджинга. Первый метод – применение рассеяния во времени для снижения порога SNR при декодировании. При рассеянии во времени короткое сообщение растягивается в десятки раз, таким образом, в приемнике может быть получен выигрыш от рассеяния при восстановлении сообщения, то есть осуществление процесса обратного рассеяния во времени. Для дополнительного улучшения характеристик сообщение с рассеянием во времени может по мере необходимости повторяться несколько раз. Второй метод – это повышение мощности передаваемого сигнала в канале E-PPCH.

РИСУНОК 1.20
Выделение ресурсов для канала E-PPCH



М.2047-1-20

1.1.3.6.4 Энергосбережение для нецелевых пользователей

При помощи метода рассеяния во времени 32-битовый идентификатор M-TMSI может быть растянут в десятки раз. Если растянутая последовательность передается как единое целое, то восстановление сообщения M-TMSI в приемнике займет много времени. В этом случае нецелевые пользователи израсходуют большое количество энергии до того, как обнаружат, что идентификатор M-TMSI в сообщении не соответствует их собственному M-TMSI.

Для решения данной проблемы 32-битовый идентификатор M-TMSI разделяется на S сегментов – по $32/S$ битов в каждом. Все пользователи осуществляют декодирование сообщения сегмент за сегментом и производят сравнение текущего декодируемого сегмента с соответствующей частью своего собственного идентификатора M-TMSI.

Декодирование последующих сегментов сообщения продолжается только в том случае, если предыдущие полученные сегменты соответствуют локальному идентификатору M-TMSI. При этом нецелевые пользователи могут в максимально короткий срок остановить процесс обнаружения, сохранив тем самым большое количество энергии.

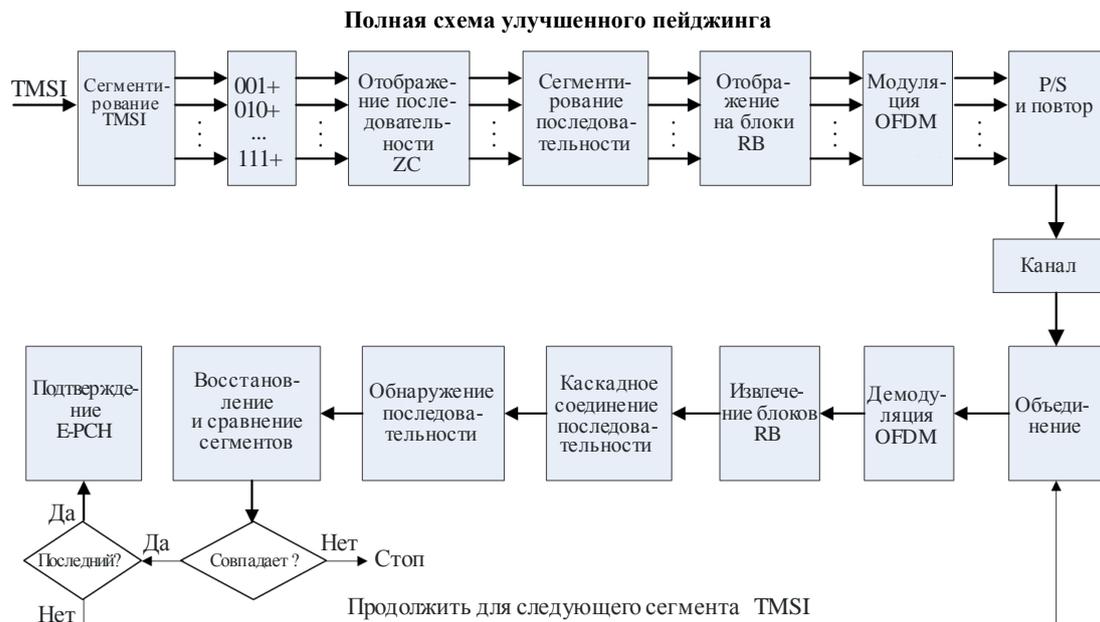
1.1.3.6.5 Процедура улучшенного пейджинга

Полностью процедура изображена на рисунке 1.21. В передатчике сообщение с 32-битовым M-TMSI сначала разделяется на несколько сегментов. Затем каждому сегменту присваивается идентификатор, который используется для сравнения сегментов в приемнике. Затем каждый сегмент M-TMSI, имеющий идентификатор, отображается на последовательность Задова-Чу, фактически представляющую собой процесс рассеяния во времени. Поскольку последовательность Задова-Чу для каждого сегмента M-TMSI, как правило, превышает число 72, ее следует предварительно разделить на несколько сегментов, а затем отобразить на выделенные блоки ресурсов. После выполнения модуляции OFDM сообщение по мере необходимости повторяется целиком.

В приемнике повторное сообщение сначала объединяется для текущего сегмента M-TMSI. После выполнения демодуляции OFDM и извлечения ресурсных блоков сегменты последовательности для текущего идентификатора M-TMSI соединяются в цепочку. Затем для обнаружения последовательности может быть использован метод ML, а текущий сегмент M-TMSI со своим идентификатором восстанавливается по правилам отображения последовательностей. Используя идентификатор сегмента, приемник сравнивает полученный сегмент M-TMSI с соответствующей частью локального идентификатора M-TMSI. В случае совпадения текущего сегмента M-TMSI приемник продолжает обнаружение следующего сегмента M-TMSI. В противном случае приемник прекращает процесс обнаружения E-PPCH. Если полностью принятый идентификатор M-TMSI соответствует локальному M-TMSI, приемник может сообщить пользователю о том, что информация по каналу E-PPCH получена.

Параметры конфигурации E-PPCH передаются в вещательном режиме в системных информационных блоках.

РИСУНОК 1.21



M.2047-1-21

1.1.3.7 Модификация, разработанная специально для длительных задержек

1.1.3.7.1 Конфигурация PRACH

В наземных системах LTE определяется несколько конфигураций PRACH, поддерживающих зону покрытия с максимальным диаметром 100 км. Зона покрытия спутникового луча позволяет обслуживать намного более широкие зоны с диаметром от 100 до 500 км. В таблице 1.1 указана одна из конфигураций sat1 PRACH, добавленная к интерфейсу BMSat.

ТАБЛИЦА 1.1
Конфигурация PRACH

| Формат преамбулы | TCP | TSEQ | Длина последовательности | GT |
|--|--------------|----------------|--------------------------|----------------------|
| 0 | $3\ 168T_s$ | $24\ 576T_s$ | 839 | $\approx 97,4$ мкс |
| 1 | $21\ 024T_s$ | $24\ 576T_s$ | 839 | ≈ 516 мкс |
| 2 | $6\ 240T_s$ | $2*24\ 576T_s$ | 839 | $\approx 197,4$ мкс |
| 3 | $21\ 024T_s$ | $2*24\ 576T_s$ | 839 | ≈ 716 мкс |
| 4 (только для структуры кадра типа 2) | $448T_s$ | $4\ 096T_s$ | 139 | $\approx 9,4$ мкс |
| Sat1 | $41\ 024T_s$ | $224\ 576T_s$ | 839 | $\approx 1\ 280$ мкс |

1.1.3.7.2 Конфигурация периода обратной связи CQI

Максимальный период обратной связи CQI наземной системы LTE равен 160 мс. В интерфейсе BMSat он увеличен, и его максимальное значение составляет 2048 мс.

ТАБЛИЦА 1.2
Конфигурация обратной связи

| $I_{CQI/PMI}$ | Значение N_{pd} | Значение $N_{OFFSET, CQI}$ |
|------------------------------------|-------------------|----------------------------|
| $0 \leq I_{CQI/PMI} \leq 1$ | 2 | $I_{CQI/PMI}$ |
| $2 \leq I_{CQI/PMI} \leq 6$ | 5 | $I_{CQI/PMI} - 2$ |
| $7 \leq I_{CQI/PMI} \leq 16$ | 10 | $I_{CQI/PMI} - 7$ |
| $17 \leq I_{CQI/PMI} \leq 36$ | 20 | $I_{CQI/PMI} - 17$ |
| $37 \leq I_{CQI/PMI} \leq 76$ | 40 | $I_{CQI/PMI} - 37$ |
| $77 \leq I_{CQI/PMI} \leq 156$ | 80 | $I_{CQI/PMI} - 77$ |
| $157 \leq I_{CQI/PMI} \leq 316$ | 160 | $I_{CQI/PMI} - 157$ |
| $I_{CQI/PMI} = 317$ | Зарезервировано | |
| $318 \leq I_{CQI/PMI} \leq 349$ | 32 | $I_{CQI/PMI} - 318$ |
| $350 \leq I_{CQI/PMI} \leq 413$ | 64 | $I_{CQI/PMI} - 350$ |
| $414 \leq I_{CQI/PMI} \leq 541$ | 128 | $I_{CQI/PMI} - 414$ |
| $542 \leq I_{CQI/PMI} \leq 641^*$ | 256 | $I_{CQI/PMI} - 542$ |
| $642 \leq I_{CQI/PMI} \leq 741^*$ | 512 | $I_{CQI/PMI} - 642$ |
| $742 \leq I_{CQI/PMI} \leq 841^*$ | 1 024 | $I_{CQI/PMI} - 742$ |
| $842 \leq I_{CQI/PMI} \leq 941^*$ | 2 048 | $I_{CQI/PMI} - 842$ |
| $942 \leq I_{CQI/PMI} \leq 1\ 023$ | Зарезервировано | |

1.1.3.7.3 Таблица CQI

В системе LTE существует девять предопределенных стандартных классов уровня CQI, поддерживающих широкий спектр услуг. Услуги с очень малой задержкой, например игры в реальном времени, не поддерживаются спутниковой связью. Поэтому в интерфейсе BMSat удален оригинальный класс 3 CQI системы LTE. Другие восемь стандартных классов CQI остаются в BMSat. Кроме того, бюджет задержки пакетов оптимизирован для работы с большой задержкой спутниковой связи.

ТАБЛИЦА 1.3
Конфигурация CQI

| CQI | Тип ресурса | Приоритет | Бюджет задержки пакетов | Коэффициент потерь, связанных с ошибками пакетов | Примеры услуг |
|-----|-------------|-----------|-------------------------|--|--|
| 1 | GBR | 2 | 100 мс + x | 10^{-2} | Диалоговая голосовая связь |
| 2 | | 3 | 150 мс + x | 10^{-3} | Диалоговая видеосвязь (прямая потоковая трансляция) |
| 3 | | 4 | 300 мс + $2x$ | 10^{-6} | Недиалоговая видеосвязь (буферизованная потоковая трансляция) |
| 4 | Не GBR | 1 | 100 мс + $2x$ | 10^{-6} | Сигнализация IMS |
| 5 | | 5 | 300 мс + $2x$ | 10^{-6} | Видеосвязь (буферизованная потоковая трансляция) Связь на базе TCP (например, www, электронная почта, чат, ftp, совместное использование файлов р2р, прогрессивное видео и т. д.) |
| 6 | | 6 | 100 мс + $2x$ | 10^{-3} | Голосовая связь Видеосвязь (прямая потоковая трансляция) Проведение интерактивных игр |
| 7 | | 7 | 300 мс + $2x$ | 10^{-6} | Видеосвязь (буферизованная потоковая трансляция) Связь на базе TCP (например, www, электронная почта, чат, ftp, совместное использование файлов р2р, прогрессивное видео и т. д.) |
| 8 | | 8 | | | |

ПРИМЕЧАНИЕ. – x представляет собой среднюю задержку передачи между оборудованием UE и спутниковым шлюзом;

+ x – предполагается, что услуга будет предоставляться в режиме RLC UM;

+ $2x$ – предполагается, что услуга будет предоставляться в режиме RLC AM.

1.1.3.8 Сетевое кодирование

В системах подвижной спутниковой связи для повышения эффективности использования частот на линии вниз применяется простая технология сетевого кодирования на базе XOR.

На первом этапе два подключенных пользователя передают сообщения по различным каналам линии вверх. На втором этапе наземная станция (или процессор на борту спутника) декодирует сообщения из двух каналов линии вверх и передает результат операции XOR двух декодированных сообщений по одному и тому же каналу линии вниз. На третьем этапе два пользователя декодируют сообщение XOR и восстанавливают сообщение от другого пользователя посредством операции XOR в отношении принятого сообщения со своим сообщением по линии вверх. Система подвижной спутниковой связи

ограничена по мощности, особенно для передачи по линии вниз, поэтому при использовании одного канала линии вниз для обслуживания двух пользователей пропускная способность системы существенно возрастает.

1.2 Подробная спецификация технологии радиointерфейсов

Подробные спецификации технологии спутникового радиointерфейса системы IMT-Advanced под названием BMSat представлены на веб-сайте Ассоциации в области стандартов связи Китая (CCSA).

Спецификации BMSat основаны на спецификациях LTE-Advanced, а их взаимосвязь определена в таблице 1.4.

ТАБЛИЦА 1.4

Взаимосвязь между спецификациями BMSat и спецификациями LTE-Advanced

| Терминология | Определение |
|-----------------------|--|
| LTE-Advanced applies | Параметры данной спецификации BMSat идентичны параметрам спецификации LTE-Advanced и, следовательно, применяется соответствующая спецификация LTE-Advanced |
| BMSat specific | Данная спецификация BMSat описывает новый параметр BMSat, не имеющий эквивалента в системе LTE-Advanced |
| Replaces LTE-Advanced | Спецификация BMSat заменяет соответствующую спецификацию LTE-Advanced. Спецификация BMSat может ссылаться на соответствующую спецификацию LTE-Advanced |

Семейство спецификаций BMSat сформировано в виде серии документов, которые согласуются со структурой документов LTE-Advanced, как показано в таблице 1.5.

ТАБЛИЦА 1.5

Структура семейства спецификаций BMSat

| | BMSat | LTE-Advanced |
|------------------|---------------------|-----------------|
| BMSat specific | Серия TS 36.0xx.2 | |
| Radio Layer 1 | Серия TS 36.2xx.0/2 | Серия TS 36.2xx |
| Radio Layers 2&3 | Серия TS 36.3xx.0/2 | Серия TS 36.3xx |
| Architecture | Серия TS 36.4xx.0/2 | Серия TS 36.4xx |

где:

- TS xx.yyy.0 применяется для спецификаций BMSat, имеющих соответствующую спецификацию LTE-Advanced. В этом случае числа xx и yyy соответствуют схеме нумерации LTE-Advanced;
- TS xx.yyy.2 применяется для спецификаций BMSat, которые не соответствуют ни одной из спецификаций LTE-Advanced. В этом случае схеме нумерации LTE-Advanced соответствуют только числа xx, а числа yyy назначаются системой BMSat.

Содержание семейства спецификаций BMSat полностью приведено в TS BMSat 36.001.2. В настоящем разделе приведено краткое описание спецификаций, определяющих различия (то есть изменения) по отношению к спецификациям наземных систем LTE-Advanced, то есть спецификаций, относящихся к BMSat specific и Replaces LTE-Advanced.

1.2.1 BMSat specific

1.2.1.1 TS BMSat 36.001.2

Введение в спецификации семейства BMSat.

Этот документ дает общее представление о спецификациях семейства BMSat.

Размещение: <http://www.ccsa.org.cn/english/files.php?docpath=/ITU-R/BMSat>.

1.2.1.2 TS BMSat 36.002.2

BMSat; общее описание.

Этот документ содержит общее описание системы BMSat и соответствующую спецификацию радиointерфейса. Его задача – отметить некоторые различия между наземной системой LTE-Advanced и подвижной спутниковой системой BMSat system.

Размещение: <http://www.ccsa.org.cn/english/files.php?docpath=/ITU-R/BMSat>.

1.2.2 Radio Layer 1 (уровень 1 радиointерфейса)

1.2.2.1 TS BMSat 36.201.0

Расширенный универсальный спутниковый радиодоступ (E-USRA); физический уровень BMSat; общее описание.

В этом документе дается общее описание физического уровня радиointерфейса E-USRA. Кроме того, в этом документе описывается структура документа по спецификациям физического уровня E-USRA, то есть серии TS BMSat 36.200. Серия TS BMSat 36.200 указывает точку U_i для систем BMSat и определяет минимальный уровень спецификаций, требуемых для основных соединений с точки зрения возможностей взаимных подключений и совместимости.

Размещение: <http://www.ccsa.org.cn/english/files.php?docpath=/ITU-R/BMSat>.

1.2.2.2 TS BMSat 36.211.0

Расширенный универсальный спутниковый радиодоступ (E-USRA); физические каналы и модуляция.

В этом документе описываются физические каналы и модуляция для радиодоступа E-USRA.

Размещение: <http://www.ccsa.org.cn/english/files.php?docpath=/ITU-R/BMSat>.

1.2.2.3 TS BMSat 36.212.0

Расширенный универсальный спутниковый радиодоступ (E-USRA); мультиплексирование и кодирование каналов.

В этом документе определяется процесс кодирования, мультиплексирования и отображения на физические каналы для радиодоступа E-USRA.

Размещение: <http://www.ccsa.org.cn/english/files.php?docpath=/ITU-R/BMSat>.

1.2.2.4 TS BMSat 36.213.0

Расширенный универсальный спутниковый радиодоступ (E-USRA); процедуры физического уровня.

В этом документе указываются и устанавливаются характеристики процедур физического уровня для радиодоступа E-USRA.

Размещение: <http://www.ccsa.org.cn/english/files.php?docpath=/ITU-R/BMSat>.

1.2.2.5 TS BMSat 36.216.0

Расширенный универсальный спутниковый радиодоступ (E-USRA); физический уровень для функционирования компоненты CGC.

В этом документе описываются характеристики передачи данных между узлом SAT-eNB и компонентой CGC.

Размещение: <http://www.ccsa.org.cn/english/files.php?docpath=/ITU-R/BMSat>.

1.2.3 Radio Layers 2&3 (уровни 2 и 3 радиointерфейса)

1.2.3.1 TS BMSat 36.300.0

Расширенный универсальный спутниковый радиодоступ (E-USRA) и сеть расширенного универсального спутникового доступа (E-USRAN); общее описание; этап 2.

В этом документе дается обзор и общее описание архитектуры протокола радиointерфейса сети E-USRAN. Подробные характеристики протоколов радиointерфейса указаны в сопутствующих спецификациях серии 36.

Размещение: <http://www.ccsa.org.cn/english/files.php?docpath=/ITU-R/BMSat>.

1.2.3.2 TS BMSat 36.321.0

Расширенный универсальный спутниковый радиодоступ (E-USRA); спецификация протокола управления доступом к среде передачи (MAC).

В этом документе определяется протокол управления доступом к среде передачи (MAC) радиодоступа E-USRA.

Размещение: <http://www.ccsa.org.cn/english/files.php?docpath=/ITU-R/BMSat>.

1.2.3.3 TS BMSat 36.331.0

Расширенный универсальный спутниковый радиодоступ (E-USRA); управление радиоресурсами (RRC); спецификация протокола.

В этом документе определяется протокол управления радиоресурсами для радиointерфейса между оборудованием UE и сетью E-USRAN, а также для радиointерфейса между компонентой CGC и сетью E-USRAN.

Размещение: <http://www.ccsa.org.cn/english/files.php?docpath=/ITU-R/BMSat>.

1.2.4 Architecture (архитектура)

1.2.4.1 TS BMSat 36.423.0

Сеть расширенного универсального спутникового радиодоступа (E-USRAN); прикладной протокол X2 (X2AP).

В этом документе определяются процедуры уровня радиосети в плоскости управления между узлами SAT-eNB в сети E-USRAN. Прикладной протокол X2AP поддерживает функции интерфейса X2 с помощью процедур, определяемых в этом документе.

Размещение: <http://www.ccsa.org.cn/english/files.php?docpath=/ITU-R/BMSat>.

Приложение 2

Спецификация технологии радиointерфейса SAT-OFDM

СОДЕРЖАНИЕ

| | <i>Стр.</i> |
|---|-------------|
| 2.1 Введение..... | 38 |
| 2.2 Описание системы IMT-Advanced с использованием радиointерфейса SAT-OFDM | 39 |
| 2.2.1 Описание архитектуры..... | 39 |
| 2.2.2 Описание системы..... | 40 |
| 2.3 Радиочастотные спецификации | 43 |
| 2.3.1 Спутник (космическая станция)..... | 43 |
| 2.3.2 Подвижная земная станция (MES)..... | 44 |
| 2.4 Спецификации полосы групповых частот | 45 |
| 2.4.1 Многостанционный доступ | 45 |
| 2.4.2 Общее описание передачи в основной полосе частот | 45 |
| 2.4.3 Взаимосвязь физических каналов и синхронизации..... | 47 |
| 2.4.4 Мультиплексирование и кодирование каналов | 56 |
| 2.4.5 Процедуры физического уровня | 59 |
| 2.4.6 Особенности спутниковой связи, позволяющие улучшить характеристики | 63 |
| 2.5 Подробные спецификации..... | 83 |

2.1 Введение

SAT-OFDM – это спутниковый радиointерфейс, предназначенный для предоставления разнообразных перспективных услуг подвижной электросвязи, определенных для спутниковых конфигураций IMT. Этот радиointерфейс может применяться спутниками на геостационарной орбите (GSO) для целей глобальной международной связи.

В SAT-OFDM применяется многостанционный доступ с ортогональным разделением частот (OFDMA) на линии вниз (космос-Земля) и многостанционный доступ с частотным разделением частот и одной несущей (SC-FDMA) на линии вверх (Земля-космос).

Этот радиointерфейс имеет много общего с наземными радиоспецификациями, технологией долгосрочного развития (LTE) 3GPP для услуг системы IMT-Advanced, однако имеется также ряд отличающихся функций. Эти функции, необходимые для отражения характеристик, присущих спутникам, таких как длительная круговая задержка и спутниковый канал с медленными замираниями, реализуются в виде случайного доступа, перемежения, регулировки мощности с обратной связью и т. д.

В связи с этим данный радиointерфейс имеет два рабочих режима – нормальный и расширенный. Нормальный режим полностью совместим с разработанной по стандарту 3GPP версией 8 системы LTE, а расширенный режим обеспечивает улучшение характеристик за счет включения дополнительных функций, характерных для спутниковой связи. Спутниковая сеть радиодоступа (RAN) должна поддерживать оба режима, тогда как оборудование UE поддерживает либо только нормальный режим, либо оба режима.

2.2 Описание системы IMT-Advanced с использованием радиointерфейса SAT-OFDM

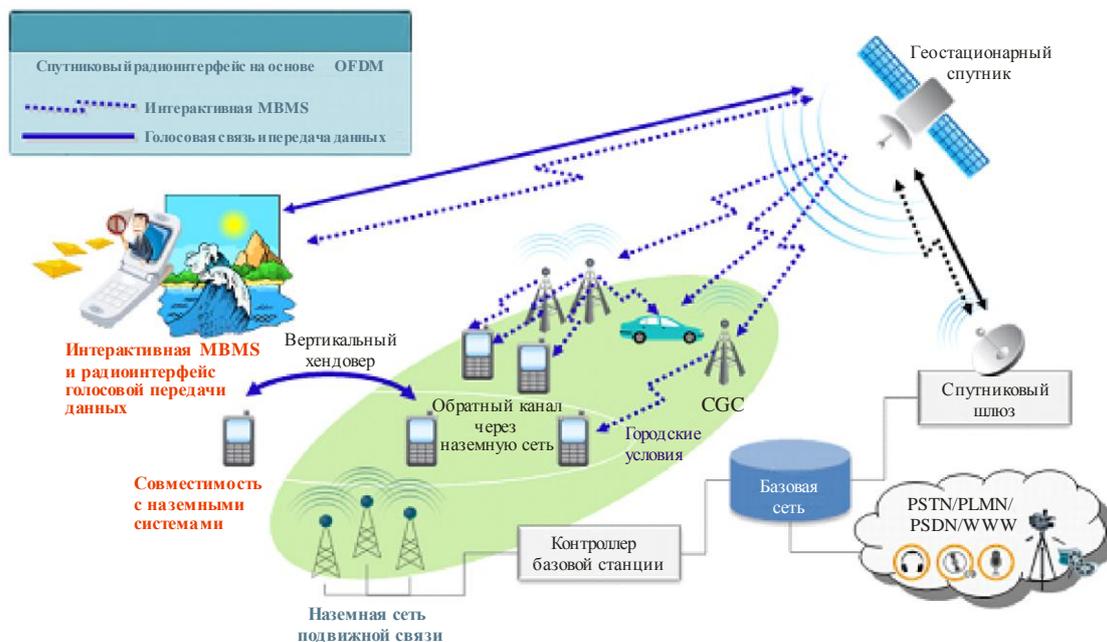
2.2.1 Описание архитектуры

На рисунке 2.1 изображена общая системная архитектура, в которой используется радиointерфейс SAT-OFDM. Учитываются следующие факторы.

- Спутниковая связь. Данный вид связи обеспечивает предоставление услуг и применений, аналогичных предоставляемым наземными системами, вне зон покрытия наземных и дополнительных наземных компонентов (CGC). Этому виду связи присущи также ограничения, связанные с ограниченной мощностью и длительной круговой задержкой.
- Компоненты CGC. Для оказания услуг подвижной спутниковой широкополосной/многоадресной передачи эти компоненты могут развертываться в зонах, где прием спутниковых сигналов затруднен, в частности в городских районах. Они могут располагаться совместно с наземными станциями сотовой связи или автономно.
- Наземная компонента IMT-Advanced. Спутниковая компонента может предоставлять услуги голосовой связи и передачи данных в районах вне зон покрытия наземных служб. К районам, надлежащим образом не охваченным наземной компонентой, относятся географически изолированные районы; белые пятна в зоне покрытия наземной компонентой, а также зоны, в которых наземная компонента по каким-либо причинам постоянно или временно отсутствует.

РИСУНОК 2.1

Пример системной архитектуры IMT-Advanced, использующей SAT-OFDM



М.2047-2-01

Под сценарием двусторонней связи понимается расширение покрытия и непрерывность предоставления услуг наземной компонентой. В данном сценарии особое внимание уделяется методу хендовера с использованием наземной компоненты. Для экономически эффективного метода хендовера будущие спутниковые радиointерфейсы должны быть совместимы и обладать множеством

общих функций с соответствующими наземными LTE-радиосистемами. Для минимизации требований к схемотехнике пользовательских терминалов и сетевому оборудованию могут также использоваться технологии наземных компонент, что позволит снизить стоимость и ускорить разработку оборудования.

Кроме того, SAT-OFDM может использоваться для оказания эффективных интерактивных мультимедийных широковещательных услуг, поскольку соответствующие наземные мобильные радиointерфейсы поддерживают услуги широковещательных передач, а также двустороннюю связь в сотовых системах. Фактически спутниковая компонента обладает преимуществом по сравнению с наземной компонентой при доставке одного и того же контента, распространяемого на обширной географической территории.

2.2.1.1 Группировка

Данный интерфейс может работать с несколькими видами группировок спутников, то есть со спутниками на низкой околоземной орбите (LEO), высокой околоземной орбите (HEO), средней околоземной орбите (MEO) или геостационарной орбите. Однако необходимо отметить, что описания в следующих разделах приведены главным образом для группировки геостационарных спутников.

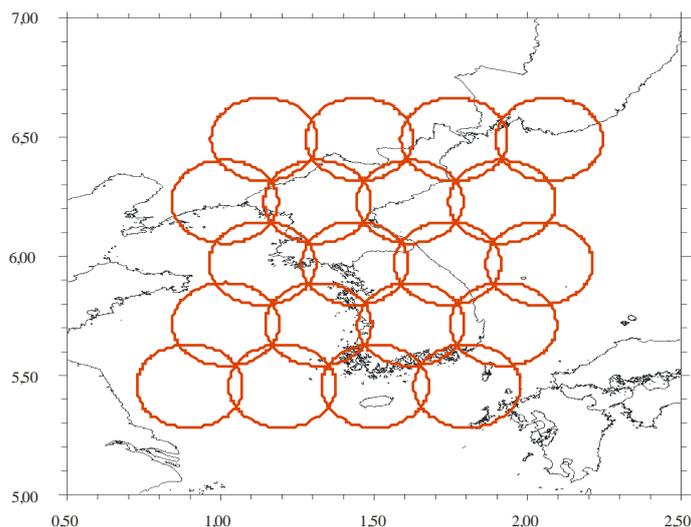
2.2.1.2 Спутники

В зависимости от требований к пропускной способности предусматривается несколько видов архитектур, а именно конфигурация с глобальным лучом, многолучевая и многоспутниковая конфигурации. На рисунке 2.2 показан пример многолучевой конфигурации, и эта конфигурация используется для оценки характеристик систем, включая радиочастотные спецификации.

РИСУНОК 2.2

Пример многолучевой конфигурации со спутниковой антенной диаметром 24 м

Долг. спут. 116,0; широта 0,0; высота 35 786 км. Время создания: 13 мая 2009 года, среда, 11:24:20



М.2047-2-02

2.2.2 Описание системы

2.2.2.1 Особенности предоставления услуг

Этот радиointерфейс может предоставлять мобильным пользователям широкий диапазон услуг электросвязи, указанных в Рекомендации МСЭ-R М.1822 (см. таблицу 2.1).

ТАБЛИЦА 2.1
Поддерживаемые услуги

| Класс оценки пользователем услуги | Класс услуги | Примеры услуг |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
| Разговорный | Базовый разговорный | Голосовая телефония (включая VoIP) Осуществление экстренного вызова Услуга "нажмите, чтобы говорить" |
| | Расширенный разговорный | Видеоконференц-связь Видеотелефония высокого качества Дистанционная совместная работа Электронное образование (например, телефонный звонок учителю) Консультация (например, общение с доктором с помощью видеосвязи) Торговля с использованием мобильных устройств |
| | Разговорный с малой задержкой | Проведение интерактивных игр Консультация Приоритетное обслуживание |
| Интерактивный | Интерактивный с большой задержкой | Электронное образование (например, поиск данных) Консультация (например, поиск данных) Просмотр ресурсов интернета Торговля с использованием мобильных устройств Услуги, зависящие от местоположения Услуги на основе ИТС |
| | Интерактивный с малой задержкой | Осуществление электронного вызова Электронная почта (доступ к серверу IMAP) Дистанционная совместная работа (например, совместное использование настольного ПК) Оповещение населения (например, с использованием обратной связи) Обмен сообщениями (мгновенная передача сообщений) Широковещательная/многоадресная передача на мобильные устройства (мобильное интерактивное персональное телевидение) Проведение интерактивных игр |
| Потоковый | Потоковый в реальном времени | Осуществление экстренного вызова Оповещение населения Электронное образование (например, дистанционные лекции) Консультация (например, дистанционный мониторинг) Межмашинная связь (например, наблюдение) Широковещательная/многоадресная передача на мобильные устройства Мультимедиа |
| | Потоковый не в реальном времени | Широковещательная/многоадресная передача на мобильные устройства Электронное образование (например, образовательные фильмы) Мультимедиа Торговля с использованием мобильных устройств Дистанционная совместная работа |

ТАБЛИЦА 2.1 (окончание)

| Класс оценки пользователем услуги | Класс услуги | Примеры услуг |
|-----------------------------------|--------------|---|
| Фоновый | Фоновый | Обмен сообщениями Обмен видеосообщениями Оповещение населения Электронная почта (передача входящих (RX)/ исходящих (TX) сообщений, например, по протоколу POP) Межмашинная связь Передача/загрузка файлов Электронное образование (например, загрузка/выгрузка файлов) Консультация (например, загрузка/выгрузка файлов) Просмотр ресурсов интернета Услуги, зависящие от местоположения |

Показатели качества обслуживания (QoS) для различных услуг электросвязи, которые поддерживаются этим интерфейсом, отличаются от аналогичных показателей наземной компоненты системы ИМТ-Advanced из-за некоторых особенностей спутниковой связи, таких как длительная круговая задержка. В данном интерфейсе максимальная задержка передачи в одном направлении для услуг в реальном времени на транспортном уровне канала-носителя может составлять менее 400 мс в диапазоне значений BER (коэффициента ошибок по битам) – от 1×10^{-3} до 1×10^{-7} .

2.2.2.2 Функции системы

Этот радиointерфейс основан на ключевых технических характеристиках, перечисленных в таблице 2.2.

ТАБЛИЦА 2.2

Ключевые технические характеристики SAT-OFDM

| | |
|---|---|
| Схема многостанционного доступа | OFDMA (линия вниз), SC-FDMA (линия вверх) |
| Дуплексная схема | Дуплексирование с частотным разделением (FDD) |
| Скорость передачи элементов сигнала | Кратные или дольные частоты по отношению к 3,84 МГц |
| Разнос поднесущих | 15 кГц |
| Разнос несущих | 1,3; 3; 5; 10; 15; 20 МГц |
| Длина кадра | 10 мс |
| Синхронизация между узкими лучами | Точная синхронизация необязательна (точная синхронизация необходима для межлучевой координации) |
| Схема с несколькими скоростями/переменной скоростью | Различные модуляции и скорости кодирования + многоуровневый механизм |
| Схема кодирования канала | Сверточное кодирование 1/3 Турбокодирование 1/3 |

2.2.2.3 Функция терминала

Применяются различные типы пользовательского оборудования – ручные, портативные, автомобильные, переносные или авиационные. Скорость передачи данных и ограничение мобильности для каждого типа терминалов приведены в таблице 2.3. Для оценки максимальной пропускной способности необходимо различать скорости передачи данных по прямой линии связи от скоростей передачи по обратной линии.

ТАБЛИЦА 2.3

Ограничения мобильности для каждого типа терминала

| Типы терминалов | Скорость передачи данных прикладных услуг (обратный канал) (бит/с/(Гц·уровень)) | Скорость передачи данных прикладных услуг (прямой канал) (бит/с/(Гц·уровень)) | Номинальное ограничение мобильности (км/ч) |
|------------------|---|---|--|
| Ручные (класс 3) | $\leq 0,089$ | $\leq 1,556$ | 500 |
| Портативные | $\leq 1,156$ | $\leq 1,556$ | 500 |
| Автомобильные | $\leq 1,556$ | $\leq 1,556$ | 500 (максимум 1 000) |
| Перевозимые | $\leq 1,556$ | $\leq 1,556$ | Стационарное применение |

2.2.2.4 Хендовер

Данный радиointерфейс поддерживает операцию хендовера, то есть переключения связи от одного спутникового радиоканала на другой. Стратегия хендовера – это переключение на основе решения сети при помощи мобильной станции.

Система поддерживает только жесткий хендовер.

В системе наиболее распространены следующие типы хендовера.

Межлучевой хендовер

Оборудование UE измеряет уровень эталонного символа $C/(N + I)$, поступающего от соседних лучей, и передает эту информацию в спутниковую сеть радиодоступа (RAN). Основываясь на результатах измерений, обслуживающий спутниковый луч начинает подготовку к хендоверу, которая может заключаться в обмене сигнализацией между обслуживающим и целевым лучами и управлении допуском оборудования UE в целевом луче. При успешном завершении подготовки к хендоверу принимается решение о проведении этой операции, а затем на устройство UE посылается команда хендовера. Соединение между устройством UE и обслуживающим лучом прекращается, а затем устройство UE производит попытку синхронизации и получения доступа к целевому лучу, используя канал случайного доступа.

Межспутниковый хендовер

Эта процедура аналогична процедуре межлучевого хендовера. Единственное различие состоит в том, что оборудование UE должно, помимо прочего, выполнять поиск идентификаторов эталонных символов, относящихся к другим спутникам.

Межчастотный хендовер

Межчастотный хендовер обычно не требуется. Решение о выполнении данного вида хендовера принимается спутниковой сетью RAN без какого-либо участия оборудования UE (то есть этот тип хендовера не является операцией хендоффа при помощи мобильного терминала).

Вместо этого спутниковая сеть RAN может объединять в обратном канале все сигналы, полученные от одного и того же устройства UE в разных лучах и/или от разных спутников.

2.3 Радиочастотные спецификации**2.3.1 Спутник (космическая станция)**

Сводные характеристики спутников, которые учитываются при оценке эксплуатационных показателей, приведены в таблице 2.4.

ТАБЛИЦА 2.4

**Спутниковая многолучевая архитектура
с использованием 24-метровой спутниковой антенны**

| Количество точечных лучей | 20 |
|--|------------------------------------|
| Частота линии вниз (спутник – UE) (МГц) | 2 170–2 200 |
| Поляризация | Левая круговая или правая круговая |
| Э.и.и.м. на борту на одну несущую (дБВт) | 73 |
| Частота линии вверх (UE – спутник) (МГц) | 1 980–2 010 |
| Поляризация | Левая круговая или правая круговая |
| Усиление антенны приемника (дБ) | ≤ 50 |

2.3.2 Подвижная земная станция (MES)

Подвижные земные станции называются также пользовательскими устройствами (UE). Существуют несколько типов UE.

Ручные, поддерживающие стандарт 3G – использование в спутниковой среде требует адаптации для быстрой перестройки на полосу частот службы MSS. В основном применяются устройства UE с мощностью класса 1, 2 и 3, оборудованные стандартными всенаправленными антеннами.

Портативные – портативная конфигурация встроена в компьютер типа ноутбук, к которому подключена внешняя антенна.

Автомобильные – автомобильная конфигурация представляет собой РЧ-модуль, установленный на крыше автомобиля и подключенный к устройству UE в кабине.

Переносные – переносная конфигурация встроена в ноутбук, в крышку которого вмонтирована плоская микрополосковая антенна (которая вручную ориентируется в сторону спутника).

Авиационные – авиационная конфигурация создается путем установки антенны на верхнюю часть фюзеляжа.

РИСУНОК 2.3

Конфигурация пользовательских устройств



М.2047-2-03

Сводные характеристики мощности и усиления для четырех конфигураций устройств UE приведены в таблице 2.5.

ТАБЛИЦА 2.5

Характеристики пользовательских устройств

| Тип UE | Максимальная мощность передачи | Усиление эталонной антенны | Максимальная э.и.и.м. | Температура системы | G/T |
|----------------------|--------------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------|------------|
| Ручные 3G Класс 1 | 2 Вт (33 дБм) | 0 дБи | 3 дБВт | 290 К | -24,6 дБ/К |
| Класс 2 | 500 мВт (27 дБм) | | -3 дБВт | | |
| Класс 3 | 250 мВт (24 дБм) | | -6 дБВт | | |
| Портативные | 2 Вт (33 дБм) | 2 дБи | 5 дБВт | 200 К | -21 дБ/К |
| Автомобильные | 8 Вт (39 дБм) | 4 дБи | 13 дБВт | 250 К | -20 дБ/К |
| Переносные | 2 Вт (33 дБм) | 14 дБи | 17 дБВт | 200 К | -9 дБ/К |

2.4 Спецификации полосы групповых частот

2.4.1 Многостанционный доступ

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 4.2.1 стандарта ТТАТ.3G-36.2011¹, предоставленного ТТА.

Кроме того, для адаптации к особым условиям спутниковой связи или улучшения функциональных характеристик спутниковой системы указываются нижеследующие соображения.

Для передачи в парном спектре диапазона 2 ГГц поддерживается один из дуплексных режимов – дуплекс с частотным разделением (FDD), поддерживающий дуплексный и полудуплексный режимы работы.

На линии вниз в расширенном режиме поддерживается также мультиплексирование с разделением по частоте с одной несущей (SC-FDM) с циклическим префиксом. Подробная информация по данному вопросу приведена в п. 2.4.6.6.

На линии вверх в расширенном режиме поддерживаются также блоки ресурсов с шириной полосы менее 180 кГц для ручных устройств с ограниченной мощностью. Подробная информация по данному вопросу приведена в п. 2.4.6.5.

2.4.2 Общее описание передачи в основной полосе частот

Общее описание передачи SAT-OFDM по линии вниз и линии вверх приведено на рисунках 2.4 и 2.5 соответственно. В целях унификации SAT-OFDM включает в основном те же блоки передачи, что и радиointерфейс LTE версии 8 проекта 3GPP, однако часть блоков может быть модифицирована либо могут быть добавлены новые блоки, что позволяет включить функции, зависящие от спутника.

¹ Стандарт ТТАТ 3G-36.201 является транспонированным документом 3GPP TS 36.201 [http://committee.tta.or.kr/include/Download.jsp?filename=stnfile/TTAT.3G-36.201\(R8-8.3.0\).zip](http://committee.tta.or.kr/include/Download.jsp?filename=stnfile/TTAT.3G-36.201(R8-8.3.0).zip). ТТА является одной из идентифицированных транспонирующих организаций, имеющих отношение к спецификациям 3GPP LTE(-Advanced).

РИСУНОК 2.4

Передача сигналов по линии вниз в интерфейсе SAT-OFDM

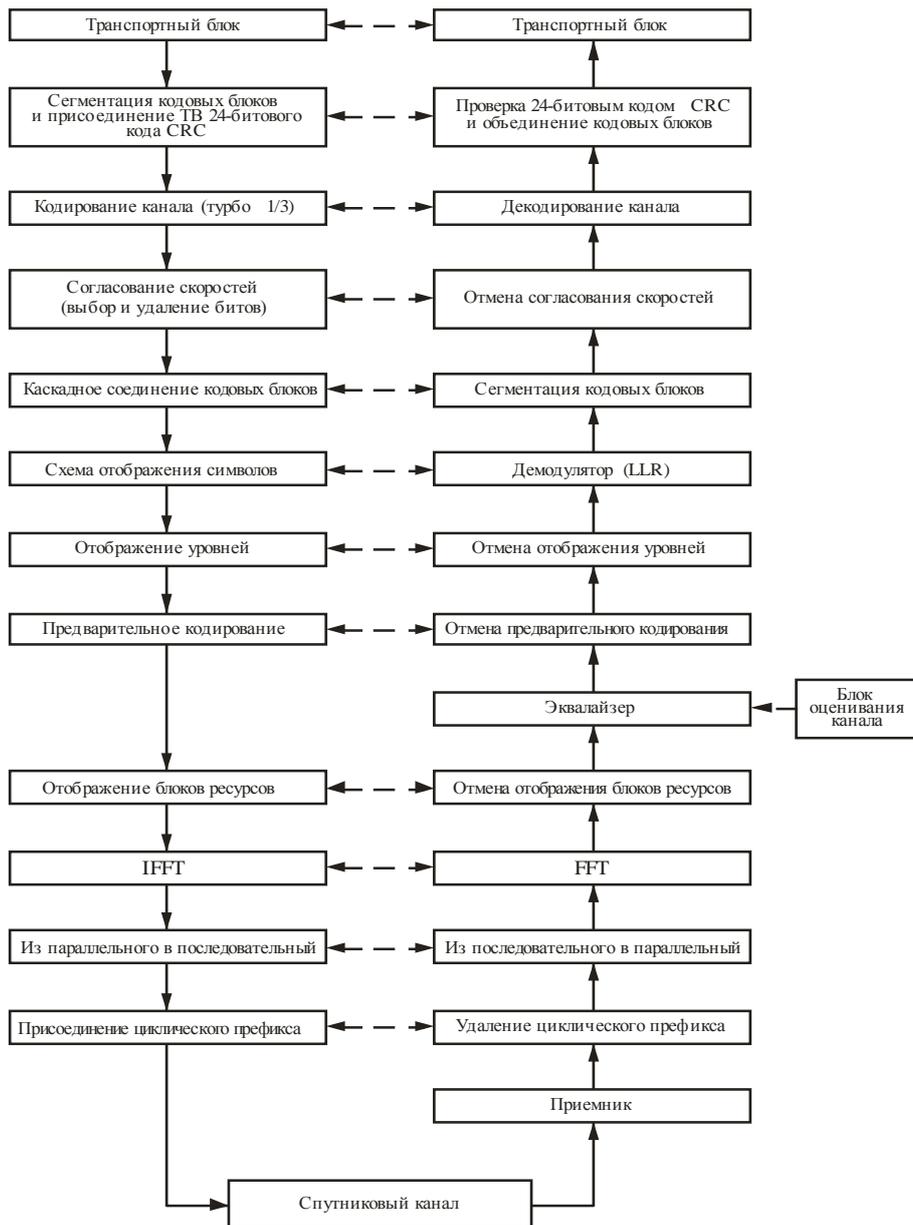
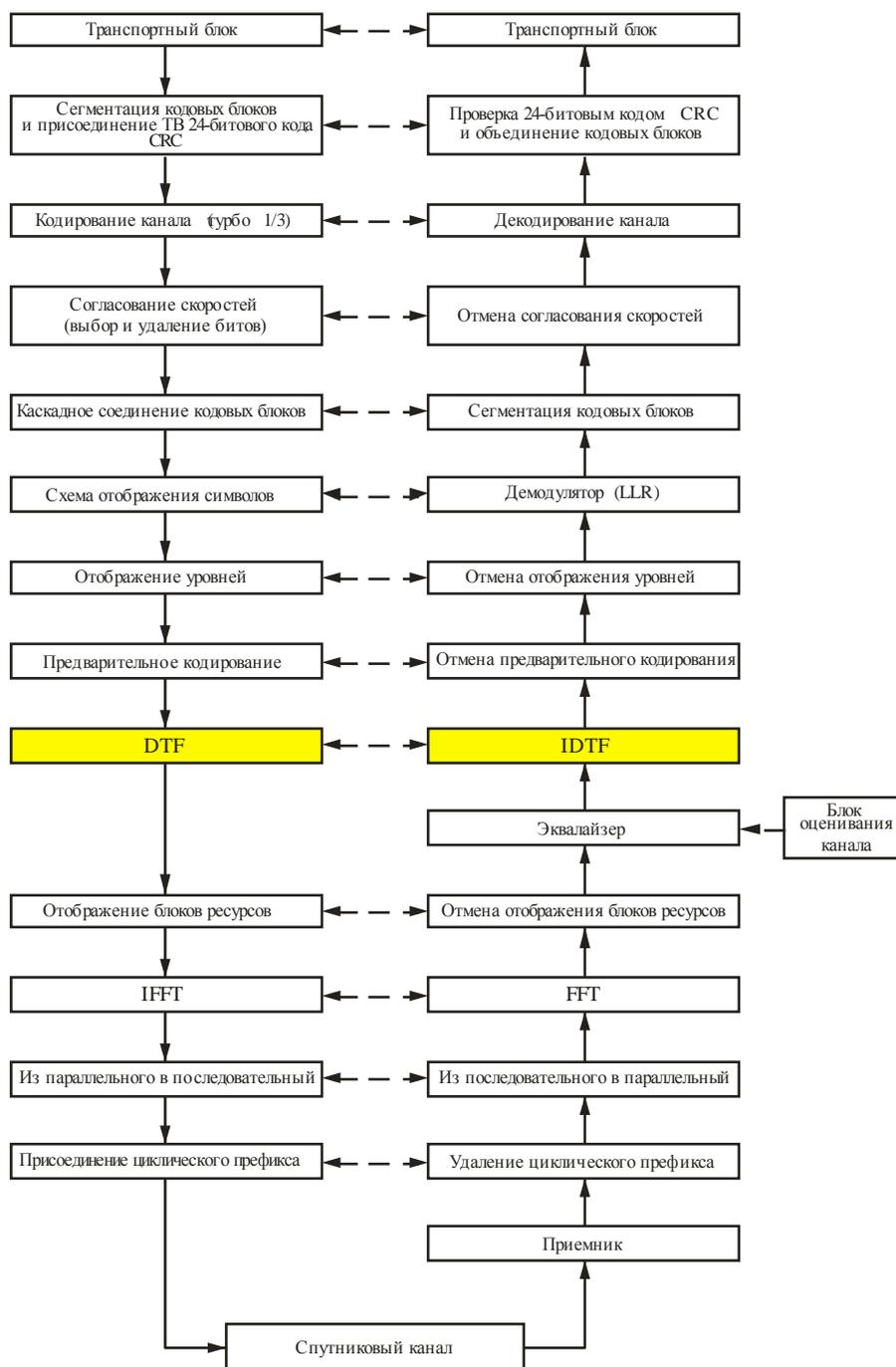


РИСУНОК 2.5

Передача сигналов по линии вверх в интерфейсе SAT-OFDM



М.2047-2-05

2.4.3 Взаимосвязь физических каналов и синхронизации

В интерфейсе SAT-OFDM определяются следующие физические каналы.

– Линия вниз:

- физические каналы – пользовательские данные, управление, информация:
 - PDSCN (совместно используемый физический канал на линии вниз);
 - PMCN (физический канал многоадресной передачи);
 - PDCCN (физический канал управления на линии вниз);
 - PBCN (физический широкоэмитательный канал);

- PCFICH (физический канал индикации формата управления);
- PHICH (физический канал индикации для гибридной схемы ARQ);
- физические сигналы – поиск соты, оценка канала:
 - RS (опорный сигнал);
 - SCH (сигнал синхронизации).
- Линия вверх:
 - физические каналы – пользовательские данные, управление:
 - PUSCH (совместно используемый физический канал на линии вверх);
 - PUCCH (физический канал управления на линии вверх);
 - PSRACH (физический спутниковый канал случайного доступа);
 - физические сигналы – оценка канала:
 - RS (опорный сигнал).

2.4.3.1 Структура кадра

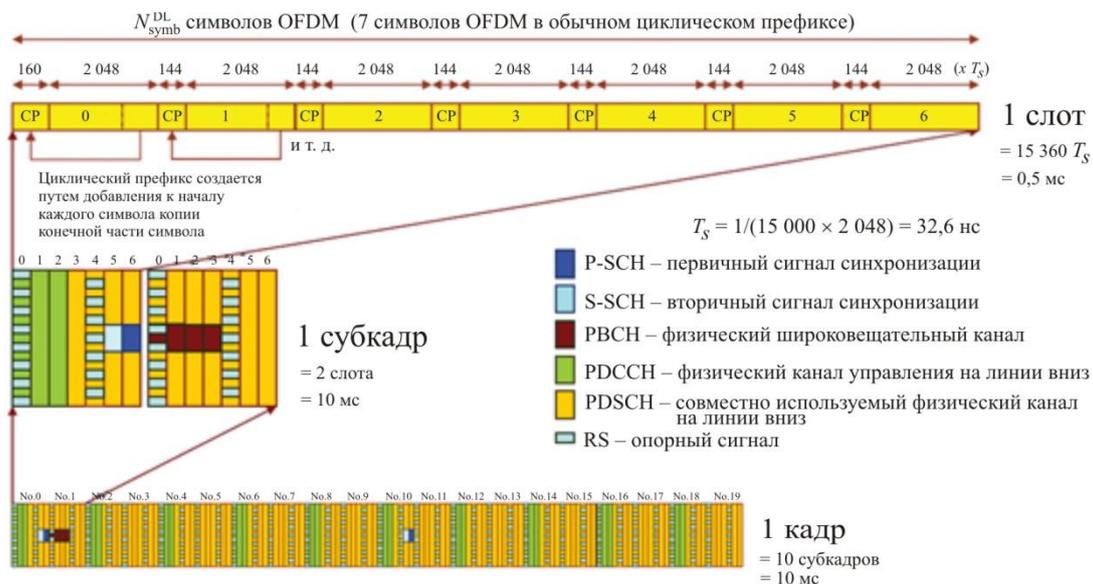
Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 4 стандарта ТТАТ.3G-36.211², предоставленного ТТА.

Кроме того, в целях адаптации к особым условиям спутниковой связи или улучшения функциональных характеристик спутниковой системы поддерживается лишь структура кадра типа 1, применимая к FDD.

На рисунках 2.6 и 2.7 показаны структуры кадров линии вниз и линии вверх SAT-OFDM соответственно, при этом обычный циклический префикс содержит семь символов OFDM.

РИСУНОК 2.6

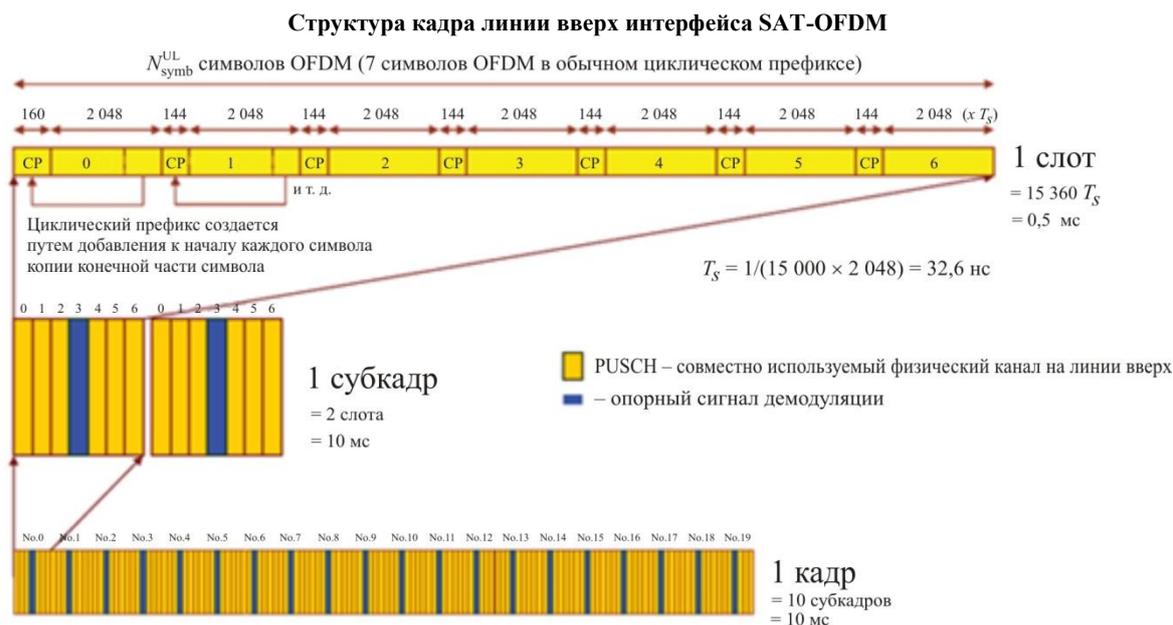
Структура кадра линии вниз интерфейса SAT-OFDM



M.2047-2-06

² Стандарт ТТАТ.3G-36.211 является транспонированным документом 3GPP TS 36.211 [http://committee.tta.or.kr/include/Download.jsp?filename=stnfile/TTAT.3G-36.211\(R8-8.6.0\).zip](http://committee.tta.or.kr/include/Download.jsp?filename=stnfile/TTAT.3G-36.211(R8-8.6.0).zip).

РИСУНОК 2.7



М.2047-2-07

2.4.3.2 Физические каналы линии вверх

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.1 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.2.1 Структура слота и физические ресурсы

2.4.3.2.1.1 Матрица ресурсов

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.2.1 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.2.1.2 Элементы ресурсов

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.2.2 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.2.1.3 Блоки ресурсов

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.2.3 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

Кроме того, для адаптации к особым условиям спутниковой связи или улучшения функциональных характеристик спутниковой системы указываются нижеследующие соображения.

В расширенном режиме также поддерживается узкополосный блок физических ресурсов на линии вверх, что соответствует 2 слотам и 90 кГц, 4 слотам и 45 кГц, 6 слотам и 30 кГц во временной и частотной областях соответственно.

2.4.3.2.2 Совместно используемый физический канал на линии вверх

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.3 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.2.2.1 Скремблирование

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.3.1 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.2.2.2 Модуляция

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.3.2 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

Кроме того, в целях адаптации к особым условиям спутниковой связи или улучшения функциональных характеристик спутниковой системы схема модуляции 64QAM не поддерживается.

ТАБЛИЦА 2.6

Схемы модуляции на линии вверх

| Физический канал | Схемы модуляции |
|------------------|-----------------|
| PUSCH | QPSK, 16QAM |

2.4.3.2.2.3 Предварительное кодирование с преобразованием

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.3.3 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.2.2.4 Отображение на физические ресурсы

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.3.4 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

Кроме того, в целях адаптации к особым условиям спутниковой связи или улучшения функциональных характеристик спутниковой системы работа в режиме TDD не рассматривается.

2.4.3.2.3 Физический канал управления на линии вверх

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.4 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.2.4 Опорные сигналы

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.5 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

Кроме того, в целях адаптации к особым условиям спутниковой связи или улучшения функциональных характеристик спутниковой системы работа в режиме TDD для опорного зондирующего сигнала в разделе 5.5.3 ТТAT.3G-36.211 не рассматривается.

2.4.3.2.5 Формирование сигнала в групповой полосе частот SC-FDMA

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.6 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.2.6 Физический канал случайного доступа

2.4.3.2.6.1 Работа в нормальном режиме

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.7.1 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

Кроме того, в целях адаптации к особым условиям спутниковой связи или улучшения функциональных характеристик спутниковой системы физический канал случайного доступа для режима TDD не рассматривается.

2.4.3.2.6.2 Работа в расширенном режиме

В расширенном режиме для увеличения пропускной способности системы в среде спутниковой связи определяются новые преамбулы RA. В таблице 2.7 приведены значения параметров, которые определяются конфигурацией случайного доступа. Управление форматом преамбулы осуществляется на более высоких уровнях.

ТАБЛИЦА 2.7

Параметры преамбулы случайного доступа

| Формат преамбулы | T_{CP} | T_{SEQ} |
|------------------|---------------------------|---------------------------|
| 4 | $9 \cdot 6240 \cdot T_s$ | $3 \cdot 24576 \cdot T_s$ |
| 5 | $3 \cdot 21024 \cdot T_s$ | $6 \cdot 24576 \cdot T_s$ |

Если передача преамбулы случайного доступа запускается на уровне MAC, то она ограничивается определенными временными и частотными ресурсами. Такие ресурсы нумеруются в возрастающем порядке по номерам субкадров внутри радиокадра и блоков физических ресурсов в частотной области следующим образом: индекс 0 соответствует наименьшим номерам блока физических ресурсов и субкадра в радиокадре. Ресурсы PRACH внутри радиокадра указываются при помощи индекса ресурсов PRACH.

Конфигурация случайного доступа на физическом уровне задается двумя форматами преамбулы, приведенными в таблице 2.7, и субкадрами, в которых передача преамбулы случайного доступа разрешена для заданной конфигурации в структуре кадра типа 1. Параметр индекса конфигурации PRACH задается на более высоких уровнях. Начало преамбулы случайного доступа должно соответствовать началу соответствующего субкадра линии вверх на оборудовании UE. Для некоторых конфигураций PRACH в оборудовании UE в целях хендовера может быть задано абсолютное значение относительной временной разницы между радиокадром i в текущем положении луча и в целевом луче.

Потенциальные возможности случайного доступа для каждой конфигурации PRACH должны быть согласованы сначала по времени, а затем по частоте исключительно в том случае, если мультиплексирования по времени недостаточно для обеспечения всех потенциальных возможностей конфигурации PRACH, необходимых для заданного значения плотности PRACH в каждые 10 мс без временного наложения.

Для форматов 5 и 6 преамбулы частотное мультиплексирование должно производиться согласно

$$n_{PRB}^{RA} = \begin{cases} n_{PRBoffset}^{RA} + 2 \left\lfloor \frac{f_{RA}}{2} \right\rfloor, & \text{если } f_{RA} \bmod 2 = 0; \\ N_{RB}^{UL} - 2 - n_{PRBoffset}^{RA} - 2 \left\lfloor \frac{f_{RA}}{2} \right\rfloor, & \text{в иных случаях,} \end{cases}$$

где:

N_{RB}^{UL} : количество блоков ресурсов на линии вверх;

f_{RA} : частотный индекс ресурсов PRACH в пределах рассматриваемого места расположения во временной области;

n_{PRB}^{RA} : первый блок физических ресурсов, выделенный для рассматриваемой потенциальной возможности PRACH и где параметр prach-Frequency Offset;

$n_{\text{PRBOffset}}^{\text{RA}}$: первый блок физических ресурсов, доступный для PRACH и выраженный в виде номера блока физических ресурсов, конфигурация которого выполнена на высших уровнях, и удовлетворяющий условию $0 \leq n_{\text{PRBOffset}}^{\text{RA}} \leq N_{\text{RB}}^{\text{UL}} - 2$.

Преамбулы случайного доступа формируются на основе последовательностей Задова-Чу, при этом зона нулевой корреляции формируется на основе одной или нескольких корневых последовательностей Задова-Чу. Данная сеть осуществляет конфигурацию набора последовательностей преамбулы, которые разрешено применять оборудованию UE.

В каждом луче имеются 64 преамбулы. Набор последовательностей из 64 преамбул в луче определяется путем включения первого в порядке возрастания циклического сдвига во все имеющиеся циклические сдвиги корневой последовательности Задова-Чу с логическим индексом RACH_ROOT_SEQUENCE, где RACH_ROOT_SEQUENCE передается в вещательном режиме как часть системной информации. Дополнительные последовательности преамбул, в том случае если 64 преамбулы не могут быть сформированы на основе единичной корневой последовательности Задова-Чу, могут быть получены из корневых последовательностей с последовательными логическими индексами до тех пор, пока не будут найдены все 64 последовательности. Логическая корневая последовательность имеет циклический порядок.

Непрерывный во времени сигнал случайного доступа, $s(t)$, определяется как

$$s(t) = \beta_{\text{PRACH}} \sum_{k=0}^{N_{\text{ZC}}-1} \sum_{n=0}^{N_{\text{ZC}}-1} x_{u,v}(n) \cdot e^{-j \frac{2\pi n k}{N_{\text{ZC}}}} \cdot e^{j 2\pi (k + \varphi + K(k_0 + 1/2)) \Delta f_{\text{RA}} (t - T_{\text{CP}})},$$

где:

$$0 \leq t < T_{\text{SEQ}} + T_{\text{CP}};$$

β_{PRACH} : коэффициент масштабирования амплитуды для согласования с мощностью передачи;

$x_{u,v}(n)$: преамбулы случайного доступа;

$$k_0 = n_{\text{PRB}}^{\text{RA}} N_{\text{sc}}^{\text{RB}} - N_{\text{RB}}^{\text{UL}} N_{\text{sc}}^{\text{RB}} / 2.$$

Расположение в частотной области контролируется параметром $n_{\text{PRB}}^{\text{RA}}$, который является первым блоком физических ресурсов, выделенным для рассматриваемой потенциальной возможности PRACH. Коэффициент $K = \Delta f / \Delta f_{\text{RA}}$ учитывает разницу в значениях разноса поднесущих между преамбулой случайного доступа и передачей данных по линии вверх. Переменная Δf_{RA} , разнос поднесущих для преамбулы случайного доступа и переменная φ , фиксированный сдвиг, определяющий расположение преамбулы случайного доступа в частотной области в пределах блоков физических ресурсов, приведены в таблице 2.8.

ТАБЛИЦА 2.8

Параметры групповой полосы частот случайного доступа

| Формат преамбулы | Δf_{RA} | φ |
|------------------|------------------------|-----------|
| 4–5 | 416,67 Гц | –6 |

2.4.3.2.7 Модуляция и преобразование с повышением частоты

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.8 стандарта ТТАТ.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.3 Физические каналы на линии вниз

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 6.1 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.3.1 Структура слота и физические ресурсы

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 6.1 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

Кроме того, в целях адаптации к особым условиям спутниковой связи или улучшения функциональных характеристик спутниковой системы п. 6.2.6, касающийся интервала защиты для работы TDD, не рассматривается.

2.4.3.3.2 Общая структура физических каналов на линии вниз

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 6.3 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

ТАБЛИЦА 2.9

Схема модуляции

| Физический канал | Схемы модуляции |
|------------------|-----------------|
| PDСCH | QPSK, 16QAM |
| PMСH | QPSK, 16QAM |

Кроме того, для адаптации к особым условиям спутниковой связи или улучшения функциональных характеристик спутниковой системы указываются нижеследующие соображения.

Схема модуляции 64QAM не поддерживается.

В расширенном режиме для сигнала в групповой полосе частот, представляющего физический канал на линии вниз, дополнительно определяются следующие шаги:

- долговременное перемежение символов модуляции с комплексным значением в нескольких субкадрах (более подробно см. п. 2.4.6.1);
- формирование сигнала SC-FDM с комплексным значением во временной области для каждого порта антенны (более подробно см. п. 2.4.6.6).

В расширенном режиме в целях улучшения функциональных характеристик в интегрированной конфигурации спутниковой компоненты CGC добавляется также предварительное кодирование для режима разнесения совместной передачи с дополнительными наземными компонентами (CGC) (более подробно см. п. 2.4.6.4).

2.4.3.3.3 Совместно используемый физический канал на линии вниз

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 6.4 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.3.4 Физический канал многоадресной передачи

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 6.5 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.3.5 Физический широковещательный канал

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 6.6 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.3.6 Физический канал индикации формата управления

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 6.7 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.3.7 Физический канал управления на линии вниз

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 6.8 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.3.8 Физический канал индикации для гибридной схемы ARQ

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 6.9 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.3.9 Опорный сигнал

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 6.10 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.3.9.1 Опорные сигналы, характерные для сот

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 6.10.1 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.3.9.2 Опорные сигналы MBSFN

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 6.10.2 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.3.9.3 Опорные сигналы, характерные для оборудования UE

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 6.10.3 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.3.10 Сигнал синхронизации

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 6.11 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.3.10.1 Первичный сигнал синхронизации

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 6.11.1 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.3.10.2 Вторичный сигнал синхронизации

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 6.11.2 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.3.11 Формирование сигнала групповой полосы частот OFDM

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 6.12 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.3.12 Модуляция и преобразование с повышением частоты

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 6.13 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

2.4.3.4 Синхронизация

2.4.3.4.1 Кадровая синхронизация линии вверх – линии вниз

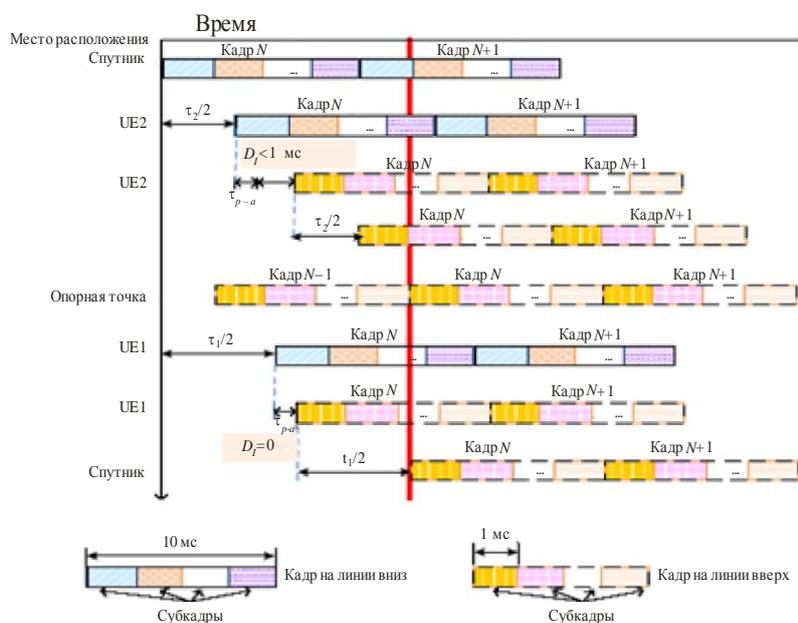
Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 8 стандарта ТТAT.3G-36.211, предоставленного ТТА.

Кроме того, для адаптации к особым условиям спутниковой связи или улучшения функциональных характеристик спутниковой системы приводятся нижеследующие соображения.

Для соблюдения условий кадровой синхронизации линии вверх – линии вниз, определенной в разделе 8 стандарта ТТAT.3G-36.211, необходимо осуществить распределение ресурсов. На рисунке 2.8 изображен специально разработанный метод распределения ресурсов с учетом особых условий спутниковой связи. Устройства UE1 и UE2 представляют собой терминалы, расположенные на границе и в центре луча соответственно. Следовательно, устройства UE1 и UE2 обладают максимальной и минимальной круговыми задержками (RTD) соответственно и, таким образом, $\Delta t_{1,2}$ имеет максимальное значение среди всех имеющихся $\Delta t_{i,j}$. Для передачи по линии вверх задана точка опорной синхронизации относительно круговой задержки устройства UE1. При помощи этой опорной точки устройство UE1 может передавать свой сигнал по линии вверх после того, как по линии вниз получена информация о распределении ресурсов, то есть $D_I = 0$. С другой стороны, для устройства UE_j значение $\Delta t_{i,j}$ компенсируются посредством использования метода модифицированного распределения ресурсов, не требующего какого-либо изменения синхронизации линии вверх – линии вниз наземной системы LTE. Фактически планировщик на спутнике может получить информацию о расположении каждого устройства UE через собственный пробный случайный доступ. Используя эту информацию, планировщик выделяет имеющиеся ресурсы наиболее подходящим субкадрам, спаренным с определенным субкадром на линии вниз. Например, как показано на рисунке 2.8, устройства UE1 и UE2 принимают сигнал по линии вниз после $t_1/2$ и $t_2/2$ соответственно, где t_i – это круговая задержка устройства UE_i. Планировщик выделяет имеющиеся ресурсы ближайшему опорному субкадру по линии вверх сразу после приема сигнала по линии вниз и задержке переключения t_{pro} . Поскольку планировщик обладает информацией по $\Delta t_{i,j}$, проблема ортогональности может быть решена.

РИСУНОК 2.8

Распределение ресурсов для синхронизации кадров линии вверх – линии вниз



2.4.3.4.2 Временная зависимость между PRACH и PDCCH, связанным с AI

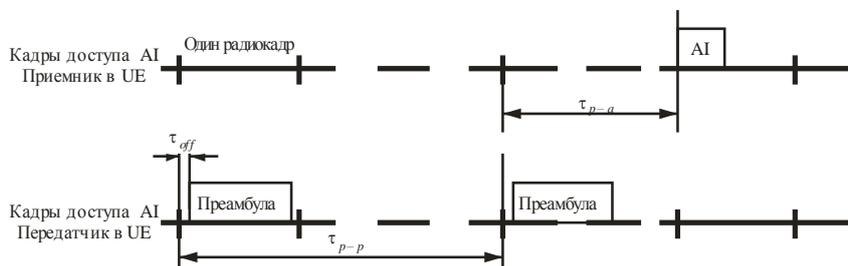
Кадры доступа к каналу PRACH на линии вверх согласуются по времени с приемом канала PDCCH на линии вниз, связанным с кадром доступа индикатора обнаружения (AI). Номер кадра доступа по линии вверх n передается τ_{p-a} субкадрами станции MES перед приемом номера кадра доступа по линии вниз n , $n = 0, 1, \dots, 9$. Временная зависимость PRACH/PDCCH показана на рисунке 2.9. Смещение τ_{off} передачи должно находиться в диапазоне от $-\tau_{off, \max}$ до $\tau_{off, \max}$, где $\tau_{off, \max}$ – это максимальное смещение передачи, сигналы которого передаются на более высоких уровнях. Расстояние τ_{p-p} от преамбулы до преамбулы должно быть больше или равно минимальному расстоянию $\tau_{p-p, \min}$ от преамбулы до преамбулы. В дополнение к $\tau_{p-p, \min}$ расстояние τ_{p-a} от преамбулы до AI определяется следующим образом:

- если параметр AI_Transmission_Timing задан равным 0, то $\tau_{p-p, \min} = 300$ субкадров (30 радиокадров), а $\tau_{p-a} = 280$ субкадров (28 радиокадров);
- если параметр AI_Transmission_Timing задан равным 1, то $\tau_{p-p, \min} = 560$ субкадров (56 радиокадров), а $\tau_{p-a} = 540$ субкадров (54 радиокадра).

Параметр AICH_Transmission_Timing передается на более высоких уровнях.

РИСУНОК 2.9

Временная зависимость между PRACH и AI для станции MES



М.2047-2-09

2.4.4 Мультиплексирование и кодирование каналов

2.4.4.1 Отображение на физические каналы

2.4.4.1.1 Линия вверх

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 4.1 стандарта ТТAT.3G-36.212³, предоставленного ТТА.

2.4.4.1.2 Линия вниз

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 4.2 стандарта ТТAT.3G-36.212, предоставленного ТТА.

2.4.4.2 Кодирование, мультиплексирование и перемежение каналов

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5 стандарта ТТAT.3G-36.212, предоставленного ТТА.

³ Стандарт ТТAT.3G-36.212 является транспонированным документом 3GPP TS 36.212 [http://committee.tta.or.kr/include/Download.jsp?filename=stnfile/TTAT.3G-36.212\(R8-8.6.0\).zip](http://committee.tta.or.kr/include/Download.jsp?filename=stnfile/TTAT.3G-36.212(R8-8.6.0).zip).

2.4.4.2.1 Общая процедура

2.4.4.2.1.1 Расчет CRC

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.1.1 стандарта ТТАТ.3G-36.212, предоставленного ТТА.

2.4.4.2.1.2 Сегментация кодовых блоков и присоединение CRC кодовых блоков

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.1.2 стандарта ТТАТ.3G-36.212, предоставленного ТТА.

2.4.4.2.1.3 Кодирование канала

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.1.3 стандарта ТТАТ.3G-36.212, предоставленного ТТА.

2.4.4.2.1.3.1 Сверточное кодирование с удалением конечных элементов

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.1.3.1 стандарта ТТАТ.3G-36.212, предоставленного ТТА.

2.4.4.2.1.3.2 Турбокодирование

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.1.3.1 стандарта ТТАТ.3G-36.212, предоставленного ТТА.

2.4.4.2.1.4 Согласование скоростей

2.4.4.2.1.4.1 Согласование скоростей для каналов транспортирования с турбокодированием

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.1.4.1 стандарта ТТАТ.3G-36.212, предоставленного ТТА.

2.4.4.2.1.4.2 Согласование скоростей для каналов транспортирования со сверточным кодированием и управляющая информация

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.1.4.2 стандарта ТТАТ.3G-36.212, предоставленного ТТА.

2.4.4.2.1.5 Каскадное соединение кодовых блоков

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.1.5 стандарта ТТАТ.3G-36.212, предоставленного ТТА.

2.4.4.2.2 Каналы транспортирования на линии вверх и управляющая информация

2.4.4.2.2.1 Канал случайного доступа

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.2.1 стандарта ТТАТ.3G-36.212, предоставленного ТТА.

2.4.4.2.2.2 Совместно используемый канал на линии вверх

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.2.2 стандарта ТТАТ.3G-36.212, предоставленного ТТА.

Кроме того, для адаптации к особым условиям спутниковой связи или улучшения функциональных характеристик спутниковой системы приводятся нижеследующие соображения.

Работа в режиме TDD не рассматривается.

В расширенном режиме добавляются также 5 битов широкополосной информации CQI, как показано в таблице 2.10. Такое добавление осуществляется для обратной связи в отношении информации о качестве канала с отчетами по широкополосной CQI и используется для режимов передачи 4 и 6.

ТАБЛИЦА 2.10

Поле широкополосной CQI для расширенного режима

| Поле | Битовая ширина | | | |
|------------------------------------|-------------------|----------|----------------------|----------|
| | Два порта антенны | | Четыре порта антенны | |
| | Ранг = 1 | Ранг = 2 | Ранг = 1 | Ранг > 1 |
| Кодовое слово 0 широкополосной CQI | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Кодовое слово 1 широкополосной CQI | 0 | 5 | 0 | 5 |

2.4.4.2.2.3 Информация управления на линии вверх (UCI) в канале PUSCH

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.2.3 стандарта ТТAT.3G-36.212, предоставленного ТТА.

Кроме того, для адаптации к особым условиям спутниковой связи или улучшения функциональных характеристик спутниковой системы приводятся нижеследующие соображения.

Работа в режиме TDD не рассматривается.

В расширенном режиме к подтверждению HARQ-ACK добавляется поле памяти приемника (RM) (более подробно см. в п. 2.4.6.10).

В расширенном режиме добавляются также 5 битов широкополосной информации CQI, как показано в таблицах 2.11 и 2.12. Таблица 2.11 определяет обратную связь в отношении информации о качестве канала для отчетов по широкополосной CQI и используется для режимов передачи 1, 2, 3 и 7. Таблица 2.12 используется для режимов передачи 4, 5 и 6.

ТАБЛИЦА 2.11

Поле UCI для расширенного режима (режим передачи 1, 2, 3 и 7)

| Поле | Битовая ширина |
|--------------------|----------------|
| Широкополосная CQI | 5 |

ТАБЛИЦА 2.12

Поле UCI для расширенного режима (режимы передачи 4, 5 и 6)

| Поле | Битовая ширина | | | |
|--------------------|-------------------|----------|----------------------|----------|
| | Два порта антенны | | Четыре порта антенны | |
| | Ранг = 1 | Ранг = 2 | Ранг = 1 | Ранг > 1 |
| Широкополосная CQI | 4 | 4 | 4 | 4 |

2.4.4.2.2.4 Информация управления в канале PUSCH, не содержащая данных UL-SCH

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.2.4 стандарта ТТAT.3G-36.212, предоставленного ТТА.

2.4.4.2.3 Каналы транспортирования на линии вниз и управляющая информация

2.4.4.2.3.1 Широковещательный канал

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.3.1 стандарта ТТАТ.3G-36.212, предоставленного ТТА.

2.4.4.2.3.2 Совместно используемый канал на линии вниз, пейджинговый канал и канал многоадресной передачи

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.3.2 стандарта ТТАТ.3G-36.212, предоставленного ТТА.

2.4.4.2.3.3 Управляющая информация на линии вниз (DCI)

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.2.3 стандарта ТТАТ.3G-36.212, предоставленного ТТА.

Кроме того, для адаптации к особым условиям спутниковой связи или улучшения функциональных характеристик спутниковой системы приводятся нижеследующие соображения.

Работа в режиме TDD не рассматривается.

В расширенном режиме количество битов индикатора в формате 0 DCI изменяется для агрегирования спутниковых несущих:

- индикатор новых данных – 2 бита (увеличено с 1 до 2 битов в разделе 5.3.3 документа ТТАТ.3G-36.212).

В расширенном режиме количество битов индикатора в форматах 1, 1A, 1B, 1D, 2, 2A и 2B DCI изменяется для спутникового метода HARQ и агрегирования спутниковых несущих:

- индикатор процесса HARQ – 9 битов (увеличено с 3 до 9 битов в разделе 5.3.3 стандарта ТТАТ.3G-36.212);
- индикатор новых данных – 2 бита (увеличено с 1 до 2 битов в разделе 5.3.3 стандарта ТТАТ.3G-36.212).

2.4.4.2.3.4 Индикатор формата управления (CFI)

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.3.4 стандарта ТТАТ.3G-36.212, предоставленного ТТА.

2.4.4.2.3.5 Индикатор HARQ (HI)

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.3.5 стандарта ТТАТ.3G-36.212, предоставленного ТТА.

2.4.5 Процедуры физического уровня

2.4.5.1 Поиск луча

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 4.1 стандарта ТТАТ.3G-36.213⁴, предоставленного ТТА.

2.4.5.2 Синхронизация во времени

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 4.1 стандарта ТТАТ.3G-36.213, предоставленного ТТА.

⁴ Стандарт ТТАТ.3G-36.213 является транспонированным документом 3GPP TS 36.213 [http://committee.tta.or.kr/include/Download.jsp?filename=stnfile/TTAT.3G-36.213\(R8-8.6.0\).zip](http://committee.tta.or.kr/include/Download.jsp?filename=stnfile/TTAT.3G-36.213(R8-8.6.0).zip).

Кроме того, для адаптации к особым условиям спутниковой связи или улучшения функциональных характеристик спутниковой системы указываются нижеследующие соображения.

Метод распределения ресурсов для этих настроек синхронизации передачи в условиях спутниковой связи определяется в п. 2.4.3.4.

2.4.5.3 Регулирование мощности

2.4.5.3.1 Регулирование мощности на линии вверх

2.4.5.3.1.1 Работа в нормальном режиме

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.1 стандарта ТТAT.3G-36.213, предоставленного ТТА.

2.4.5.3.1.2 Работа в расширенном режиме

Регулировка мощности на линии вверх основывается как на измерениях интенсивности сигнала, выполняемых самим терминалом (регулирование мощности без обратной связи), так и на результатах измерений, выполняемых базовой станцией.

Несмотря на то что линия вверх использует ортогональный доступ SC-FDMA, высокий уровень помех от соседних лучей может все же ограничивать покрытие линии вверх, если устройства UE в соседних лучах не регулируются по мощности. Средний уровень помех между сотами, принимаемых на спутнике, эффективно снижается при помощи постепенного регулирования мощности на каждом устройстве UE для компенсации потерь на трассе и затенения.

Для линии вверх применяется комбинированный алгоритм регулирования мощности на основе событий без обратной связи и с обратной связью.

Мощность передатчика оборудования UE настраивается путем регулирования мощности на линии вверх, что позволяет сохранять заданное значение спектральной плотности мощности передачи (PSD) для каждой станции MCS, PSD_{target} . Регулирование мощности на линии вверх должно выполняться, пока мощность передатчика UE не превышает максимально допустимую выходную мощность.

Любое изменение мощности передачи на линии вверх должно происходить непосредственно перед началом кадра. Изменение мощности относительно его предыдущего значения вычисляется устройством UE и определяется величиной Δ_{UP} (дБ).

Спутниковая сеть RAN должна производить оценку спектральной плотности мощности, PSD_{est} , полученного символа SRS на линии вверх, формировать команды TPC и передавать команды не чаще одного раза за один радиокадр согласно следующему правилу.

Определяем переменную:

$\Delta_{\varepsilon}(i)$: $PSD_{est} - PSD_{target}$ для заданного уровня MCS;

$\Delta_p(i)$: шаг регулирования мощности, значение которого определяется согласно TPC_cmd для i -го кадра, где размеры шага составляют [-1 дБ 0 дБ +1 дБ +3 дБ] под управлением спутниковой сети RAN;

N_{frame} : задержка в замкнутой цепи, выраженная в кадрах;

и далее, $\Delta_p(i)$ формируется при помощи $\Delta_{\varepsilon}(i)$ и пройденных за время N_{frame} шагов регулирования мощности, $\Delta_p(k)$, $k = i - N_{frame} - 1, \dots, i - 1$, следующим образом.

Рассчитываем:

$$\Delta_{\varepsilon,c} = \Delta_{\varepsilon}(i) + \chi G_1 (PSD_{SRS}(i) - PSD_{SRS}(i-1)),$$

где индикатор компенсации задержки в замкнутой цепи, G_1 ($0 \leq G_1 \leq 1$), является параметром более высокого уровня и одинаков для всех станций MES в одном и том же луче. Если символ SRS может использоваться для оценки канала, значение χ равно 1, в противном случае χ равно 0:

- если $|\Delta_{\epsilon, c}| < \epsilon_T$ и $\Delta_{\epsilon, c} < 0$, $\Delta_p(i) = 1$ дБ;
- если $|\Delta_{\epsilon, c}| < \epsilon_T$ и $\Delta_{\epsilon, c} > 0$, $\Delta_p(i) = 0$ дБ;
- если $|\Delta_{\epsilon, c}| < \epsilon_T$ и $\Delta_{\epsilon, c} < 0$, $\Delta_p(i) = 3$ дБ;
- если $|\Delta_{\epsilon, c}| > \epsilon_T$ и $\Delta_{\epsilon, c} > 0$, $\Delta_p(i) = -1$ дБ.

Станция MES регулирует мощность передачи на линии вверх DSCN с шагом Δ_{UP} (дБ) с использованием двух последних шагов регулирования мощности принимаемого сигнала, $\Delta_p(i)$ и $\Delta_p(I - 1)$, следующим образом:

$$\Delta_{UP} = \Delta_p(i) - \alpha \Delta_p(I - 1),$$

где значение α идентично значению, которое используется в обслуживаемом луче и передается на более высоком уровне.

2.4.5.3.2 Регулирование мощности на линии вниз

2.4.5.3.2.1 Работа в нормальном режиме

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 5.2 стандарта TТAT.3G-36.213, предоставленного TТА.

2.4.5.3.2.2 Работа в расширенном режиме

Динамическое регулирование мощности применяется в выделенных каналах управления, которые направляются к отдельному устройству UE или группе устройств UE. На линии вверх отсутствует обратная связь команд TPC, и распределение мощности основывается на обратной связи по качеству канала на линии вниз от устройств UE. Разные уровни мощности могут назначаться различным блокам ресурсов, используемым для передачи данных полустатическим способом в целях поддержки координации межлучевых помех (IBIC). Кроме того, два различных уровня мощности могут быть определены для символов OFDM, используемых для передачи данных в субкадре в целях более оптимального использования мощности спутниковой сети RAN. Однако для решения проблемы дисбаланса мощности в пространственной области различие в уровнях мощности на портах антенн не допускается.

Для выбора подходящего уровня символа MCS на основании обратной связи по качеству канала линии вниз, устройство UE может применять алгоритм прогнозирования, который оценивает будущий режим работы канала после круговой задержки. Прогнозирование отклонения параметров канала может проводиться путем наблюдения кривых предыдущих отклонений параметров общего канала в активном множестве. Для поддержки устройств UE, в которых применяется алгоритм прогнозирования, номинальная круговая задержка луча, к которому относится устройство UE, передается на более высоких уровнях. Предварительно рассчитанное отклонение канала после круговой задержки, Δ_{pred} , используется спутниковой сетью RAN:

$$\Delta_{pred} = G(PSD_{CSI-RS + PBCH + SCH}(i) - PSD_{CSI-RS + PBCH + SCH}(i-1)),$$

где предварительно рассчитанный коэффициент усиления G является параметром более высокого уровня и может отличаться для каждой станции MES в одном и том же луче.

Как правило, схема адаптивной модуляции и кодирования (AMC) применяется при передаче по линии вниз вместо регулирования мощности. Однако регулирование мощности может применяться при передаче по линии вниз в целях удержания низкого значения PAPR следующим образом.

- Шаг 1. Отслеживание больших уровней замирания (L_k), зафиксированных на устройствах UE.
- Шаг 2. Подсчет количества устройств UE (N_u), удовлетворяющих условию $L_k > B_0$.
- Шаг 3. Если $N_u < B_1$, необходимо рассчитать количество всех поднесущих (N_c), используемых N_u устройствами UE.
В противном случае задействуется режим AMC.
- Шаг 4. Если $N_c < B_2$, действует режим регулирования мощности.
В противном случае задействуется режим AMC.

При этом пороговые значения B_0 , B_1 и B_2 передаются на более высоких уровнях.

2.4.5.4 Процедура случайного доступа

Нормативные ссылки на содержание данного раздела приведены в разделе 6 стандарта ТТAT.3G-36.213, предоставленного ТТА.

Кроме того, для адаптации к особым условиям спутниковой связи или улучшения функциональных характеристик спутниковой системы приводятся нижеследующие соображения.

Определяется процедура случайного доступа для устройств UE, оборудованных GPS. Устройство UE, оборудованное GPS, может осуществлять прогнозирование уровня круговой задержки на основе данных о собственном местоположении. После настройки синхронизации устройства UE на линии вверх в пределах дробной части циклического префикса к преамбуле случайного доступа оно осуществляет передачу со случайным доступом, при этом форматы преамбул аналогичны форматам наземной системы LTE. Устройство UE должно выдавать адаптированную информацию о синхронизации на линии вверх спутниковой сети RAN путем выбора подходящей группы последовательностей преамбул из таблицы 2.13. Некоторые из всех 64 последовательностей конфигурируются для конкурентного случайного доступа, и данные об их группировании передаются на более высоких уровнях.

ТАБЛИЦА 2.13

Группа последовательностей преамбул RA

| Различие RTD относительно центра луча | Используемая группа последовательностей преамбул |
|---------------------------------------|--|
| Различие RTD ≤ 1 мс | Группа 1 последовательностей преамбул |
| Различие RTD ≤ 2 мс | Группа 2 последовательностей преамбул |
| Различие RTD ≤ 3 мс | Группа 3 последовательностей преамбул |
| Различие RTD ≤ 4 мс | Группа 4 последовательностей преамбул |

Случайный доступ через группирование последовательностей дает возможность спутниковой сети RAN оценивать и, если это необходимо, настраивать синхронизацию планирования для оборудования UE на линии вверх. Настройка синхронизации планирования для оборудования UE на линии вверх состоит из следующих шагов:

- спутниковая сеть RAN производит оценку задержки RTD для оборудования UE, используя полученную преамбулу случайного доступа и таблицу 2.13;
- на основе полученной оценки задержки RTD спутниковая сеть RAN осуществляет планирование синхронизации доступа оборудования UE.

После успешного получения преамбулы случайного доступа спутниковая сеть RAN отправляет отклик случайного доступа, отображающий успешно полученную преамбулу (преамбулы) вместе с опережением по времени (TA), а также информацию о распределении ресурсов на линии вверх с учетом задержки RTD для оборудования UE, как показано на рисунке 2.10.

РИСУНОК 2.10

Процедуры конкурирующего случайного доступа с группами последовательностей преамбул

Конкурирующий RA



М.2047-2-10

2.4.6 Особенности спутниковой связи, позволяющие улучшить характеристики

Радиоинтерфейс SAT-OFDM имеет много общего с наземным радиоинтерфейсом на базе LTE, однако существует также ряд отличающихся функций. Реализуются функции, необходимые для отражения характеристик, присущих спутникам, таких как длительная круговая задержка. С этой целью в расширенном режиме работы применяются следующие методы.

2.4.6.1 Долговременный перемежитель, повышающий эффективность работы AMC

Схема применяется для более эффективной работы AMC в условиях спутниковой связи.

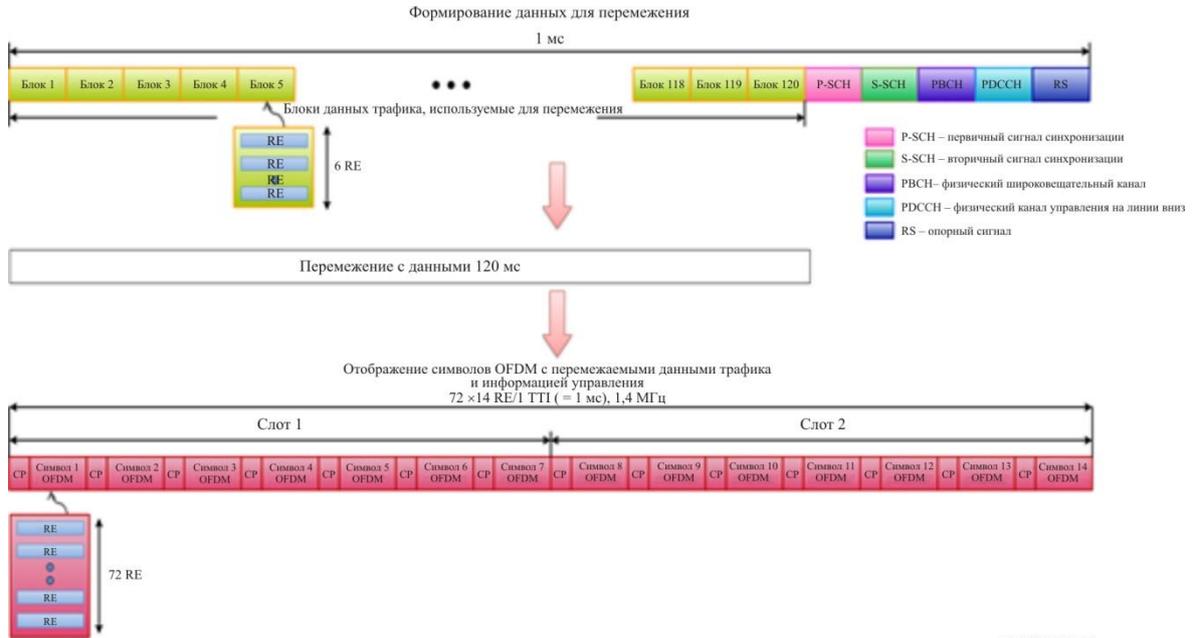
С учетом задержки RTD для геостационарной системы адаптивная модуляция и кодирование (AMC) спутниковых систем не может эффективно противодействовать кратковременным замираниям. Метод долговременного перемежения могут использоваться совместно с AMC в целях компенсации кратковременных замираний.

После турбокодирования со скоростью материнского кода, равной 1/3, применяется подбор скоростей, позволяющий получить различные значения скорости кода для адаптивного использования. Перемежение применяется в отношении блоков данных, состоящих из элементов ресурсов (RE) данных трафика после модуляции в групповой полосе частот и перед отображением блока ресурсов (RB) и применением IFFT для модуляции OFDM.

На рисунке 2.11 приведен пример формирования данных для перемежения и отображения символов OFDM перед применением IFFT при размере перемежителя, равном 120 мс. Данный пример предполагает, что на шесть блоков ресурсов, то есть на 720 элементов ресурсов (RE) с шириной полосы 1,4 МГц приходится один пользователь. Информация трафика, содержащаяся в кодовом слове, равном 1 мс, разделена на 120 блоков для перемежения, и каждый блок называется блоком перемежения (IU). На рисунке 2.12 показана конфигурация соответствующего перемежителя с квадратными блоками, который может быть использован для реализации перемежения, указанного на рисунке 2.11. Хотя на рисунке 2.12 изображен перемежитель блочного типа, однако для сокращения объема памяти перемежителя может применяться эквивалентный перемежитель сверточного типа. При наличии перемежителя кодовое слово состоит из 120 блоков IU, а блок IU содержит различное количество RE в зависимости от выделенной ширины полосы частот. Нотация C_1^2 в отдельном блоке IU на рисунке 2.12 представляет второй сегмент первого кодового слова. При действующем перемежении передача начинается с первого элемента первого столбца и продолжается до последнего элемента того же столбца. Затем она продолжается с первого элемента второго столбца таким же образом до последнего элемента последнего столбца. Таблица 2.14 представляет примеры параметров перемежителя в соответствии с выделенной шириной полосы.

РИСУНОК 2.11

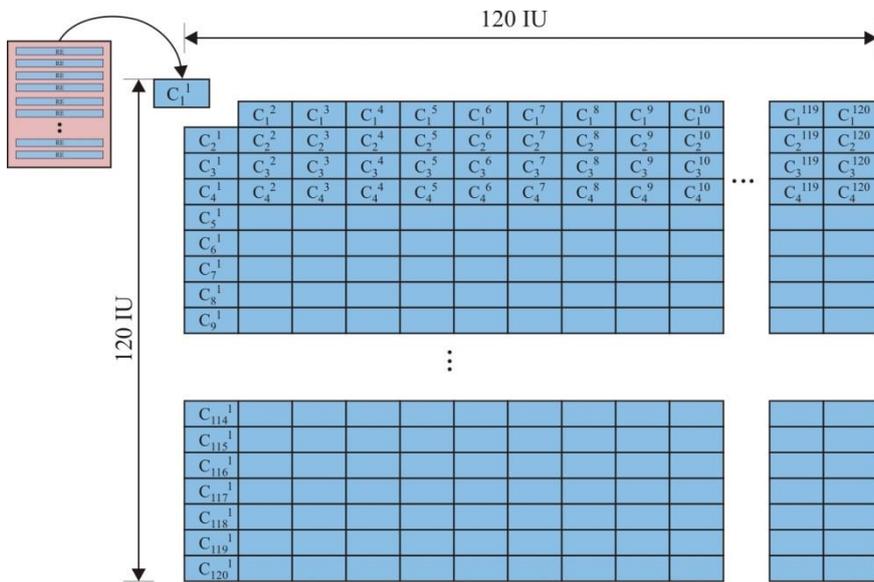
Пример формирования данных для перемежения и отображения символов OFDM



M.2047-2-11

РИСУНОК 2.12

Пример перемежителя с квадратными блоками



M.2047-2-12

ТАБЛИЦА 2.14

Примеры параметров долговременного перемежителя

| Выделенная полоса частот (МГц) | Кол-во блоков ресурсов | Кол-во элементов ресурсов | Размер перемежителя (мс) | Кол-во элементов ресурсов в блоке IU | Кол-во блоков IU/мс |
|--------------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| 1,4 | 6 | 720 | 120 | 6 | 120 |
| | | | 360 | 2 | 360 |
| | | | 720 | 1 | 720 |
| 3 | 15 | 1 800 | 120 | 15 | 180 |
| | | | 360 | 5 | 360 |
| | | | 1 800 | 1 | 1 800 |
| 5 | 25 | 3 000 | 120 | 25 | 120 |
| 10 | 50 | 6 000 | 120 | 50 | 120 |
| 15 | 75 | 9 000 | 120 | 75 | 120 |
| 20 | 100 | 12 000 | 120 | 100 | 120 |

Информация перемежителя, основанная на типе распределения ресурсов и данных в памяти, передается между узлами S-eNodeB и устройствами UE для долговременного перемежения. Информация перемежителя содержит идентификатор (ID) перемежителя, который отображает размер перемежителя (N) и блок перемежения (IU). В таблице 2.15 приведены идентификаторы (ID) перемежителя.

ТАБЛИЦА 2.15

Идентификаторы долговременного перемежителя

| Идентификатор перемежителя | N | IU |
|----------------------------|-----------------|-----------------|
| 0001 | 120 | 1 |
| 0010 | 120 | 2 |
| 0011 | 120 | 3 |
| 0100 | 120 | 4 |
| 0101–1111 | Зарезервировано | Зарезервировано |

В частности, процесс перемежения символов включает в себя перемежение данных на уровне символов с использованием перемежителя, максимальный размер которого составляет 120 IU, относительно отдельного блока ресурсов (RB). Данные о типе распределения ресурсов включают тип 2, определенный в разделе 7.1.6 стандарта ТТЭТ.3G-36.213.

Применение (долговременного) перемежителя символов основывается на служебной информации. Долговременный перемежитель применим только для услуг, не являющихся услугами в реальном времени.

Для непрерывной передачи, включающей длительный процесс перемежения, применяется таймер битов заполнения. При отсутствии входных данных на буфере перемежения до окончания времени работы таймера битов заполнения в долговременный перемежитель могут вводиться случайные данные. То есть в то время, когда буфер перемежения не содержит новых данных, а время таймера еще не истекло, передача данных не производится.

2.4.6.2 Частичное повторное использование частот в многолучевой конфигурации

Данная схема используется для поддержки широкополосных спутниковых услуг, а также для повышения эффективности использования спектра в многолучевых спутниковых системах. Кроме того, рассматриваемая схема не требует каких-либо модификаций схемотехники LTE в нормальном режиме, поскольку это зависит от конкретной реализации.

Для частичного повторного использования частот (FFR) в многолучевых конфигурациях спутниковая сеть RAN должна получать информацию о расположении устройств UE. Это позволяет различать устройства UE в центре луча и устройства UE на границе луча. Информация о местоположении определяется в течение пробного случайного доступа устройства UE с помощью встроенного в UE модуля GPS либо на основе значений коэффициента SINR, полученных от целевого луча и соседних лучей в устройстве UE.

Получение спутниковой сетью RAN информации о синхронизации устройства UE во время пробного случайного доступа выражается следующим образом:

- если $\theta_1 < T_{\text{RTD_difference}} < \theta_2$, устройство UE располагается в зоне центра луча;
- в противном случае устройство UE располагается в зоне границы луча,

где $T_{\text{RTD_difference}}$ – разность уровней круговой задержки между целевым устройством UE и устройством UE, имеющим минимальную круговую задержку в пределах целевого луча, а пороговые значения θ_1 и θ_2 являются параметрами высокого уровня.

Когда полученный из целевого луча и соседних лучей коэффициент SINR линии вниз оценивается устройством UE, информация о синхронизации устройства UE может также быть выражена следующим образом:

- если $\theta_3 < \frac{\text{полученный из целевого луча коэффициент SINR}}{\text{полученный из соседнего луча коэффициент SINR}}$, устройство UE располагается в районе центра луча;
- в противном случае пользовательское устройство располагается в зоне границы луча,

где пороговое значение θ_3 является параметром высокого уровня.

Информация о местоположении, полученная устройством UE, должна быть отправлена в спутниковую сеть RAN по следующей схеме:

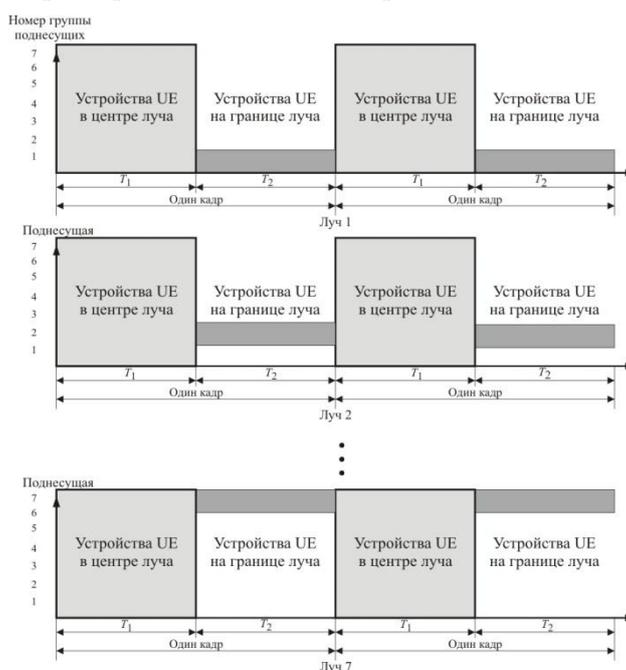
- если устройство UE располагается в зоне центра луча, отправляется код "0";
- если устройство UE располагается в зоне границы луча, отправляется код "1".

В случае частичного повторного использования частот в многолучевой спутниковой системе каждый луч разделяется на две зоны, а каждый кадр должен быть разделен на два временных сегмента T_1 и T_2 в каждом луче, как показано на рисунке 2.13. Первый сегмент T_1 присваивается устройствам UE в центре луча, а все поднесущие используются для передачи в течение этого периода времени. С другой стороны, второй временной сегмент T_2 присваивается устройствам UE на границе луча. В течение этого периода времени используются только идентифицированные дробные поднесущие без целых поднесущих.

Идентификация дробных поднесущих производится на уровнях MAC. Значения T_1 и T_2 определяются на высоком уровне с учетом суммарной пропускной способности системы и помех между лучами.

РИСУНОК 2.13

Структура кадра для частичного повторного использования частот



М.2047-2-13

2.4.6.3 Координированная многолучевая передача

Данная схема используется для улучшения характеристик в зоне границы луча и снижения помех между лучами. Она также не требует какой-либо модификации схемотехники LTE в нормальном режиме, поскольку ее реализация привязана к конкретному спутниковому передатчику.

Для осуществления координированной многоадресной передачи (CoMT) в пределах нескольких лучей спутниковая сеть RAN должна получать информацию о местоположении устройства UE. Это позволяет различать устройства UE в центре луча и устройства UE на границе луча. Информация о местоположении может быть получена при помощи модуля GPS, установленного на устройствах UE, либо на основе значений коэффициента SINR, полученных от целевого луча и двух соседних лучей в устройстве UE.

Когда полученные от целевого луча и двух соседних лучей коэффициенты SINR на линии вниз оцениваются устройством UE, они могут быть выражены следующим образом:

- если $\theta_4 < \frac{\text{коэффициент SINR на линии вниз, полученный от целевого луча}}{\text{сумма коэффициентов SINR на линии вниз, полученных от двух соседних лучей}}$, устройство UE располагается в районе центра луча;
- если $\theta_5 < \frac{\text{коэффициент SINR на линии вниз, полученный от целевого луча}}{\text{сумма коэффициентов SINR на линии вниз, полученных от двух соседних лучей}} < \theta_4$, устройство UE располагается в зоне, перекрываемой двумя лучами;
- в противном случае устройство UE располагается в зоне, перекрываемой тремя лучами,

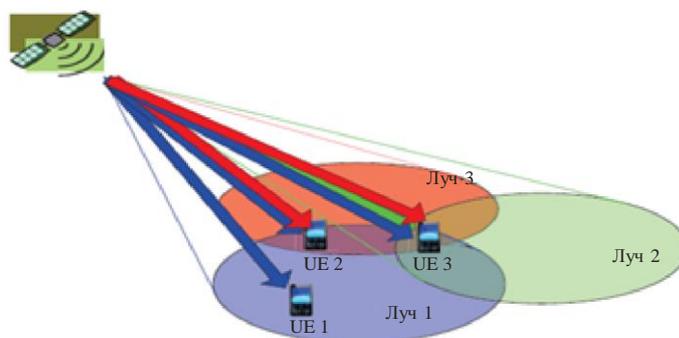
где пороговые значения θ_4 и θ_5 являются параметрами высокого уровня.

Информация о местоположении, полученная устройствами UE, должна быть отправлена в спутниковую сеть RAN по следующей схеме:

- если устройство UE располагается в зоне центра луча, отправляется код "00";
- если устройство UE располагается в зоне, перекрываемой двумя лучами, отправляется код "01";
- если устройство UE располагается в зоне, перекрываемой тремя лучами, отправляется код "11".

При использовании схемы CoMT несколько спутниковых лучей совместно передают сигналы на устройство UE. Таким образом, схема CoMT подразумевает многолучевую схему передачи, позволяющую принимать сигналы из соседнего луча для повышения качества услуг связи. На рисунке 2.14 изображена система, в которой используется схема CoMT. Спутник передает сигналы для оборудования UE1 – UE3 при помощи луча 1. UE1 представляет терминалы, расположенные в зоне центра луча, UE2 представляет терминалы, расположенные в зоне перекрытия двух лучей, а UE3 представляет терминалы, расположенные в зоне перекрытия трех лучей. При координированной многоадресной передаче (CoMT) оборудование UE2 и UE3 может принимать множество сигналов из всех имеющихся перекрываемых лучей, что приводит к улучшению эксплуатационных характеристик.

РИСУНОК 2.14

Координированная многоадресная передача

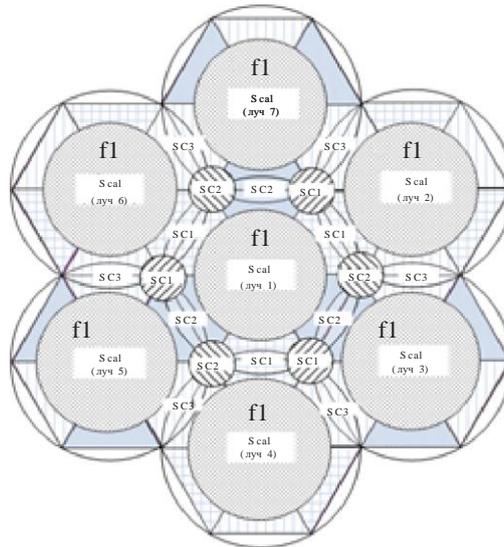
М.2047-2-14

На рисунке 2.15 приведен пример планирования луча для многолучевой системы MSS по схеме CoMT, состоящей из одного луча и шести соседних лучей. В многолучевой системе MSS сигнал от всех лучей передается в одной и той же полосе частот f_1 , что позволяет добиться коэффициента повторного использования частоты, равного единице. Все лучи разделяются на зону центра луча, зону перекрытия двух лучей и зону перекрытия трех лучей.

На рисунке 2.16 приведен один из примеров структуры кадра, предназначенной для осуществления планирования луча, указанного на рисунке 2.14, для CoMT в системе MSS на базе SAT-OFDM. На этом рисунке один кадр разделен на три интервала передачи во временной области и три группы поднесущих в частотной области. Интервалы передачи T_1 , T_2 и T_3 присвоены оборудованию UE в центре луча, оборудованию UE в зоне перекрытия двух лучей и оборудованию UE в зоне перекрытия трех лучей соответственно. Оборудование UE в центре луча может принимать собственный сигнал по всей поднесущей в течение интервала T_1 , тогда как устройства UE в зонах перекрытия двух и трех лучей могут иметь частотные ресурсы только по предварительно заданной дробной части целых поднесущих, в частности групп поднесущих SC_1 – SC_3 и SC_1' – SC_3' . Размер каждой группы поднесущих и временной интервал могут быть определены с достаточной гибкостью в спутниковой сети RAN в зависимости от потребностей трафика в каждой из соответствующих зон.

РИСУНОК 2.15

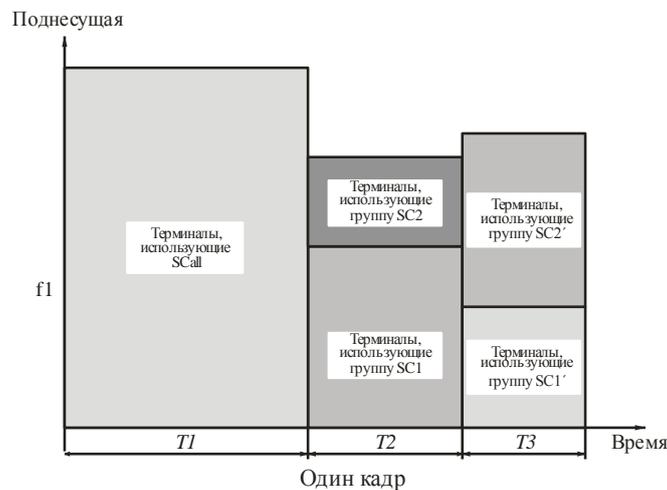
Планирование луча для CoMT



М.2047-2-15

РИСУНОК 2.16

Структура кадра в луче 1 для CoMT



М.2047-2-16

В зонах перекрытия двух лучей применительно к разнесению циклической задержки (CDD) между двумя лучами передается следующий сигнал:

$$\begin{bmatrix} y_k^0 \\ y_k^1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & e^{j\varphi^1 k} \end{bmatrix} x_k,$$

где x_k – пользовательские данные на k -й поднесущей, y_k^i ($i = 0, 1$) – сигнал, передаваемый от i -го луча, а $\varphi^1 k$ – смещение циклической задержки для формирования сдвига фазы на k -й поднесущей, передаваемое на высоком уровне и связанное с задержками при работе.

В зонах перекрытия трех лучей применительно к CDD между двумя лучами передается следующий сигнал:

$$\begin{bmatrix} y_k^0 \\ y_k^1 \\ y_k^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & e^{j\varphi^2 k} & 0 \\ 0 & 0 & e^{j\varphi^3 k} \end{bmatrix} x_k,$$

где x_k – пользовательские данные на k -й поднесущей, $y_k^i (i = 0, 1, 2)$ – сигнал, передаваемый от i -го луча, а $\varphi^2 k$ и $\varphi^3 k$ – сдвиги фазы на k -й поднесущей, передаваемые на высоком уровне и связанные с задержками в работе. Спутниковая сеть RAN определяет необходимое смещение циклической задержки для каждого луча. Заданное смещение циклической задержки применяется к сигналу, передаваемому каждым из лучей.

2.4.6.4 Совместная передача сигналов между спутником и CGC

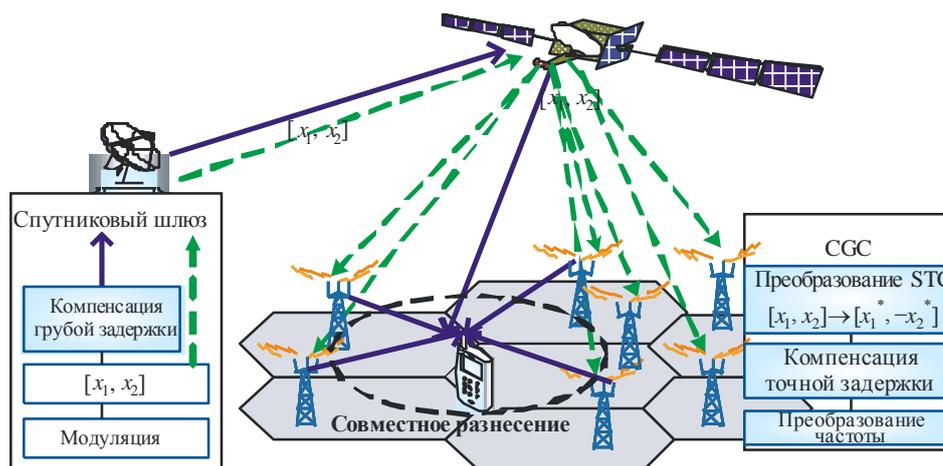
Данная схема используется для улучшения характеристик в интегрированной конфигурации спутник/CGC. Она также не требует модификации схемотехники LTE в нормальном режиме, поскольку ее реализация привязана к передатчикам спутника и компонентов CGC.

На рисунке 2.17 а) показан принцип системной модели, в которой применяется метод совместного разнесенного приема с использованием схемы пространственно-временного кодирования (STC), а на рисунке 2.17 б) изображена передача сигнала с STC-кодированием в направлении пользовательского терминала, оборудованного STC-декодером. Применяемая здесь схема STC называется схемой Аламоути. Спутник передает данные устройствам UE и всем наземным компонентам. Для того чтобы достичь определенного выигрыша при разнесенном приеме путем использования схем STC, каждая из альтернативных компонент CGC должна преобразовывать принимаемые сигналы в заданный формат кодированных сигналов и повторно передавать их на устройство UE. Наземные компоненты и спутник могут совместно передавать пространственно-временные кодированные сигналы, а наземные компоненты, которые обычно служат простыми усилителями, могут выполнять кодирование сигналов. Оборудование UE может принимать сигналы с STC-кодированием. Если устройство UE принимает множество сигналов как с повторителей, так и со спутника, то при помощи этих сигналов оно может достичь выигрыша от STC-кодирования.

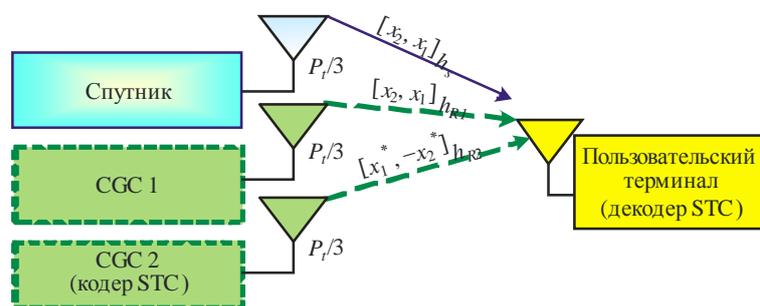
Кроме того, необходим алгоритм компенсации задержки. Поскольку задержка обработки при преобразовании заданного формата с STC-кодировкой в наземной компоненте, а также разность во времени задержки распространения между линиями связи от спутника и наземных компонент может быть оценена, компенсация задержки для трасс прохождения сигналов наземных компонент позволяет проводить успешную синхронизацию на оборудовании UE. Например, как показано на рисунке 2.17, грубая и точная компенсация может проводиться в спутниковом шлюзе и каждой наземной компоненте соответственно.

РИСУНОК 2.17

Пример системной модели с использованием метода совместного разнесенного приема для интегрированной системы



а) Концепция системы



б) Передача STC-кодированного сигнала в направлении пользовательского терминала, оборудованного декодером STC

М.2047-2-17

Во-первых, в течение периода двух символов $2T$ передается модулированная последовательность символов $[x_1, x_2]$. Затем спутник пропускает эту последовательность символов $[x_1, x_2]$ в течение периода $2T$. При использовании подходящего алгоритма компенсации задержек для передачи сигнала на наземный повторитель сигнал, ретранслируемый повторителем, может поступать на пользовательский терминал практически одновременно с сигналом, передаваемым напрямую со спутника.

После приема безошибочной последовательности символов $[x_1, x_2]$ со спутника каждая из альтернативных компонент CGC применяет кодирование Аламути. Для формирования последовательностей символов, передаваемых двумя повторителями, используется следующая матрица кодирования X_2 :

$$X_2 = \begin{bmatrix} x_1 & -x_2^* \\ x_2 & x_1^* \end{bmatrix},$$

где $*$ обозначает комплексную сопряженную операцию.

В матрице кодирования по схеме STC каждая строка матрицы представляет временные слоты, а столбцы представляют соответствующие передающие антенны. Таким образом, матрица кодирования X_2 означает, что первая компонента CGC передает набор сигналов $[x_1, x_2]$, тогда как вторая передает $[-x_2^*, x_1^*]$ в течение периода $2T$. Таким образом, пользовательский терминал может достичь нужного выигрыша при разнесенном приеме путем объединения трасс сигналов со спутника и повторителей в тех случаях, когда это возможно.

Пользовательский терминал может принимать наборы сигналов в различных комбинациях в зависимости от доступности сигнала, которая в свою очередь зависит главным образом от местоположения. Если пользовательский терминал принимает три набора сигналов, то есть $[x_1, x_2]$ от спутника с коэффициентом усиления канала h_s , $[x_1, x_2]$ от одного из повторителей с коэффициентом усиления канала h_{R1} , и $[-x_2^*, x_1^*]$ от другого повторителя с коэффициентом усиления канала h_{R2} , то он может достичь максимального коэффициента усиления при разнесенном приеме при помощи обычного алгоритма кодирования для схемы Аламоути. Если предположить плавное замирание в канале в течение периода $2T$, то принимаемый сигнал r_1 и r_2 на пользовательском терминале в течение данного периода может быть представлен следующим образом:

$$\begin{bmatrix} r_1 \\ r_2^* \end{bmatrix} = H_2 \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2^* \end{bmatrix},$$

где n_i – комплексный Гауссов шум, добавленный в i -й период времени. H_2 – это матрица канала для схемы, указанной на рисунке 2.17 б), представленная выражением

$$H_2 = \begin{bmatrix} h_{R1} + h_s & -h_{R2} \\ h_{R2}^* & h_{R1} + h_s^* \end{bmatrix},$$

где h_s – канальный коэффициент трассы от спутника до пользовательского терминала, а h_{R1} и h_{R2} – канальные коэффициенты трассы от первой и второй компонент СГС до пользовательского терминала соответственно.

Поскольку матрица кодирования X_2 является ортогональной, как и матрица канала H_2 , пользовательский терминал может определить расчетные значения передаваемых символов через следующее линейное уравнение:

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_1 \\ \hat{x}_2^* \end{bmatrix} = H_2^H \cdot \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2^* \end{bmatrix}.$$

2.4.6.5 Узкополосная передача блоков ресурсов по линии вверх

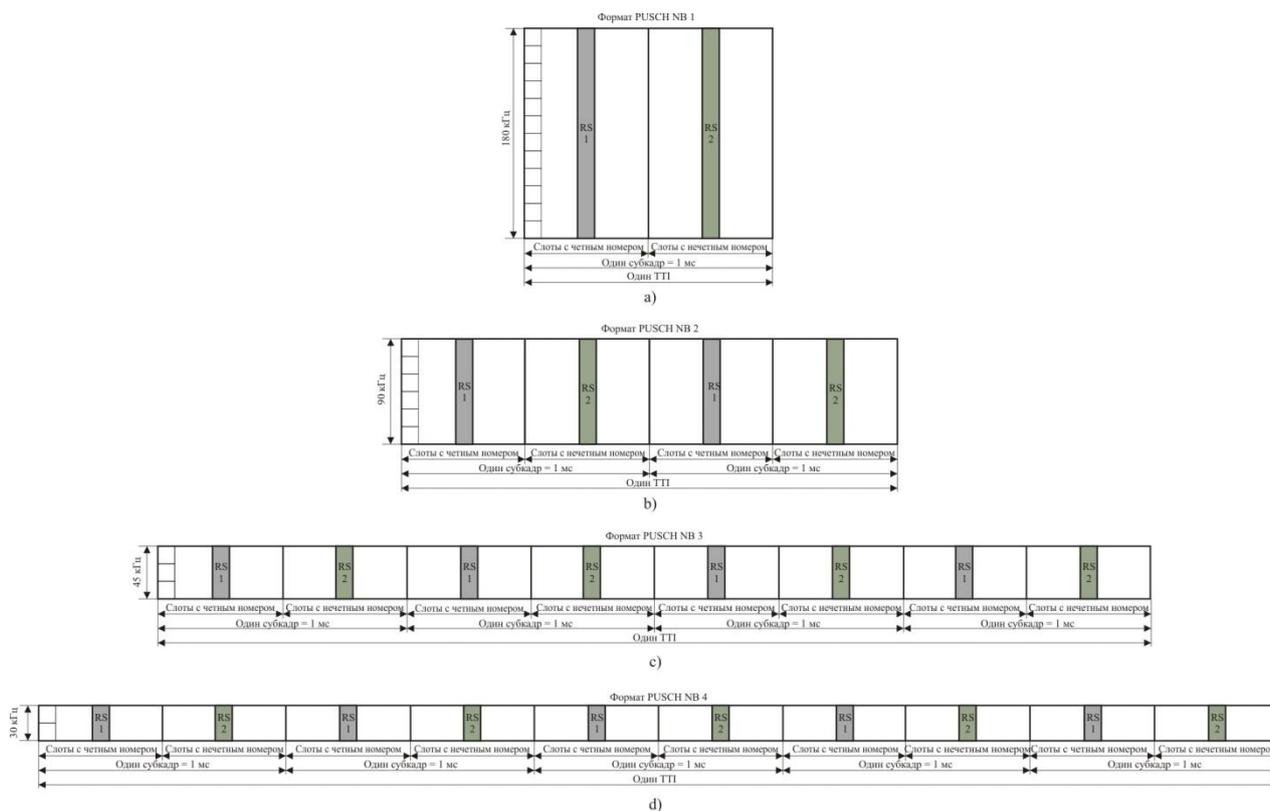
Данная схема применяется для увеличения максимальной скорости передачи данных, поддерживаемой терминалами ручного типа.

Система MSS в целом является системой с ограниченной мощностью, поэтому максимальная мощность сигналов, передаваемых ручными терминалами, также ограничена. С учетом того, что суммарная передаваемая мощность распределяется по всем поднесущим в одном RB, большой размер RB в 180 кГц в нормальном режиме может не обеспечиваться достаточной мощностью в ручных терминалах. В этом случае схема с высокой скоростью модуляции и кодирования может не поддерживаться. Для решения данной проблемы может использоваться узкополосная передача RB. В целях унификации высокого уровня размер транспортного блока в RB такой же, как и в нормальном режиме работы.

На рисунке 2.18 показана структура канала PUSCH, поддерживающая узкополосную передачу.

РИСУНОК 2.18

Структура канала PUSCH на линии вверх для узкополосной передачи



M.2047-2-18

На рисунке 2.18 а) изображена структура канала PUSCH в нормальном режиме с RB большого размера в 180 кГц, содержащая 12 поднесущих и 2 слота. Информационные биты являются предварительно кодированными в канале турбокодом со скоростью материнского кода $1/3$, которая адаптируется к соответствующей конечной скорости кода при помощи процесса согласования скоростей. Затем применяется перемежение канала на уровне символов, предваряемое простым отображением с временным приоритетом; другими словами, в конце следуют смежные символы данных, которые сопоставляются в первую очередь со смежными символами SC-FDMA во временной области, а затем со всеми поднесущими. Затем кодированные и перемежающиеся биты подвергаются скремблированию кодом Голда длиной 31 перед отображением модуляции, расширением ДПФ, отображением поднесущих и модуляцией OFDM. Для оценки канала и демодуляции данных опорные сигналы (RS) 1 и 2 передаются во всех слотах с четной и нечетной нумерацией интервала ТТИ соответственно.

На рисунке 2.18 б) изображена структура узкополосного канала PUSCH с RB размером 90 кГц, содержащая 6 поднесущих и 4 слота. Полоса пропускания этого канала сокращена наполовину, а интервал ТТИ увеличен вдвое по сравнению с аналогичными параметрами обычного канала PUSCH. Кроме того, для повышения эффективности передачи на спутниковой линии вверх с ограниченной мощностью производится простое отображение с временным приоритетом. В пределах одного интервала ТТИ смежные символы данных сопоставляются в первую очередь со смежными символами SC-FDMA во временной области, а затем со всеми поднесущими. С другой стороны, для повторного использования обычных опорных сигналов 1 и 2 в узкополосном канале PUSCH и получения усиления при разнесенном во времени приеме первые половины опорных сигналов 1 и 2 передаются в первом и втором слотах соответственно, а затем остальные половины опорных сигналов 1 и 2 отображаются в третьем и четвертом слотах соответственно.

Аналогично рисунку 2.18 b), на рисунках 2.18 c) и d) также показана предлагаемая структура узкополосного канала PUSCH с размерами RB в 45 и 30 кГц соответственно. В целях совместимости с наземными системами LTE количество поднесущих в узкополосных каналах PUSCH ограничивается произведениями 2, 3 и 5, поскольку размер ДПФ в наземных системах LTE ограничен для упрощения реализации ДПФ.

В процессе доставки информации о распределении ресурсов устройству UE по линии вверх спутниковая сеть RAN должна передавать также информацию о формате канала PUSCH по линии вверх при помощи следующих индикаторов формата:

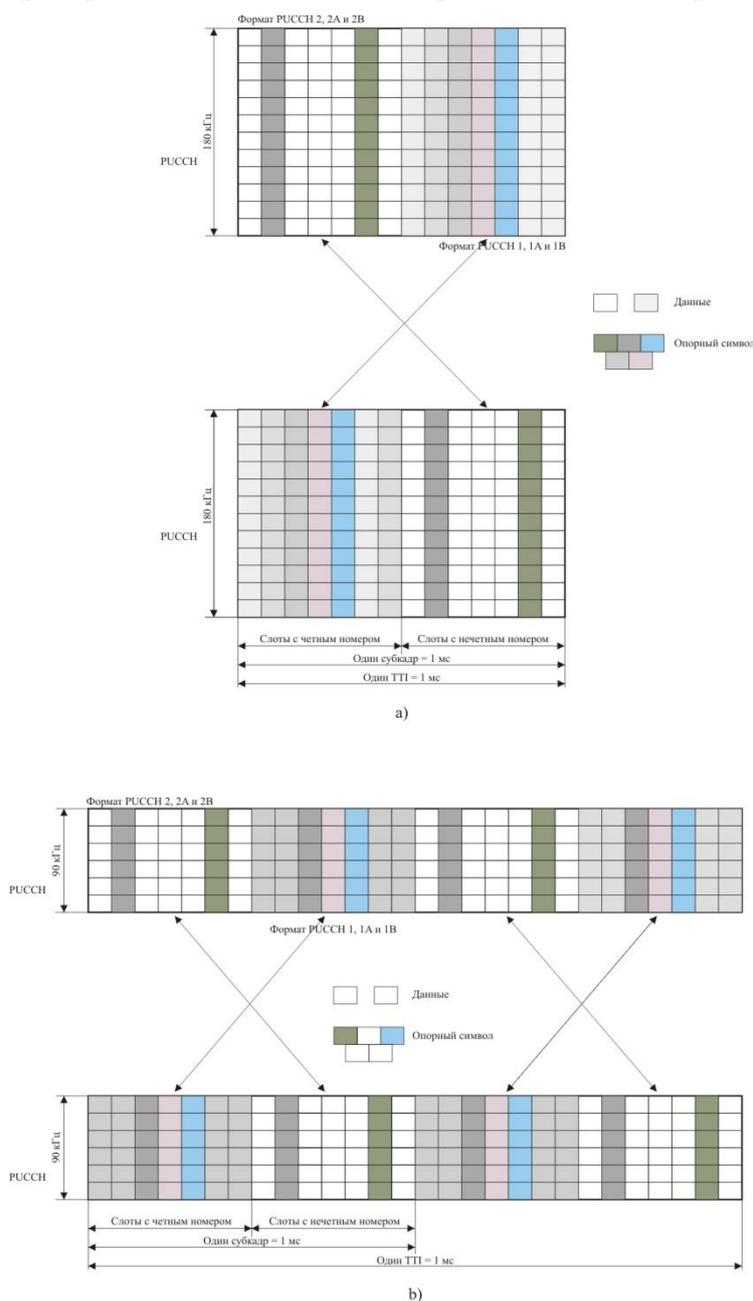
- если используется канал PUSCH, размер RB которого равен 180 кГц, спутниковая сеть RAN отправляет индикатор формата "00";
- если используется канал PUSCH, размер RB которого равен 90 кГц, спутниковая сеть RAN отправляет индикатор формата "01";
- если используется канал PUSCH, размер RB которого равен 45 кГц, спутниковая сеть RAN отправляет индикатор формата "10";
- если используется канал PUSCH, размер RB которого равен 30 кГц, спутниковая сеть RAN отправляет индикатор формата "11".

Так как размер RB в нормальном режиме составляет 180 кГц, узкополосные каналы PUSCH должны объединяться в группы с шириной полосы пропускания 180 кГц в пределах одного интервала TTI для обеспечения совместимости с нормальным режимом, а также с наземными системами LTE.

Структура канала PUSCH, работающего по тому же принципу, изображена на рисунке 2.19. Канал PUSCH используется оборудованием UE для передачи любой необходимой сигнализации управления только в тех субкадрах, в которых устройству UE не были выделены какие-либо блоки ресурсов для передачи в канале PUSCH. Сигнализация управления в канале PUSCH передается в области частот на границах полосы пропускания системы. В целях минимизации ресурсов, необходимых для передачи сигнализации управления в одном субкадре, каждая передача PUSCH в одном субкадре включает один RB на одной из (или вблизи) границ полосы пропускания системы, а следующий RB располагается на противоположной границе полосы (или вблизи нее), как показано на рисунке 2.19. Аналогично структуре PUSCH, на рисунках 2.19 a) и b) представлены форматы 1 и 2 нормального режима PUSCH, а также режимы узкополосной передачи для адаптации к спутниковой линии вверх. На рисунке 2.19 b) изображена узкополосная структура канала PUSCH с RB размером 90 кГц, содержащая 6 поднесущих и 4 слота. Другие узкополосные структуры PUSCH могут быть аналогичным образом применены к рисункам 2.18 c) и d) для узкополосных структур PUSCH.

РИСУНОК 2.19

Структура канала PUSCH на линии вверх для узкополосной передачи



М.2047-2-19

В процессе передачи информации о распределении ресурсов устройству UE по линии вверх спутниковая сеть RAN должна передавать также информацию о формате канала PUSCH по линии вверх при помощи следующих индикаторов формата:

- если используется канал PUSCH, размер RB которого равен 180 кГц, спутниковая сеть RAN отправляет индикатор формата "00";
- если используется канал PUSCH, размер RB которого равен 90 кГц, спутниковая сеть RAN отправляет индикатор формата "01";
- если используется канал PUSCH, размер RB которого равен 45 кГц, спутниковая сеть RAN отправляет индикатор формата "10";
- если используется канал PUSCH, размер RB которого равен 30 кГц, спутниковая сеть RAN отправляет индикатор формата "11".

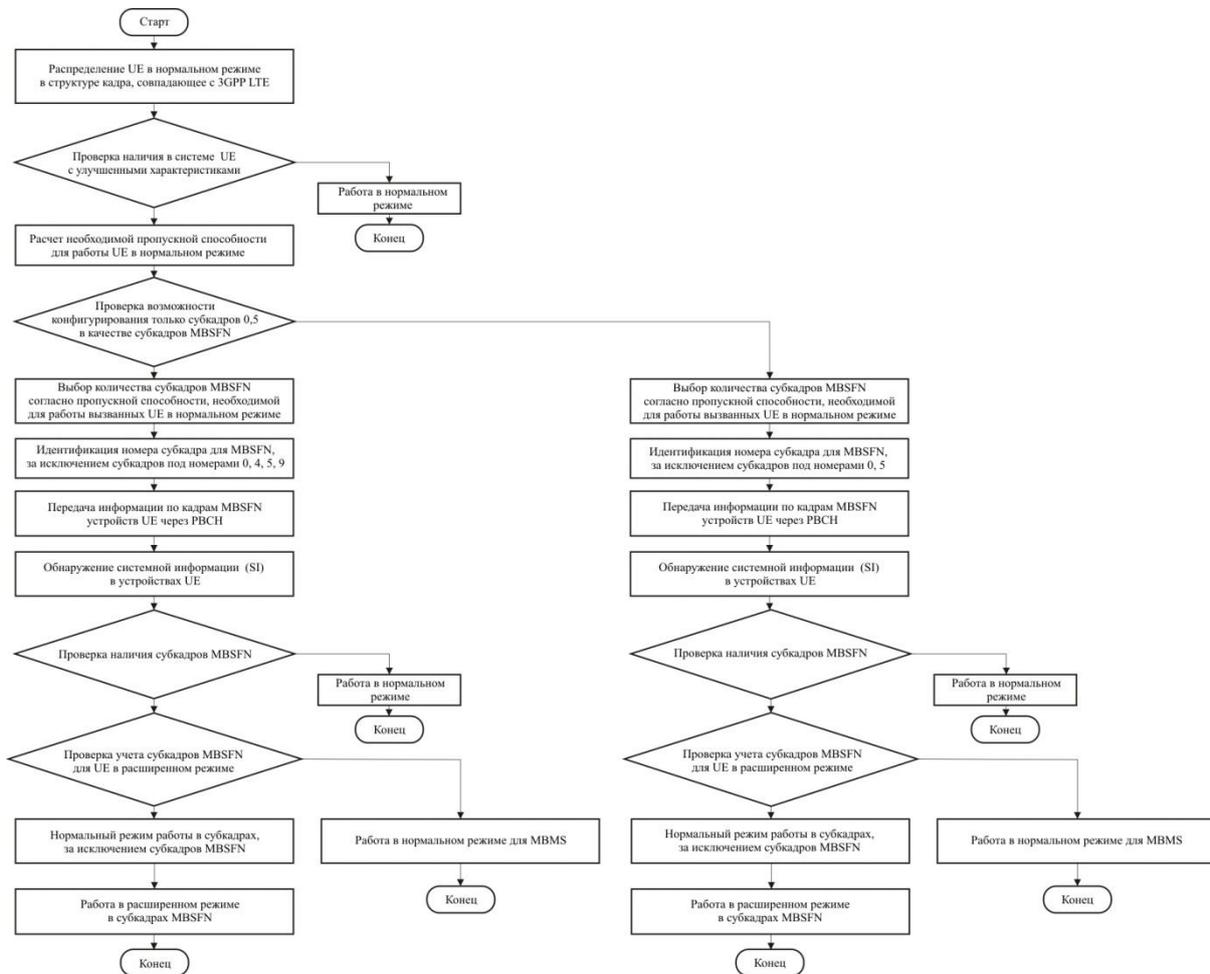
Так как размер RB в нормальном режиме составляет 180 кГц, узкополосные каналы PUSCH должны объединяться в группы с шириной полосы пропускания 180 кГц в пределах одного интервала TTI для обеспечения совместимости с нормальным режимом, а также с наземными системами LTE. Кроме того, в целях сокращения ресурсов, используемых для передачи по каналу PUSCH, может быть рассмотрено мультиплексирование узкополосного канала PUSCH с нормальным режимом PUSCH.

2.4.6.6 Схема передачи по линии вниз с низким отношением PAPR

Данная схема используется для снижения отношения пиковой мощности к средней (PAPR) при передаче по линии вниз в расширенном режиме. Поскольку линия вниз SAT-OFDM должна поддерживать устройства UE в кадре линии вниз как в нормальном, так и в расширенном режиме, только субкадры MBSFN, указанные для устройств UE в нормальном режиме, используются в качестве субкадров для передачи сигналов устройств UE в расширенном режиме. Для обеспечения совместимости с устройствами UE в нормальном режиме производится мультиплексирование устройств UE в расширенном режиме с устройствами UE в нормальном режиме в пределах одного радиокadra согласно алгоритму, приведенному на рисунке 2.20.

РИСУНОК 2.20

Передача OFDMA по линии вниз, объединенная с SC-FDM



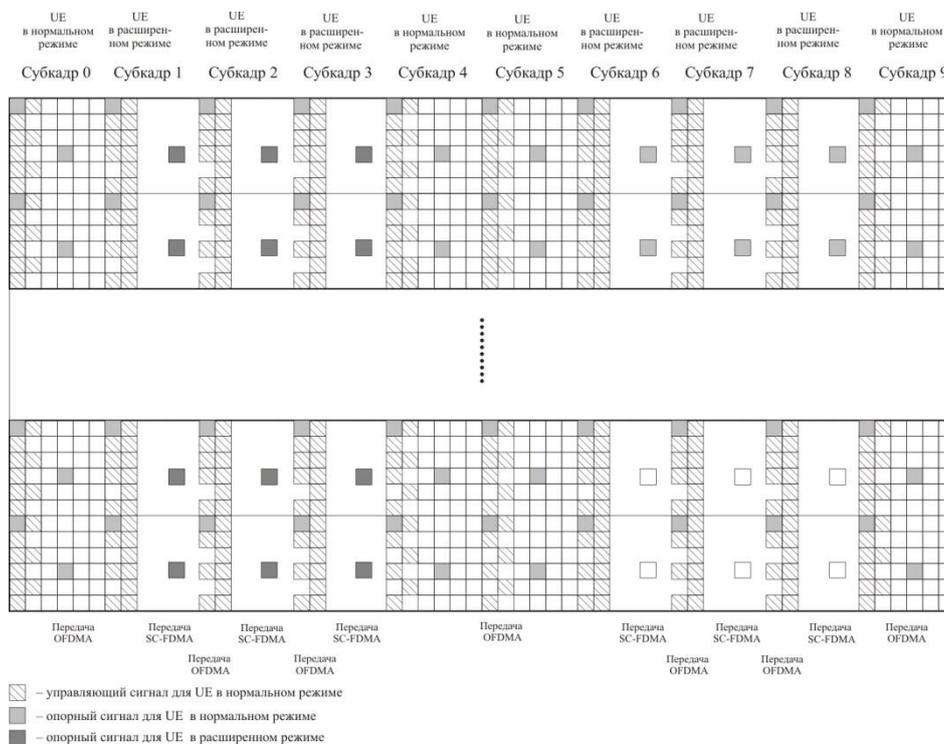
M.2047-2-20

На рисунке 2.21 приведен пример структуры кадра для передачи по линии вниз с низким PAPR устройствами UE в расширенном режиме. Для устройств UE в нормальном режиме должны использоваться субкадры 0, 4, 5, и 9, а для устройств UE в расширенном режиме могут использоваться другие субкадры. Устройство UE в нормальном режиме опознает субкадры для устройств UE в расширенном режиме как субкадры MBSFN. Системная информация (SI), на основе которой

используются субкадры для расширенного режима (или MBSFN), передается устройствам UE по каналу PDSCH. В канале PDCCH для устройств UE в нормальном режиме должны использоваться первые один или два символа субкадров MBSFN, однако устройства UE в нормальном режиме не получают данные по другим символам субкадров MBSFN. Следовательно, другие символы субкадров MBSFN могут использоваться при передаче на одной несущей с низким PAPR для улучшения характеристик устройств UE в расширенном режиме, на которые влияет нелинейность усилителя мощности спутника. Спутниковая сеть RAN следит за тем, чтобы субкадры 4 и 9 не использовались для пейджинга, и поэтому они также могут быть выделены устройствам UE в расширенном режиме.

РИСУНОК 2.21

Структура кадра для передачи по линии вниз с низким PAPR

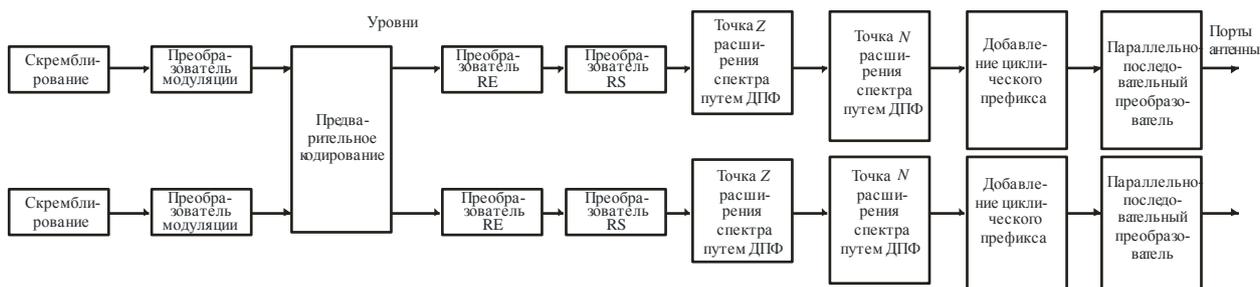


М.2047-2-21

При формировании сигнала SC-FDM для устройств в UE расширенном режиме в частотной области применяется структура OFDM на основе расширения спектра дискретным преобразованием Фурье (DFT-S-OFDM), как показано на рисунке 2.22.

РИСУНОК 2.22

Блок передачи по линии вниз с низким PAPR



М.2047-2-22

Отображение элементов ресурсов (RE) для символа данных и отображение опорного сигнала (RS) для символа RS применяются в соответствии с тем же правилом, которое действует для работы в нормальном режиме. Размер точки Z ДПФ зависит от количества поднесущих, которые используются для символа RS и символа данных. Блоки ресурсов (RB) для устройств UE должны отображаться непрерывно для сохранения режима работы с одной несущей.

2.4.6.7 Эффективная схема AMC, объединенная с регулированием мощности

В нормальном режиме для схемы AMC, объединенной с регулированием мощности, структура индикатора качества канала (CQI) изменяется. Для идентификации 32 режимов схем модуляции и кодирования (MCS) в нормальном режиме выделяются 5 битов. Однако в расширенном режиме 5 битов разделяются на две части: первые n битов выделяются для идентификации режимов MCS, а остальные $(5 - n)$ битов выделяются для управления мощностью, где параметр n передается на высоком уровне. Если для регулирования мощности используются $(5 - n)$ битов, то $2^{(5 - n)}$ различных ступеней регулирования мощности определяются при помощи $(5 - n)$ битов. Если заявленное состояние канала (RCS) в момент t соответствует k -му уровню мощности, то устройство UE посылает сообщение для передачи на уровне мощности $2^{(5 - n)}$. После того как спутниковая сеть RAN принимает индикатор CQI, показывающий, что мощность приема соответствует уровню k , уровень мощности передачи настраивается следующим образом:

$$\text{Transmit_Power}(t) = \text{Transmit_Power}(t - 1) + (2^{5-n} - k) \cdot \beta,$$

где β – это разность мощности между i -й и $(i + 1)$ -й ступенями регулирования мощности.

РИСУНОК 2.23

Схема AMC, объединенная с регулированием мощности



М.2047-2-23

На рисунке 2.23 $RS_{th}(i)$ и ΔRS_{th} представляют нижний предел состояния канала в режиме i MCS и разницу нижних пределов состояний канала в режимах i и $(i + 1)$ MCS соответственно.

Процедуры схемы AMC, объединенной с регулированием мощности, излагаются ниже:

- удаление уровня регулирования мощности, примененного к предыдущему принимаемому пакету, из расчетного принятого значения SNR, то есть вычитание уровня регулирования мощности в децибелах из расчетного принятого значения SNR в децибелах;
- использование полученной выше разности SNR в качестве конечного принятого значения SNR;
- выбор режима MCS на основе конечного принятого значения SNR и определение необходимости регулирования мощности:
 - i) если выявлена необходимость регулирования мощности, производится выбор требуемой амплитуды регулирования мощности с использованием состояния канала, находящегося в соответствующем диапазоне режимов MCS (на рисунке 2.23 при расположении RCS, соответствующем $2^{(5 - n)}$, регулирование мощности не требуется);
- передача информации о выбранном режиме MCS и регулировании мощности с выбранной амплитудой такого регулирования при помощи обратной связи индикатора качества канала (CQI) или информации MCS.

2.4.6.8 Взаимодействие HARQ/ARQ

В нормальном режиме оба метода, HARQ и ARQ, независимо друг от друга выполняют поставленные задачи на соответствующем уровне. В расширенном режиме методы HARQ и ARQ работают во взаимодействии для повышения эффективности передачи. Взаимодействие осуществляется между работой в режиме HARQ, проводимой на уровне MAC или на физическом уровне, и работой в режиме ARQ, проводимой на уровне управления радиоканалом (RLC). Информация, полученная по линии обратной связи в режиме HARQ, передается на уровень ARQ; это позволяет ARQ провести незамедлительную ретрансляцию и устранить ошибки обратной связи HARQ. Таким образом может быть повышена эффективность передачи.

Окно передачи функционирует в соответствии с информацией, полученной по линии обратной связи в режиме HARQ, а окно ожидания – в соответствии с блоком PDU, содержащим информацию о статусе. Окно передачи функционирует на основе VT(A), VT(S) и VT(MS) окна передачи RLC, а окно ожидания функционирует на основе VT(CA).

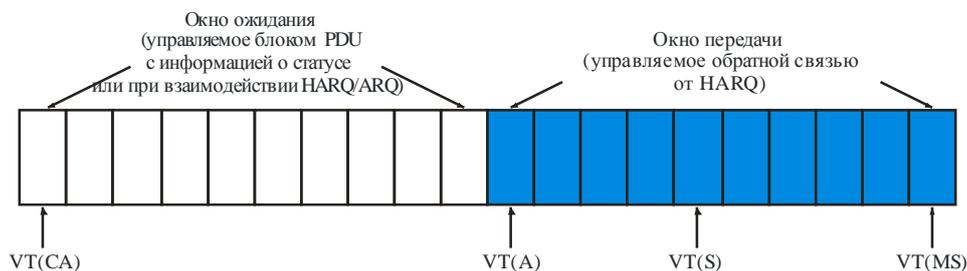
Окно передачи функционирует так, как это описывается в нормальном режиме. В расширенном режиме в соответствии с информацией, полученной по линии обратной связи в режиме HARQ, модифицируется только схема работы VT(A). В нормальном режиме VT(A) обновляется на основе полученного сигнала подтверждения, а именно ACK блока PDU с информацией о статусе. С другой стороны, в расширенном режиме VT(A) обновляется на основе внутренней обратной связи относительно приема ACK в режиме HARQ.

В расширенном режиме VT(CA) окно ожидания обновляется на основе ACK в блоке PDU с информацией о статусе. При раздельном управлении окном ожидания и окном передачи окно передачи функционирует в соответствии с внутренней информацией ACK, полученной от HARQ, при этом незамедлительно передавая последующий блок данных протокола (PDU). При ретрансляции пакета с HARQ и получении NACK от блока PDU с информацией о статусе этот пакет исключается из списка ретрансляции ARQ, тем самым предотвращается избыточная ретрансляция.

VT(CA) имеет значение SN последующего пакета данных, для которого должно быть получено подтверждение ACK через блок PDU с информацией о статусе в соответствии с последовательностью, и передается в окно ожидания в качестве более низкого значения.

РИСУНОК 2.24

Структура окна для взаимодействия HARQ/ARQ



М.2047-2-24

MAC определяет, успешно ли выполнена пакетная передача HARQ с использованием информации обратной связи, полученной в ответ на передачу пакета. В том случае если MAC определяет, что пакетная передача HARQ выполнена успешно, RLC передает пакет из окна передачи в окно ожидания. В противном случае если MAC определяет, что пакетная передача HARQ после максимального количества повторных передач завершена неудачно, RLC передает пакет из окна передачи в буфер передачи для повторной передачи пакета. RLC получает информацию о статусе от блока PDU по каналу обратной связи и определяет обработку ретранслируемого пакета на основе информации, полученной по каналу обратной связи. При успешном выполнении передачи пакета в результате анализа полученной от блока PDU информации о статусе RLC удаляет пакет. RLC не производит ретрансляцию пакета, когда MAC производит ретрансляцию пакета, если передача пакета завершена неудачно, и когда пакет находится в окне передачи в результате анализа полученной от блока PDU

информации о статусе. RLC производит ретрансляцию пакета, когда MAC не производит ретрансляцию пакета, если передача пакета завершена неудачно, и когда пакет находится в окне ожидания в результате анализа полученной от блока PDU информации о статусе.

2.4.6.9 Изменение размера группы RBG для распределения ресурсов

В нормальном режиме размер группы блоков ресурсов (RBG) определяется в соответствии с полосой пропускания системы, как показано в таблице 2.16. С другой стороны, в расширенном режиме максимальный размер группы RBG дополнительно определяется на основе типа устройства UE и спецификации спутникового узла S-eNodeB, как показано в таблице 2.17. В таблице 2.17 учитывается максимальное усиление антенны узла S-eNodeB, составляющее 50 дБи, и используется диаграмма направленности луча антенны, приведенная в Рекомендации МСЭ-R S.672-4. Если усиление спутниковой антенны узла S-eNodeB или диаграмма направленности луча антенны изменяются, то размер группы RBG может быть настроен в соответствии с типом оборудования UE. Для поддержки групп RBG меньшего размера в устройствах ручного типа в пределах широкой полосы пропускания системы размер группы RBG в расширенном режиме определяется следующим образом:

$$RBG_Size = \min (\text{размер группы RBG по полосе пропускания системы, максимальный размер группы RBG по типу оборудования UE}).$$

ТАБЛИЦА 2.16

Размер RBG на основе полосы пропускания системы

| Полоса пропускания системы (количество RB) | Размер группы RBG (количество RB) |
|---|--------------------------------------|
| 10 или менее | 1 |
| 11–26 | 2 |
| 27–63 | 3 |
| 64–110 | 4 |

ТАБЛИЦА 2.17

Размер RBG на основе типа устройства UE

| Тип UE | Размер группы RBG (количество RB) |
|----------------------------|--------------------------------------|
| Ручной, класс 1, 2, 3 | 1 |
| Портативный | 2 |
| Автомобильный и переносной | 4 |

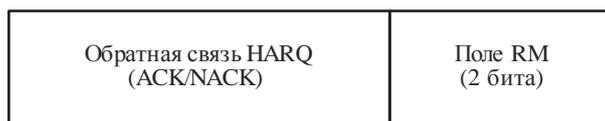
2.4.6.10 Определение нового поля памяти приемника для HARQ

Прямая реализация схемы HARQ в спутниковой системе приводит к возникновению серьезных проблем с памятью приемника, что связано с большой круговой задержкой спутниковой системы связи. Чтобы обеспечить совместную работу с 8-канальным режимом HARQ, приемнику требуется большой объем памяти для непрерывной передачи, что позволяет обрабатывать пакеты с ошибками. В расширенном режиме SAT-OFDM для решения вышеуказанной проблемы добавляется поле памяти приемника (RM). Поле RM вставляется в пакет обратной связи HARQ для непрерывной передачи.

Поле RM на рисунке 2.25 отображает состояние памяти приемника. Расшифровка значений поля RM приведена в таблице 2.18.

РИСУНОК 2.25

Дополнительное поле RM, включаемое в пакет обратной связи HARQ



М.2047-2-25

ТАБЛИЦА 2.18

Расшифровка значений поля RM

| Значение | Описание |
|----------|--|
| 00 | Памяти приемника достаточно для хранения нового пакета с ошибками |
| 01 | Памяти приемника недостаточно для хранения нового пакета с ошибками |
| 10 | Пакет, отмеченный в сообщении обратной связи, не сохранен в памяти приемника |
| 11 | Пакет, отмеченный в сообщении обратной связи, должен быть ретранслирован в первой части пакета кодирования |

Получив MAC PDU, устройство UE выбирает значение поля RM в соответствии с состоянием памяти приемника и посылает пакет, отмеченный в сообщении обратной связи, вместе со значением поля RM.

2.4.6.11 Отчет о состоянии буфера для спутниковой связи

Схема формирования отчетов о состоянии буфера (BSR) может не поддерживаться в спутниковой системе из-за большой круговой задержки. В спутниковой системе информация о состоянии буфера, полученная от устройства UE после большой круговой задержки, является недействительной, поскольку состояние буфера во время круговой задержки может значительно измениться. Следовательно, планирование на линии вверх не может осуществляться на основе информации о состоянии буфера от устройства UE.

Формирование отчета о состоянии буфера устройства UE в расширенном режиме SAT-OFDM выполняется в двух режимах – обычное формирование отчета или последовательное формирование отчета. В обычном режиме формирования отчета вся информация о состоянии буфера устройства UE передается аналогично наземной системе LTE. С другой стороны, в режиме последовательного формирования отчета передается информация об увеличении объема данных в буфере с момента формирования последнего отчета. Увеличение объема данных представляет собой значение, полученное прибавлением объема данных, ожидающих ретрансляции из-за сообщения о неудачном завершении передачи части уже переданных данных, к объему новых данных, добавленных в буфер пользовательского терминала. Обычный и последовательный режимы формирования отчетов различаются по значениям идентификатора логического канала (LCID), как показано в таблице 2.19.

ТАБЛИЦА 2.19

Значение идентификатора LCID для канала UL-SCH

| Индекс | Значения LCID |
|-------------|--|
| 00000 | Общий канал управления (CCCH) |
| 00001–01010 | Идентичность логического канала |
| 01011–10110 | Зарезервировано |
| 10111 | Урезанный процесс BSR для последовательного формирования отчета |
| 11000 | Короткий процесс BSR для последовательного формирования отчета |
| 11001 | Длительный процесс BSR для последовательного формирования отчета |
| 11010 | Отчет о резерве мощности |
| 11011 | Временный идентификатор сети управления радиодоступом (C-RNTI) |
| 11100 | Урезанный процесс BSR |

2.4.6.12 Ретрансляция HARQ при объединении спутниковых несущих

При работе в расширенном режиме для ретрансляции HARQ компонентные несущие изменяются. Это может способствовать уменьшению задержки на верхнем уровне. Если от компонентных несущих принимаются различные пакеты по каналу обратной связи и выигрыш от изменения компонентных несущих превышает выигрыш от ретрансляции HARQ без изменения компонентных несущих, то передатчик изменяет компонентные несущие для HARQ. Выигрыш от изменения компонентных несущих может быть получен в том случае, если условия работы в канале улучшаются вследствие изменения компонентных несущих, а также применяется предыдущий режим MCS и, как следствие, улучшается показатель BLER. Если передатчик изменяет компонентную несущую для ретрансляции, первоначальная версия пакета HARQ передается на новой компонентной несущей, а новый пакет данных передается на предыдущей компонентной несущей. Чтобы различать изменения компонентной несущей, поле NDI модифицируется, как показано в таблице 2.20.

ТАБЛИЦА 2.20

Расшифровка значений поля NDI

| Значение | Описание |
|----------|--|
| 00 | Новый пакет данных |
| 01 | Ретранслируемый пакет |
| 10 | Новый пакет данных с изменяющейся компонентной несущей |
| 11 | Зарезервировано |

В основном поле NDI (значения 00 и 01) также используется для работы в нормальном режиме. Если происходит изменение компонентной несущей, то передатчик, получивший отрицательное подтверждение, посылает новый пакет с заново определенным полем NDI (значение 10).

Ретрансляция HARQ при объединении несущих выполняется в следующем порядке:

- получение различных пакетов от компонентных несущих по каналу обратной связи;
- сравнение выигрыша при изменении компонентной несущей со средним выигрышем от ретрансляции HARQ:

- i) при использовании трех или более компонентных несущих к изменению компонентной несущей применяется приоритет в зависимости от порядкового номера пакета верхнего уровня и режима работы канала;
- применение определенного изменения компонентной несущей, если выигрыш от такого изменения компонентной несущей превышает выигрыш от ретрансляции HARQ:
 - i) первоначальная версия пакета HARQ передается на компонентной несущей при отсутствии ошибок в пакетах;
 - ii) новый пакет передается на компонентной несущей при наличии ошибок в пакетах;
- изменение компонентной несущей не применяется, если средний выигрыш от ретрансляции HARQ превышает выигрыш от компонентной несущей:
 - i) непрерывная работа в нормальном режиме происходит аналогичным образом.

2.5 Подробные спецификации

Поскольку интерфейс SAT-OFDM получен от системы 3GPP LTE(-Advanced), структура спецификаций SAT-OFDM полностью повторяет исходную структуру 3GPP. Нумерация SAT-OFDM разработана с учетом соответствия системе нумерации 3GPP LTE. Все спецификации SAT-OFDM имеют следующую систему нумерации:

- SAT-OFDM – xx.yyy,
где числа xx и yyy соответствуют схеме нумерации 3GPP.

В связи с различиями между характеристиками наземных и спутниковых каналов в стандарты LTE необходимо внести некоторые изменения. Часть спецификаций может применяться напрямую, другая часть – только после внесения ряда изменений.

Система SAT-OFDM определяется комбинацией семейства спецификаций SAT-OFDM и спецификаций 3GPP следующим образом:

- если существует спецификация SAT-OFDM, она имеет приоритет перед соответствующей спецификацией 3GPP (при наличии таковой). Данное правило приоритета применимо к любым ссылкам на соответствующие спецификации 3GPP;
- если спецификация SAT-OFDM не существует, то соответствующая спецификация 3GPP может либо применяться, либо не применяться.

Подробные спецификации для радиointерфейса SAT-OFDM основываются на следующем наборе документов:

- физический уровень – последняя версия документов SAT-OFDM, полученных на основе серии 36.200;
- протоколы – последняя версия документов SAT-OFDM, полученных на основе серии 36.300.

Указанный набор подробных спецификаций в документах SAT-OFDM Выпуска 1 в настоящее время разрабатывается на основе спецификаций в документах 3GPP LTE Выпуска 8 в рамках Рабочей группы по радиодоступу (WG7011) под руководством проектной группы по IMT-Advanced (PG701) ТТА в Республике Корея.
