

АННОТАЦИЯ

В магистерской диссертации «Взаимодействие сети LTE с сетями мобильной связи других стандартов» рассмотрены вопросы взаимодействия сети LTE с сетями мобильной связи различных стандартов, а именно перспектива развития сетей мобильной связи и перехода к сетям LTE; архитектура, управление радиоресурсами и качеством в сети LTE; взаимодействие сети LTE с сетями мобильной связи стандартов 3GPP и не 3GPP; принципы и алгоритмы взаимодействия сетей LTE с сетями других стандартов на основе IP-протоколов; структура построения и функционирования радиоинтерфейса сети LTE, E-UTRAN и UTRAN.

Государственный комитет связи, информатизации и телекоммуникационных технологий республики Узбекистан

Ташкентский университет информационных технологий

На правах рукописи

УДК 621.391

Каюмов Бахром Акромович

Взаимодействие сети LTE с сетями мобильной связи других стандартов

5А311103 – Устройства радиотехники и средств связи

Диссертация на соискание академической степени магистра

Научный руководитель:

А.А. Абдуазизов

Ташкент 2013

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СВЯЗИ, ИНФОРМАТИЗАЦИИ И
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Факультет РРТ

Магистрант Қаюмов Б.А.

Кафедра РТ и РС

Научный руководитель Абдуазизов А.А.

Учебный год 2012/2013

Специальность 5А311103 – Устройства
радиотехники и средства связи

АННОТАЦИЯ МАГИСТРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

В магистерской диссертации рассмотрены вопросы взаимодействия сети LTE с сетями мобильной связи различных стандартов, а именно перспектива развития сетей мобильной связи и перехода к сетям LTE; архитектура, управление радиоресурсами и качеством в сети LTE; взаимодействие сети LTE с сетями мобильной связи стандартов 3GPP и не 3GPP; принципы и алгоритмы взаимодействия сетей LTE с сетями других стандартов на основе IP-протоколов; структура построения и функционирования радиоинтерфейса сети LTE, E-UTRAN и UTRAN.

Научный руководитель _____

Магистрант _____

SUMMARY OF MASTER DISSERTATION

Dissertation of master are considered questions of interaction of network LTE with networks of a mobile communication of various standards, namely prospect of development of networks of a mobile communication and transition to networks LTE; architecture, management of radio resources and quality in network LTE; interaction of network LTE with networks of a mobile communication of standards 3GPP and not 3GPP; principles and algorithms interaction of networks LTE with networks of other standards on the basis of IP-reports; structure of construction and functioning of the radio interface of network LTE, E-UTRAN and UTRAN.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
Глава I. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ UMTS И ПЕРЕХОДА К СЕТЯМ LTE.....	13
1. Деятельность Международного союза электросвязи по развитию сетей мобильной связи UMTS.....	13
2. Деятельность Европейского института стандартизации электросвязи по развитию сетей мобильной связи LTE/UMTS.....	17
3. Перспективы развития сетей мобильной связи LTE, использующих технологию MIMO	36
Выводы к главе I.....	39
Глава II. АРХИТЕКТУРА, УПРАВЛЕНИЕ РАДИОРЕСУРСАМИ И КАЧЕСТВОМ В СЕТИ LTE.....	41
1. Общая структура сети LTE	41
2. Архитектура базовой сети SAE	47
3. Основные функции базовой сети SAE.....	52
4. Протоколы управления радиоресурсами в сетях E-UTRAN	61
5. Протоколы управления радиоресурса в сети UTRAN	65
6. Взаимосвязь состояний протокола управления радиоресурсами сетей E-UTRAN и UTRAN	68
7. Управление качеством услуг в сетях LTE	69
Выводы к главе II	73
Глава III. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СЕТИ LTE С СЕТЯМИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ РАЗЛИЧНЫХ СТАНДАРТОВ	75
1. Взаимодействие сети LTE с другими сетями стандартов 3GPP	75
2. Принципы взаимодействия сети LTE с сетями стандартов не-3GPP на основе IP-протоколов управления мобильностью.....	80
3. Использование IP-протоколов управления мобильностью при взаимодействии сети LTE с сетями стандартов не-3GPP	86
4. Алгоритм взаимодействия сети LTE с сетями стандартов не-3GPP	88
Выводы к главе III.....	97
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	98
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	102

ВВЕДЕНИЕ

Обоснование темы диссертации и актуальность. Наблюдая эволюцию развития технологий сетей радиодоступа, поражаешься гению человеческого разума. Каждое следующее поколение сетей мобильной связи характеризуется принципиально новыми технологическими возможностями, значительно расширяющими спектр услуг конечным пользователям. Зная прошлый и текущий уровень развития сетей мобильной связи и потребности абонентов, интересно заглянуть в ближайшее будущее и понять, что нас ожидает.

За сравнительно короткий период сети мобильной связи третьего поколения IMT/UMTS стали реальностью и показали явное преимущество перед сетями предыдущих поколений. Наиболее динамично развиваются сети связи европейского стандарта IMT/UMTS. Основными причинами их динамичного развития являются возрастающая потребность пользователей в высокоскоростных услугах, а также снижение капитальных затрат на передачу единицы трафика. Мировая мобильная экосистема к началу 2010 г. включала инфраструктуру сетей второго и третьего поколений мобильной связи, обслуживающую 4 млрд. абонентов, из которых более 600 млн. — это абоненты сетей 3G (UMTS + EVDO). Более 290 операторов развернули сети UMTS в 129 странах мира (более 150 сетей в Европе), включая Россию, в которой в 83 регионах развернуты 164 сети IMT/UMTS трех операторов «большой тройки»: ОАО «МТС», ОАО «ВымпелКом» и ОАО «МегаФон». Парк мобильных терминалов 3G насчитывает более 1500 различных типов устройств от более чем 130 компаний-производителей. Пользователями услуг мобильного широкополосного доступа HSPA являются уже более 450 млн. абонентов.

В ближайшем будущем основными факторами, влияющими на развитие технологий мобильной связи и беспроводного широкополосного доступа,

станут рост числа пользователей услуг и соответственно растущая потребность в доступных для развития полосах частот.

Сети UMTS (версий до Release 5 включительно) позволяют обеспечить пиковую скорость передачи данных до 2,048 Мбит/с. Радиointерфейс сети UMTS, основанный на технологии множественного доступа с кодовым разделением каналов (W-CDMA), имеет ряд отличий от радиointерфейса сети GSM. Главная особенность этого радиointерфейса заключается в ярко выраженном динамическом характере изменения энергетико-скоростных соотношений в сети радиодоступа UTRAN со сбалансированным энергетическим ресурсом.

Принципиальным отличием сети радиодоступа UTRAN от сетей GSM/EDGE/GPRS стало использование широкополосных сигналов с шириной спектра 5 МГц и базой сигнала, намного большей единицы ($B \gg 1$). В сетях W-CDMA/UMTS используются последовательные широкополосные сигналы с прямым расширением спектра (Direct Sequence CDMA — DS-SS-CDMA). Расширение базы сигнала осуществляется за счет введения частотной избыточности, которая и придает радиосигналу сети UMTS определенные положительные свойства: высокую помехоустойчивость, устойчивость к воздействию многолучевости (при условии, что разность задержек распространения радиоволн в различных направлениях больше, чем длительность одного элемента сигнала UMTS).

Алгоритм доступа, используемый в сети UMTS для кодового разделения каналов, чувствителен к мощности принимаемых радиосигналов. Поэтому в UMTS реализован механизм быстрого управления мощностью излучения. Другими особенностями сети UMTS являются:

- гибкое распределение радиоресурсов сети радиодоступа UTRAN;
- управление качеством услуг в цепочке «конечный пользователь — конечный пользователь» на основе специальных служб обмена данными;
- увеличение эффективности использования физической среды передачи путем введении нового типа каналов — транспортных;

- оптимизация трафика базовой (опорной) сети CN (Core Network) путем внедрения медиашлюзов MGW и гибких коммутаторов пакетной передачи данных (Softswitch), а также максимальное расширение использования протокола IP;
- использование разнообразных адаптивных речевых кодеков (AMR-NB, AMR-WB, AMR-WB+), позволивших передавать речь с качеством звука компакт-дисков;
- конвергенция с сетями фиксированной связи (передача общеканальной сигнализации SS7 по IP-сетям с использованием протокола Sigtran);
- возможность реализации передачи речи поверх протокола IP (VoIP).

Дальнейшее развитие сетей UMTS в направлении повышения скорости передачи данных и минимизации задержек передачи данных протоколов плоскостей пользователя и управления определило разработку технологий HSPA (HSDPA/HSUPA), в которых нашли применение многопозиционные сигналы с квадратурной амплитудной манипуляцией 16QAM. 64QAM. Особое внимание в этих технологиях для минимизации указанных задержек уделено модернизации протокола доступа к физической среде передачи (MAC).

Появление более совершенных технологий многостанционного доступа, модуляции и формирования сигналов с ортогональной частотной манипуляцией (OFDMA) стало причиной того, что Партнерский проект по сетям третьего поколения (3GPP) и Европейский институт стандартизации электросвязи (ETSI) осуществили разработку новой версии системы мобильной связи Release 8, включающей сеть радиодоступа E-UTRAN и базовую сеть SAE. Эта система получила название LTE (Long Term Evolution).

Использование новой технологии OFDMA, существенно повысившей спектральную эффективность систем WiMAX (IEEE 802.16e) и LTE, заставило обратить на нее пристальное внимание специалистов Международного союза электросвязи (МСЭ/ITU), и в 2007 г. в состав семейства из пяти радиointерфейсов 3G был введен новый радиointерфейс на основе технологии OFDM A, названный IMT Advanced.

Таким образом, технический бум, вызванный использованием сигналов OFDM в сетях WiFi/WiMAX, не обошел стороной и сети мобильной сотовой связи. Разработка технологии высокоскоростного доступа с ортогональной частотной манипуляцией и пакетной коммутацией (HSOPA) обусловила развитие концепции системы LTE которое привело к созданию системы LTE Advanced (Release 9, 10).

Первые разработки облика системы мобильной связи LTE, которая пришла на смену системе UMTS в Европе, были начаты Партнерским проектом по системам третьего поколения (3GPP) в декабре 2004 г. Целью этих работ было создание системы LTE на основе технологического задела по системе UMTS путем упрощения архитектуры базовой сети, внедрения новой технологии радиодоступа, уменьшения времени задержки и оптимизации передачи пакетов данных в радиоинтерфейсе. Исследования главным образом фокусировались на технологиях реализации услуг домена коммутации пакетов данных (PS-домена) и затрагивали:

- физический уровень радиоинтерфейса (способы обеспечения гибкого использования каналов с изменяемой шириной полосы излучения/приема сигнала до 20 МГц, внедрение новой технологии доступа OFDMA и новой технологии многолучевых антенных систем MIMO);
- канальный и сетевой уровни радиоинтерфейса (оптимизация процессов сигнализации);
- архитектуру сети радиодоступа UTRAN (оптимизация сетевой архитектуры).

Для концентрации усилий ряд крупнейших операторов мобильной связи (KPN Mobile NV, Orange SA, Sprint Nextel Corporation, T-Mobile International AG & Co KG, Vodafone Group PLC, China Mobile и NTT DoCoMo) создали альянс, который также участвует в разработке стандартов LTE. Инициативный проект организации был назван NGMN (Next Generation Mobile Networks).

Исследования этого альянса должны дополнить работы, ведущиеся в направлении развития системы LTE группами 3GPP и ETSI, занимающимися стандартизацией технологий. Альянс разработал рекомендации и требования к функциональности и производительности сетей LTE, которые должны быть отражены в будущих спецификациях. Основная цель альянса — обеспечить внедрение услуг нового поколения после 2010 г. Так, например, японская компания NTT DoCoMo уже тестирует технологии со скоростью передачи данных до 100 Мбит/с в движении и 1 Гбит/с в стационарном режиме.

Таким образом, главными целями эволюции систем 3G к системам 4G являются дальнейшее улучшение качества предоставления услуг и уменьшение расходов пользователей, а также эксплуатационных расходов операторов.

Программа долгосрочного развития системы LTE была окончательно определена проектом 3GPP в сентябре 2007 г. и одобрена Генеральной Ассамблеей ETSI в ноябре 2007 г.

В настоящее время рабочие группы проекта 3GPP завершили разработку сети радиодоступа E-UTRAN и архитектуры базовой сети высокого уровня SAE (System Architecture Evolution) системы LTE. Результаты работы изложены в технических спецификациях Releases 8, 9. Рабочие группы проекта 3GPP приступили к созданию технических спецификаций Release 10, направленных на улучшение параметров системы LTE (создание системы LTE Advanced).

На основе вышеизложенного подтверждается актуальность темы магистерской диссертации посвященной взаимодействию сети LTE с сетями мобильной связи, сетями UTRAN и E-UTRAN.

Объект и предмет исследований. Объектом исследования является взаимодействие сети LTE с сетями мобильной связи других стандартов. Предмет исследований – разработки научно обоснованных рекомендаций по разработке рекомендаций обеспечивающих максимальное взаимодействие сети LTE с сетями мобильной связи других стандартов CDMA, GSM и т.д.

Цель и задачи исследований. Целью диссертационной работы является проведение исследований по обеспечению взаимодействия сети LTE с сетями мобильной связи других стандартов.

Для достижения данной цели было необходимо решать следующие задачи:

- изучить этапы развития мобильных сетей связи UMTS и переходе к сетям LTE;
- исследовать архитектуру построения сети, управления радиоресурсами и качеством сети LTE;
- исследовать принципы совместного функционирования сети LTE с сетями мобильной связи других стандартов;
- разработка рекомендаций направленных на обеспечение совместного функционирования – взаимодействия сети LTE с сетями мобильных систем различных стандартов.

Гипотеза исследований. При проведении исследований в данной магистрской диссертации предполагается, что результаты исследований могут быть использованы при проектировании и эксплуатации сетей LTE и сетей мобильной связи других стандартов.

Краткий литературный обзор по теме диссертации. По теме диссертации опубликованы множество журнальных статей и монографий, т.к. исследуемая тема является современной, если учесть впервые сети LTE начали эксплуатировать впервые в 2008 году, а в Узбекистане операторами мобильной связи МТС и Ucell с 2010 г. Однако, исследований относящихся взаимодействию сетей LTE с сетями мобильной связи других стандартов недостаточно.

Методы исследований. В работе были использованы методы анализа, синтеза, индукции и дедукции имеющихся материалов и результатов исследований по взаимодействию сетей LTE и сетей других стандартов.

Теоретическая и практическая значимость полученных результатов заключается в том, что полученные результаты могут быть

использованы при проектировании и создании сетей LTE и в обеспечении её взаимодействия с мобильными сетями других стандартов.

Научная новизна исследований. На основе исследований выполненных в диссертации получены следующие научные результаты:

- выполнены обзор и анализ известных работ по взаимодействию сетей LTE с другими мобильными сетями;
- исследованы этапы развития сетей мобильной связи и сети LTE;
- исследована архитектура сети LTE, основные функции выполняемые радиointерфейсом LTE для управления сетью и качеством оказываемых ею услуг;
- на основе проведенных исследований разработаны рекомендации обеспечивающие оптимальное и качественное взаимодействие сети LTE с сетями мобильной связи других стандартов.

Структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Основной текст диссертации занимает 105 страниц. Работа содержит 29 рисунка, включая графики, 6 таблицы, а также список литературы из 42 наименований.

Глава I. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ UMTS И ПЕРЕХОДА К СЕТЯМ LTE

1. Деятельность Международного союза электросвязи по развитию сетей мобильной связи UMTS

Международный союз электросвязи / International Telecommunications Union (МСЭ/ITU) начал исследования вопросов глобализации мобильной связи в 1986 г. и определил долгосрочные требования к частотному спектру для будущего третьего поколения систем мобильной связи. В 1992 г. МСЭ на Всемирной административной конференции радиосвязи (ВАКР-92) распределил 230 МГц спектра в диапазоне 2 ГГц глобальной системе мобильной связи третьего поколения для обоих сегментов — спутникового и наземного.

Ожидалось, что появление на телекоммуникационном рынке (более 20 лет назад) сетей мобильной связи 3G завершит процесс глобализации мобильной связи в мире, начатый созданием и внедрением сетей связи второго поколения (сетей 2G), несмотря на национальные и региональные интересы и трудности при развертывании сетей.

Вначале МСЭ предполагал разработать единый глобальный стандарт на технологию радиointерфейса системы 3G. Этот проект назывался «Future Public Land Mobile Telephony System» (FPLMTS) и позднее был переименован в «International Mobile Telephone System» (IMT-2000). Однако техническая несовместимость радиointерфейсов и сетевых платформ, а также конкурентная борьба между производителями оборудования за технологическое лидерство не позволили МСЭ установить единый гармонизированный всемирный стандарт. В связи с этим рабочими органами МСЭ было принято решение об одобрении семейства стандартов радиодоступа IMT-2000, в которое после завершения процесса гармонизации вошли пять радиointерфейсов. Использование технологии модуляции OFDM

существенно повысило спектральную эффективность систем беспроводного доступа WiMAX (IEEE 802.16e). В связи с этим МСЭ в 2007 г. ввел в состав семейства радиointерфейсов новый интерфейс IMT Advanced (с технологией OFDM). Полное семейство интерфейсов и их основные характеристики приведены в табл. 1.1 (1.2). В табл. 1.1 использованы следующие обозначения радиointерфейсов:

- IMT-DS (IMT-2000 Direct Spread) — радиointерфейс широкополосной системы связи с прямым расширением спектра (DS-CDMA) и частотным дуплексным разносом (FDD) для применения в парных полосах частот;

Таблица 1.1. Типы и значения характеристик семейства радиointерфейсов стандарта IMT

Характеристика радиointерфейса	Семейство радиointерфейсов					
	IMT-DS	IMT-MC	IMT-TC	IMT-SC	IMT-FT	IMT Advanced
Орган по разработке спецификаций	3GPP, ARIB, ETSI	3GPP2, T1A, TR-45.3	3GPP, ETSI, CWTS	3GPP2, UWCC, TR-45.3, TIA	ETSI	ETSI, 3GPP
Базовая технология	W-CDMA, UTRA FDD	cdma2000	UTRA TDD, TD-SDMA	UWC-136	DECT EP	OFDMA/SC-FDMA
Метод доступа	DS-CDMA	MC-CDMA	TDMA/CDMA	TDMA	MC-TDMA	OFDMA
Метод дуплексного разнеса	FDD	FDD	TDD	FDD	FDD/TDD	FDD
Канальная скорость манипуляции, Мбод (Мсимв/с)	3.84		3.841 ¹⁾ 1,282 ²⁾	-	-	(0,5x3.84) ... (8x3.84)
1) Для технологии UTRA TDD. 2) Для технологии TD-SCDMA.						

- IMT-MC (IMT-2000 Multi Carrier) – радиointерфейс многочастотной системы связи с одновременной передачей нескольких несущих MS-CDMA и частотным дуплексным разносом FDD для применения в парных полосах частот;

- IMT-TC (IMT-2000 Time-Code) — радиointерфейс комбинированной системы связи TDMA/CDMA с временным дуплексным разносом TDD для применения в непарных полосах частот,
- IMT-SC (IMT-2000 Single Carrier) — радиointерфейс одночастотной системы связи TDMA с временным дуплексным разносом TDD для применения в парных полосах частот;
- IMT-FT (IMT-2000 Frequency Time) — радиointерфейс микросотовой системы связи DECT с комбинированным частотно-временным дуплексным разносом FDD/TDD для применения как в парных, так и в непарных полосах частот;
- IMT Advanced — радиointерфейс системы связи с одновременной передачей нескольких ортогональных несущих OFDMA и частотным дуплексным разносом FDD.

Семейство из пяти радиointерфейсов было представлено в Рекомендации МСЭ-Р М.1457 «Детальные спецификации радиointерфейсов международной подвижной электросвязи — 2000 (IMT-2000)». Ожидается, что в ближайшее время эта рекомендация будет дополнена описанием радиointерфейса IMT Advanced.

Распределение полос частот для сетей UMTS/IMT-2000 было закреплено в Регламенте радиосвязи на Всемирной конференции радиосвязи в 1997 г. (ВКР-97) в соответствии с Резолюцией 212 в виде специального примечания S5.388. Это распределение частотных полос по различным районам и отдельным государствам показано на рис. 1.1. При этом полосы частот 1885... 1980, 2010...2025 и 2110...2170 МГц были определены для наземного сегмента, а полосы частот 1980...2010 и 2170...2200 МГц — для спутникового сегмента системы IMT-2000.

В соответствии со своими Резолюциями ВКР-2000 внесла ряд примечаний в Регламент радиосвязи и определила для системы IMT-2000 возможные дополнительные полосы частот: 806...960, 1710... 1885 и

2500...2690 МГц (или их части), которые могут назначаться национальными Администрациями связи как полосы развития системы IMT-2000.

За последнее десятилетие МСЭ, учитывая решения ВКР-2000 и ВКР-2003, разработал значительное число рекомендаций по использованию полос частот для системы IMT-2000. При этом наиболее важной является Рекомендация М. 1036-3 («Частотные планы для внедрения наземного сегмента системы IMT-2000 в полосах частот 806...960 МГц; 1710...2025 МГц; 2110...2200 МГц и 2500...2690 МГц»). Эта рекомендация предусматривает шесть вариантов использования полосы частот 1710...2200 МГц для систем IMT-2000 и позволяет Администрациям связи максимально гибко подходить к разработке частотных планов для сетей IMT-2000 национальных операторов с учетом реальной загрузки планируемых к использованию диапазонов частот. Кроме того, в МСЭ был подготовлен Отчет ITU-RM.2039, содержащий технические характеристики наземного сегмента системы IMT-2000, как для оборудования, использующего радиоинтерфейс IMT-DS, так и для оборудования, использующего интерфейс IMT-MS.

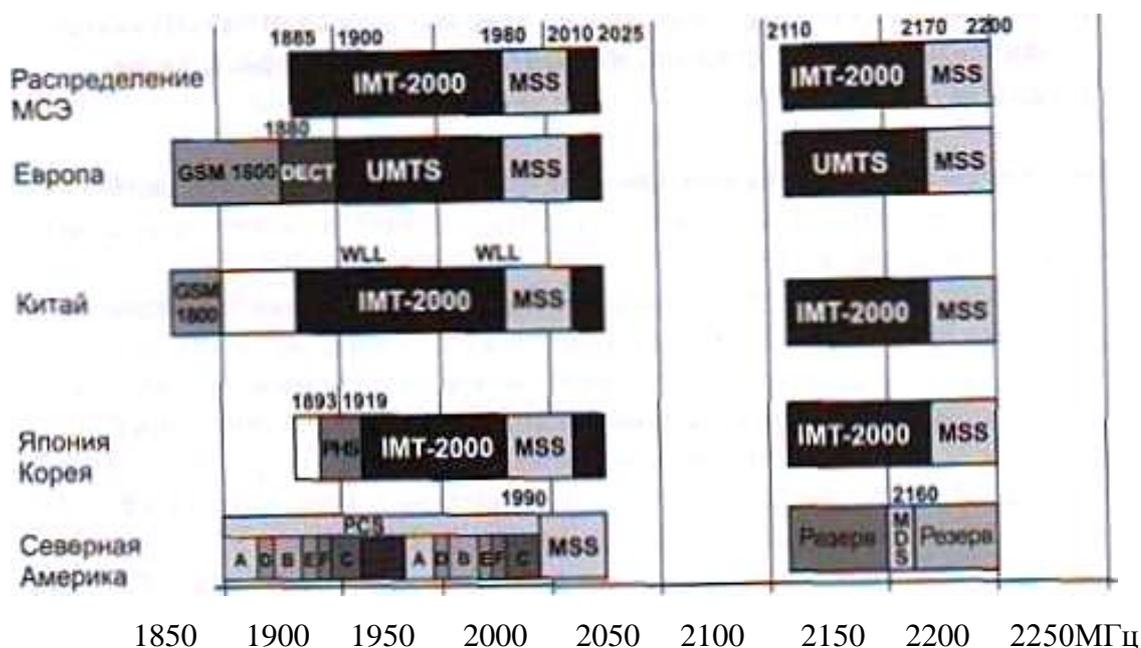


Рис. 1.1. Распределение полос частот для сетей 3G:
MDS (Mobile Communication Service) – подвижная служба передачи данных;
MSS (Mobile Satellite Service) — подвижная спутниковая служба;
PCS (Personal Communication System) — системе персональной связи;

PHS (Personal Handyphone System) — система персональной портативной связи;

WLL (Wireless Local Loop) — система беспроводной связи.

Для создания технического облика и определения потребностей в радиочастотном спектре для развития систем семейства ИМТ Международный союз электросвязи выпустил ряд отчетов:

1. Отчет МСЭ-Р М.2077. Прогнозы трафика и предполагаемые потребности в спектре для спутниковой составляющей системы ИМТ-2000 и систем, следующих за ИМТ-2000, на период 2010-2020 гг.

2. Отчет МСЭ-Р М.2078. Оценка требований к ширине полос спектра для будущего развития систем ИМТ-2000 и ИМТ Advanced.

3. Отчет МСЭ-Р М.2079. Техническая и эксплуатационная информация для определения спектра наземной составляющей для будущего развития систем ИМТ-2000 и ИМТ Advanced.

Однако и в настоящее время разработка систем ИМТ остается одним из приоритетных направлений деятельности МСЭ. Поэтому усилия нескольких групп (WP5D и SG1) и исследовательских комиссий МСЭ сосредоточены на этом направлении.

2. Деятельность Европейского института стандартизации электросвязи по развитию сетей мобильной связи LTE/UMTS

Не менее значимой и интересной является история развития сетей мобильной связи третьего поколения и в Европе. В европейской истории можно выделить следующие периоды:

– 1992-1995 гг.: в ходе работ по проекту MoNet в рамках исследовательской программы RACE (Research in Advanced Communications in Europe) проводилось моделирование технологий и распределение функций между сетью радиодоступа и базовой сетью сетей третьего поколения;

- 1995-1998 гг.: исследования продолжались в рамках программы ACTS (Advanced Communications Technology and Services) проекта FRAMES (Future Radio Wideband Multiple Access System);

- с 1998 г. по настоящее время исследования сосредоточились в Партнерском проекте по системам третьего поколения (3GPP) при Европейском институте стандартизации электросвязи (ETSI).

При разработке системы 3G в Европе в основном использовались технические решения, полученные для сетей GSM по следующим двум причинам: во-первых, технология GSM была доминирующей на европейском рынке мобильной связи, во-вторых, в развитие сетей GSM были вложены гигантские инвестиции, требовавшие скорейшей окупаемости. Кроме того, будущая система 3G должна была удовлетворять следующим требованиям:

- иметь полное описание и технические требования в виде открытых стандартов, так же как и сети GSM. Технические требования к системе 3G разработаны и приняты как документы международных организаций стандартизации;

- превосходить сети GSM по всем аспектам. В начале разработки и эксплуатации система 3G должна быть совместима как минимум с сетями GSM и ISDN (Integrated Services Digital Network);

- поддерживать мультимедийные и другие услуги во всех подсистемах сети;

- обеспечивать высокую пропускную способность сети радиодоступа и получить распространение во всем мире. Требования к пропускной способности сети 3G должны превышать соответствующие требования к узкополосным мобильным сетям GSM и широкополосным стационарным мультимедийным сетям;

- услуги, предоставляемые конечным пользователям сетей 3G, не должны зависеть от особенностей технологии радиодоступа, а выбранная архитектура — ограничивать внедрение новых услуг связи. Технологическая

платформа и услуги должны быть взаимонезависимы, иметь открытую структуру.

В рамках европейской исследовательской программы ACTS («Перспективные технологии и услуги связи») по проекту FRAMES («Перспективные системы широкополосного множественного радиодоступа») была проведена всесторонняя оценка различных технологий множественного доступа с целью выбора технологии радиointерфейса для европейского стандарта системы 3G — системы UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). Основной задачей проекта FRAMES была разработка концепции радиointерфейса и предложений для стандартизации системы UMTS. В процессе работы над радиointерфейсом для системы UMTS европейские производители оборудования связи предложили рабочей группе SMG2 Технического комитета по мобильной связи ETSI пять концепций:

- W-CDMA — широкополосный множественный доступ с кодовым разделением каналов;
- OFDMA — ортогональный множественный доступ с частотным разделением каналов;
- W-TDMA — широкополосный множественный доступ с временным разделением каналов;
- TDMA/CDMA — широкополосный множественный доступ с кодово-временным разделением каналов;
- ODMA — множественный доступ с гибкими возможностями.

Отобранные варианты были представлены для окончательного рассмотрения группе SMG2 (концепции W-TDMA и TDMA/CDMA), а также подгруппе W-CDMA японской ассоциации ARIB, занимающейся стандартизацией системы 3G (концепция W-CDMA).

В течение 1998 г. Европейский институт стандартизации систем электросвязи и японские региональные органы стандартизации (TTC и ARIB) пришли к согласию о выпуске единого стандарта на систему UMTS. Кроме того, свои усилия по разработке единого европейского стандарт 3G

объединили шесть региональных организаций стандартизации в области электросвязи, которые вошли в Партнерский проект 3GPP:

- Европейский институт стандартизации электросвязи (European Telecommunication Standard Institute);
- Японская ассоциация радиопромышленности и бизнеса (Association of Radio Industries and Business/Japan);
- Китайская группа стандартизации технологий беспроводной связи (China Wireless Telecommunication Standard gr./China);
- Американский комитет по стандартизации телекоммуникаций (Standardization Committee TI-Telecommunications/US);
- Корейская ассоциация телекоммуникационных технологий (Telecommunication Technology Association/Korea);
- Японский комитет телекоммуникационных технологий (Telecommunications Technology Committee/Japan).

Партнерский проект 3GPP начал работу по стандартизации технических требований к системе UMTS как к всемирному стандарту мобильной связи третьего поколения. Структура проекта 3GPP и состав его рабочих групп показаны на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Структура проекта 3GPP Источник: ETSI

В ответ на создание при ETSI Партнерского проекта 3GPP рядом региональных организаций стандартизации электросвязи был создан Партнерский проект 3GPP2 (3G Partnership Project 2) для развития системы 3G на основе радиointерфейса американского стандарта IS-95. Целью альтернативного проекта 3GPP2 было объединение усилий ученых и специалистов для развития системы IMT-МС как конкурирующей с системой UMTS.

В состав проекта 3GPP2 вошли:

- Американская Ассоциация производителей телекоммуникационного оборудования (Telecommunication Industry Association/US);
- Японская ассоциация радиопромышленности и бизнеса (Association of Radio Industries and Business/Japan);
- Китайская группа стандартизации технологий беспроводной связи (China Wireless Telecommunication Standard gr/China);
- Корейская ассоциация телекоммуникационных технологий (Telecommunication Technology Association/Korea);
- Японский комитет телекоммуникационных технологий (Telecommunications Technology Committee/Japan).

Для разработки технических требований (спецификаций) к системе UMTS в 3GPP была принята технология стандартизации, использованная ETSI для создания стандарта GSM и основанная на приостановке («замораживании») на определенном временном этапе внесения изменений в технические спецификации и начале формирования нового пакета технических спецификаций с расширенными требованиями к системе.

Процесс развития стандарта GSM нашел отражение в нескольких релизах (Releases), опубликованных ETSI (рис. 1.3). Результатом развития стандарта стала разработка следующих технологий передачи данных и речи:

- HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) — высокоскоростная передача данных по коммутируемым каналам. Технология основана на объединении четырех временных слотов для увеличения скорости передачи

данных до 57,6 кбит/с (14,4 кбит/сх4). При ее использовании увеличение скорости передачи данных одного абонента происходит за счет канальных ресурсов других абонентов. Эта технология была первым шагом в направлении увеличения скорости передачи для внедрения новых услуг передачи данных.

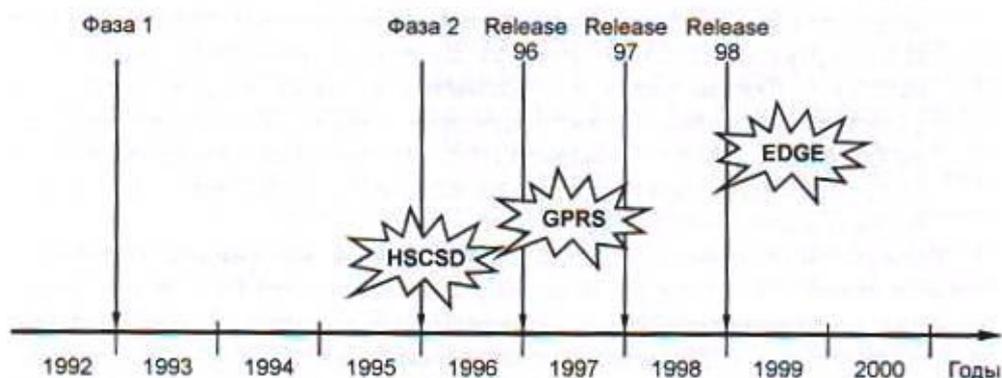


Рис. 1.3. Хронология опубликования релизов стандарта GSM

– GPRS (General Packet Radio Service) — пакетная передача данных общего назначения. Технология основана на передаче данных по сети с коммутацией пакетов параллельно с передачей речи в режиме коммутации каналов и обеспечивает передачу данных со скоростью до 115 кбит/с. Для технологии GPRS, в отличие от технологии HSCSD, требовалась разработка новых, поддерживающих ее терминалов:

- терминалов класса А, которые одновременно поддерживают абонентский трафик в режимах коммутации пакетов и каналов:
- терминалов класса В, которые поддерживают абонентский трафик либо в режиме коммутации пакетов, либо в режиме коммутации каналов:
- терминалов класса С, которые поддерживают абонентский трафик только в режиме коммутации пакетов.

– EDGE (Enhanced Data Rates for the GSM Evolution) — передача данных с повышенной скоростью для развития сетей GSM. Технология основана на передаче данных по сети с коммутацией пакетов, а увеличение

скорости передачи данных обеспечивается за счет введения нового метода модуляции 8PSK. При этом в сети обеспечивается передача данных со скоростью до 384 кбит/с. а ширина полосы излучения GSM-сигнала (200 кГц), структура кадра и структура логических каналов остаются неизменными. Каналы связи и трансиверы, которые должны выполнять функцию повышения скорости передачи данных, работают либо в режиме GSM/GPRS, либо в режиме EDGE. Это позволяет операторам сетей GSM оказывать, наряду с традиционными услугами связи 2G, услуги связи, реализуемые в сетях 3G.

Усовершенствование стандарта GSM связано с внедрением технологии EDGE в технологию сети радиодоступа GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network), позиционируемую как альтернативное развитие систем 2G параллельно системам 3G. Технические спецификации на сеть GERAN, отражающие вариант реализации совмещенных сетей GSM/UMTS, были включены в релизы стандарта UMTS.

Развитие стандарта UMTS было отражено в нескольких релизах (рис. 1.4).

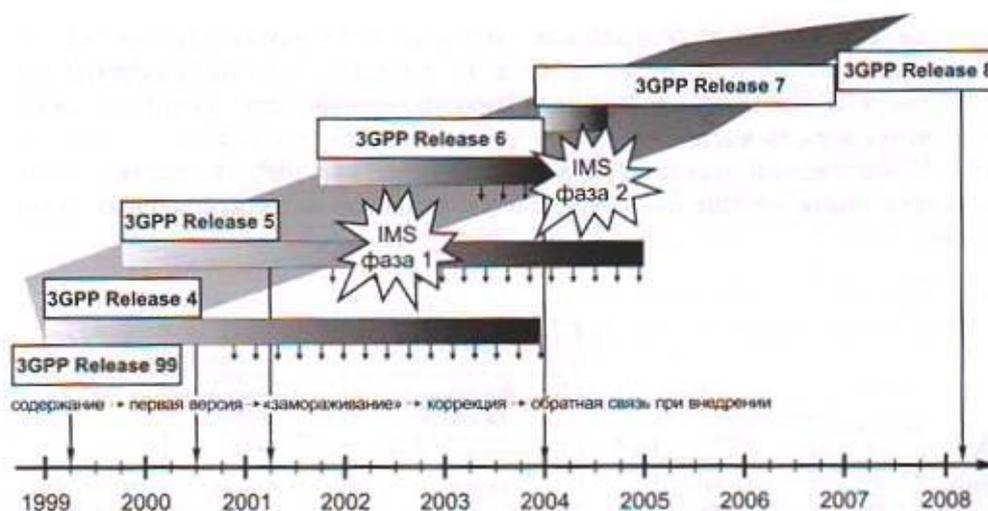


Рис. 1.4. Хронология опубликования релизов стандарта UMTS

Release 99. Выпущенный рабочей группой проекта 3GPP этот релиз был первым из планируемых регулярных сборников технических спецификаций для системы UMTS, суммирующих исследования и технические предложения

рабочих групп проекта 3GPP по различным функциональным направлениям и подсистемам сети UMTS. Его подготовка была завершена в конце 1999 г.

Согласно Release 99 система UMTS (рис. 1.5) основывалась на сетевых доменах, обеспечивающих коммутацию каналов при работе с подсистемами сетей GSM последней версии, и на доменах, обеспечивающих пакетную коммутацию в базовой сети CN (Core Network) для подсистемы GPRS (5J). Поэтому базовая сеть CN системы UMTS традиционно включает в себя базу данных (регистр) местоположения домашних абонентов (Home Location Register — HLR), центр управления и коммутации MSC/VLR, совмещенный с базой данных роуминговых абонентов (Visitor Location Register — VLR), шлюз GMSC (для управления соединениями и взаимодействия с внешними сетями с коммутацией каналов), узлы SGSN и GGSN (для управления соединениями с коммутацией пакетов), а также систему аутентификации и контроля доступа абонентов (Authentication Center — AuC).

В Release 99 для построения транспортной сети между элементами сети радиодоступа UTRAN была использована технология асинхронной передачи данных (Asynchronous Transfer Mode — ATM). Скорость передачи для одного речевого канала домена базовой сети с коммутацией каналов (CS-домена) в UMTS составила 64 кбит/с. а домен с коммутацией пакетов (PS-домен) был построен на технологии IP-туннелирования с использованием протокола GTP (GPRS Tunnelling Protocol).

Разработка спецификаций Release 99 для системы UMTS проходила в то время, когда услуги Интернета становились все более популярными, и технология основанная на IP-протоколе, стала использоваться для передачи не только данных, но и речи, видео и т.д. Возможность передачи речевых услуг поверх IP-протокола в обычных фиксированных сетях связи предоставила возможность внедрения в сети мобильной связи новейших технологических достижений передачи речи (Voice over IP — VoIP). Вследствие этого возникла новая парадигма — создание и развитие мультисервисных сетей связи.

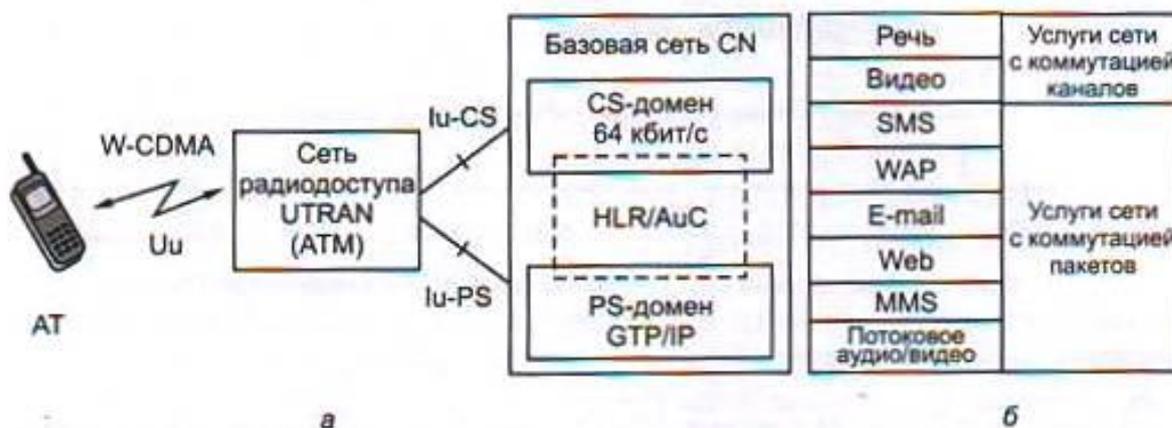


Рис. 1.5. Архитектура (а) и услуги (б) системы UMTS согласно Release 99

Соответствующим ответом на внедрение IP-протокола в сети фиксированной связи стали релизы стандарта UMTS, последовавшие за Release 99. Их главной целью была последовательная трансформация системы UMTS в систему, полностью интегрированную с сетью IP и позволяющую сосуществовать двум различным сетям, построенным на основе базовой сети с коммутацией каналов и базовой сети с коммутацией пакетов.

Release 4. Этот релиз стал следующим сборником технических спецификаций стандарта UMTS. Его выпуск был вызван переводом CS-домена базовой сети на технологию пакетной передачи и построением базовой сети на основе технологий IP, ATM. Такие преобразования в принципах построения базовой сети CN потребовали эволюционного развития центра управления и коммутации MSC в двух направлениях. Первое направление — разработка MSC-сервера, который управлял бы установлением соединений и коммутацией медиашлюзов MGW. Второе направление — разработка медиашлюза MGW (Media Gateway), управляющего потоками данных, создаваемых абонентами сети с использованием протокола GTP/IP.

В Release 4 были отражены следующие технологические новшества системы UMTS (рис. 1.6):

- низкоскоростной режим TDD (TD-SCDMA) со скоростью передачи данных 1,28 Мбит/с;
- технология GERAN для совмещенных сетей GSM/UMTS и возможности использования интерфейса и в сетях с технологией GPRS/EDGE:
- независимая архитектура службы обмена данными для домена с коммутацией каналов:
- две новые подсистемы — центр управления и коммутации MSC был разделен на медиашлюз для транспортировки передаваемых данных пользователя и MSC-сервер для сигнализации:
- возможность оказания услуг потокового аудио/видео, услуг MMS и других мультимедийных услуг.

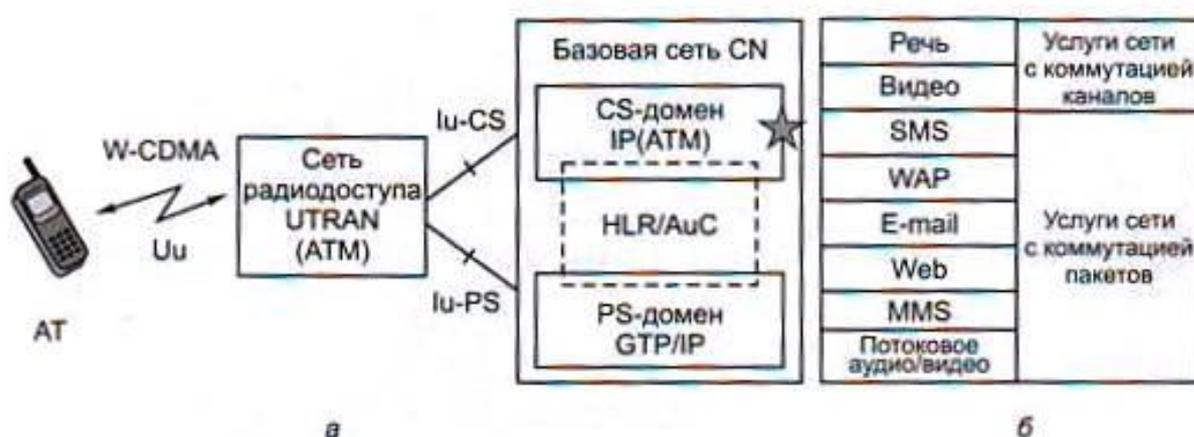


Рис. 1.6. Архитектура (а) и услуги (б) системы UMTS согласно Release 4

Таким образом, технология сетей GSM стала сравнимой с технологией GERAN, обеспечив взаимодействие сетей GSM, основанных на технологии GSM/GERAN, и сетей UMTS, базирующихся на технологии W-CDMA. Эти две технологии стали определяющими для последующего построения сетей 3G. Работы по развитию Release 4 были приостановлены в марте 2001 г.

Release 5. В данном релизе был отражен заключительный этап создания базовой сети CN на основе IP-технологии в результате отказа от использовавшейся ранее технологии ATM для коммутации каналов

CS-домена. В новой архитектуре системы UMTS (рис. 1.7) предоставление мультимедийных IP- услуг в реальном масштабе времени обеспечивалось за счет включения еще одного PS-домена, называемого IMS (IP Multimedia Subsystem), в состав базовой сети CN. Этот домен присоединялся к узлу GGSN и к медиа-шлюзу MGW и использовал протокол SIP (Session Initiation Protocol) как средство для установления сеансов передачи мультимедийных данных, поддерживающих мобильность абонентов и переадресацию вызовов. Другим изменением базовой сети CN, введенным техническими спецификациями Release 5, стала интеграция функций базы данных HLR и устройства аутентификации и контроля АиС в единый сервер домашних абонентов сети (Home Subscriber Server — HSS), который содержит информацию о каждом абоненте (прописанном в базе данных домашней сети) для управления вызовами и сеансами передачи данных.

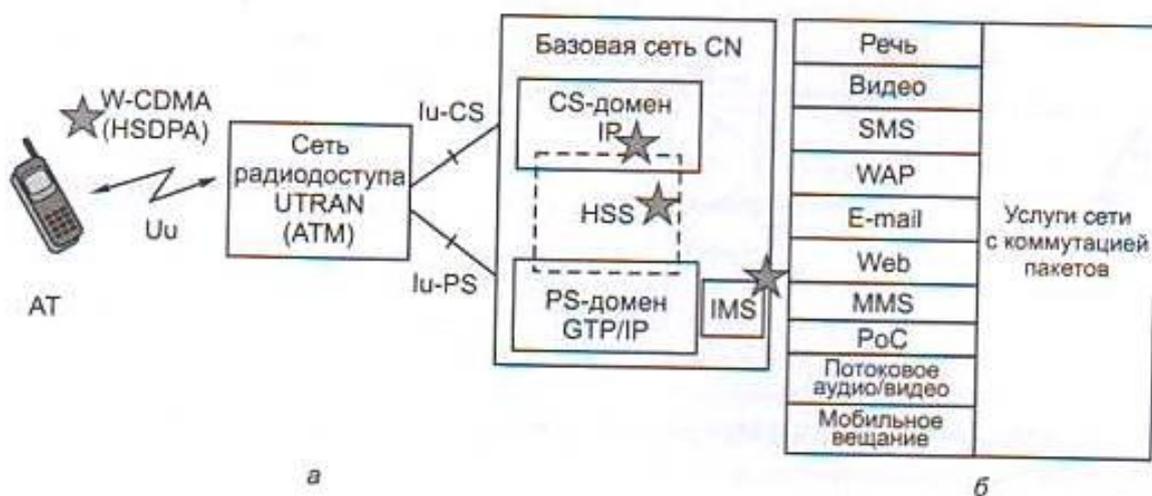


Рис. 1.7. Архитектура (а) и услуги (б) системы UMTS согласно Release 5

Технические спецификации Release 5 не ограничились изменениями базовой сети CN и продолжили очень важную модификацию радиоинтерфейса сети радиодоступа UTRAN системы UMTS. Эта модификация касалась разработки нового режима высокоскоростного доступа на основе технологии W-CDMA, названного высокоскоростным доступом для

передачи информации в линии «вниз» (High Speed Downlink Packet Access — HSDPA). Режим HSDPA может поддерживать значительно более высокие по сравнению с установленной Release 99 (384 кбит/с) скорости передачи данных (до 10 Мбит/с) на основе использования схемы дополнительной модуляции, схемы ускоренного пакетирования данных и гибридного механизма повторной передачи, а также совместимости с механизмами радиодоступа, определенными в предыдущих релизах.

Таким образом, Release 5 ввел технические требования:

- на подсистему IMS, которая имеет две фазы развития; первая фаза представлена в Release 5 как базовая сеть на основе IP-протокола версии IPv6;
- на управление мультимедийными услугами домена пакетной коммутации с помощью протокола SIP.

Работы по Release 5 были прекращены в марте 2002 г., а основные технические спецификации Release 5 включены в последнюю редакцию Рекомендации МСЭ-Р М.1457.

Release 6. Релиз представил технические спецификации, в которых были сформулированы требования к режиму высокоскоростной передачи данных в линии «вверх» (High Speed Uplink Packet Access — HSUPA) для первой и второй фаз развития подсистемы IMS базовой сети CN; кроме того, в ней получил дальнейшее развитие режим HSDPA.

Release 6 ввел ряд технологических новшеств:

- поддержку мультимедийного вещания (Multimedia Broadcast/Multicast Service - MBMS);
- адаптивные многоскоростные широкополосные кодеки (Adaptive Multi-Rate-Wideband+ codec — AMR-WB+), позволяющие передавать и принимать речь и музыку с уровнем качества CD;
- новые диапазоны частот 2100/1900/1800/900/800 МГц в абонентских терминалах и сети радиодоступа UTRAN;
- использование IP-технологии в цепочке «базовая сеть — сеть радиодоступа — абонентский терминал» (CN/RAN/Terminal).

Технические требования Release 6 ко второй фазе развития подсистемы IMS обеспечили системе UMTS (рис. 1.8) следующие возможности:

- взаимодействие и присоединение базовой сети, построенной на основе IMS, к сетям, использующим коммутацию каналов (CS-сетям);
- взаимодействие с внешними сетями с коммутацией пакетов, не использующими подсистему IMS;
- разработку общих технических подходов для взаимодействия указанных внешних сетей.

Работы по развитию Release 6 были заморожены в конце второй половины 2004 г.

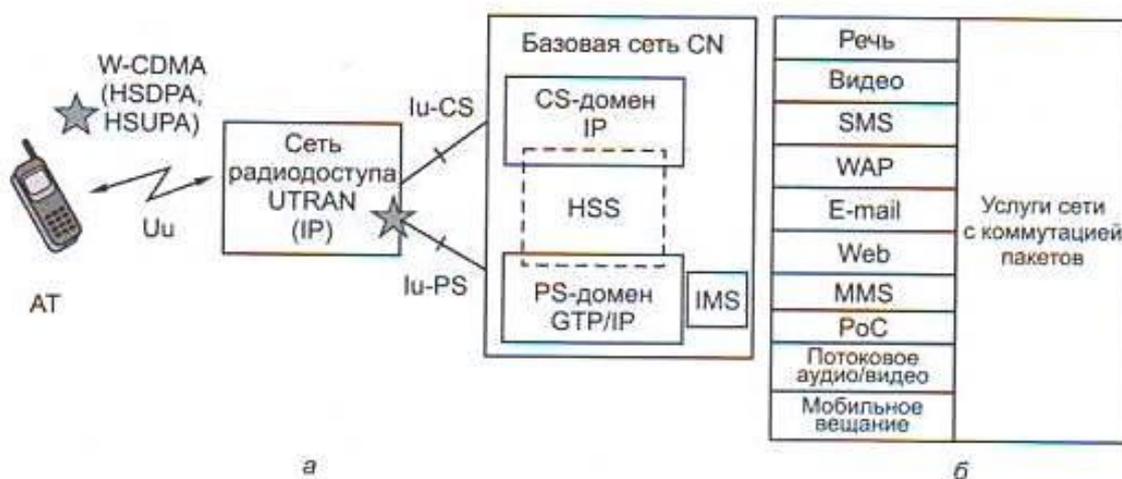


Рис. 1.8. Архитектура (а) и услуги (б) системы UMTS согласно Release 6

Release 7. Релиз представил вторую фазу развития технологии HSUPA и усовершенствованную подсистему E-IMS (Enhanced IMS).

Кроме того, Release 7 определил новые технические решения для системы UMTS:

- высокоскоростной режим передачи данных на основе временного разделения каналов TDD (7.68 Мбит/с);
- общий доступ к интерфейсу A/Gb, позволяющий сетям мобильной связи интегрироваться при более сложных сценариях их использования, чем простое межсетевое подключение;

- повышенную функциональность модуля идентификации абонента сети UMTS (UMTS Service Identity Module — USIM). позволяющую осуществлять загрузку специальных программ и данных в модуль USIM;

- использование многолучевых адаптивных антенн, основанных на технологии MIMO (Multiple Input. Multiple Output — множественный вход, множественный выход) и повышающих пропускную способность радиоподсистемы (решение о начале работ по MIMO было перенесено из Release 6 в Release 7);

- различные сервисные приложения (мультимедийные услуги, услуги определения местоположения абонента, видео- и речевые услуги).

Главные направления работ по совершенствованию подсистемы IMS базовой сети, предусмотренные в Release 7, состояли в следующем:

- обеспечение возможности доступа к подсистеме MS фиксированных широкополосных сетей передачи данных (Fixed Broadband Access);

- обеспечение качества услуг в сетях UMTS, использующих технологии HS DPA/HS UP A/Enhanced IMS. на основе механизма управления и принципа гарантированного качества услуг в цепочке «конечный пользователь — конечный пользователь»;

- обеспечение прохождения экстренных вызовов в PS-домене и в подсистеме IMS базовой сети CN;

- совместимость вызовов в режиме с коммутацией каналов и сеансов передачи данных подсистемы IMS;

- эволюционное развитие функций управления ресурсами сети (policy control function) и тарификации для IP-потоков данных;

- -обеспечение поддержки услуг определения местоположения абонента, аудио- и видеоконференций, управления группами пользователей.

Работы по развитию Release 7 были остановлены в середине 2007 г.

Release 8. Этот релиз дал старт работам над техническим обликом сетей мобильной связи новых поколений, идущих за поколением 3G. которые

призваны революционно изменить привычные технологии. Разработчики отказались от технологии радиointерфейса W-CDMA и перешли к более прогрессивной технологии OFDMA. Основными требованиями к новой системе, отразившимися в Release 8 (рис. 1.9), были: значительное повышение спектральной эффективности (доведения ее до 5 бит/с/Гц); увеличение пропускной способности в линии «вниз» до 100 Мбит/с при ширине полосы одного частотного канала 20 МГц (с возможностью его масштабирования: 1.4; 3; 5; 10; 15 МГц) и до 50 Мбит/с в линии «вверх», а также сокращение времени задержки передачи пакетов данных до 10 мс по сравнению с 80 мс при технологии HSDPA (Release 5) и упрощение архитектуры сети.

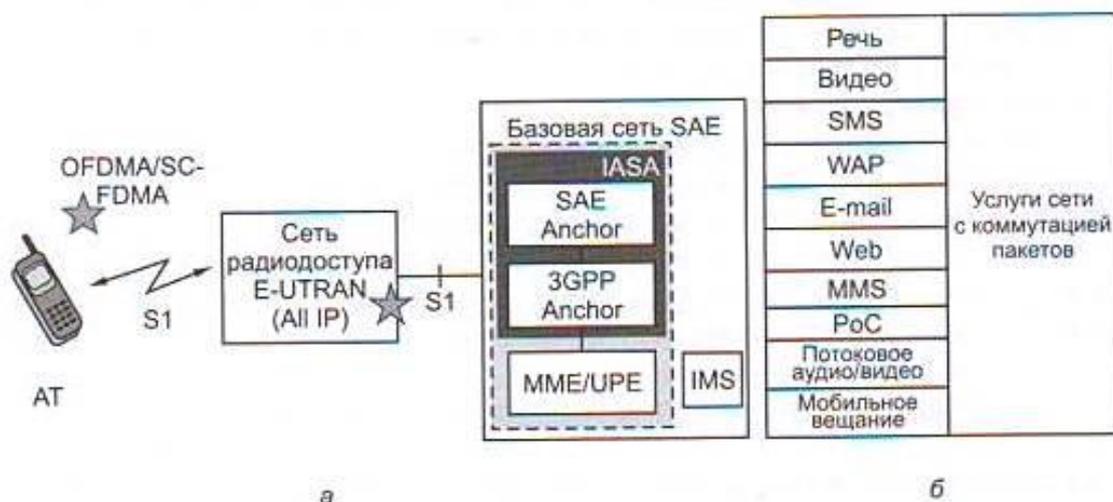


Рис. 1.9. Архитектура (а) и услуги (б) сети LTE согласно Release 8 (S1 - интерфейс LTE)

Основные усилия разработчиков Release 8 были направлены на:

- физический уровень радиointерфейса (способы обеспечения гибкого использования каналов с изменяемой шириной полосы излучения/приема до 20 МГц, внедрение новых технологий модуляции сигналов OFDMA и многолучевых антенных технологий MIMO);
- канальный и сетевой уровни радиointерфейса (оптимизация сигнализации);

– архитектуру сети радиодоступа UTRAN (определение оптимальной сетевой архитектуры и функциональных отличий от узлов сети радиодоступа RAN).

Работы над Release 8 были прекращены в середине 2009 г.

Release 9. Начавшиеся работы над Release 9 определяют вторую фазу развития системы LTE. Основные направления этого развития:

- совершенствование функциональных возможностей;
- введение новых услуг в сетевые возможности;
- расширение эксплуатационных возможностей;
- создание новых сценариев развития.

По мнению специалистов ETSI и 3GPP, качественно изменения в Releases 9 и 10 по отношению к базовому для системы LTE Release 8 можно представить в виде диаграммы (рис. 1.10).

Совершенствование функциональных возможностей LTE в Release 9 будет заключаться в реализации двухдиапазонной или многодиапазонной передачи данных в одном физическом канале, дальнейшем расширении возможностей сети радиодоступа E-UTRAN, внедрении новых сценариев высокоскоростной передачи данных.

В сети LTE предусмотрено предоставление новых услуг системой предупреждения о массовой опасности (Public Warning System — PWS) в случае землетрясения, цунами, торнадо и др., введение системы контроля специальных услуг, дальнейшее развитие мультимедийных речевых услуг VoIP (IMS), широковещательных услуг MBMS, услуг определения местоположения абонентов (Location Base Services — LBS), услуг M2M на основе сетей «машина-машина».

Расширение эксплуатационных возможностей LTE будет состоять в создании сервисно-ориентированной архитектуры системы поддержки эксплуатации (Operations, Administration, Maintenance and Provisioning — OAM&P), расширении возможностей контроля эксплуатационных

параметров сети радиодоступа E-UTRAN и базовой сети SAE, введении новых функций самоконфигурирования и самовосстановления в системе OAM&P.



Рис. 1.10. Сравнительная диаграмма изменения возможностей системы LTE (Releases 8, 9 и 10)

Новые сценарии развития сетей LTE будут основаны на внедрении диапазонов LTE/UMTS 3500 МГц. LTE/UMTS 800 МГц. LTE/UMTS 1500 МГц. введении ретрансляторов для режима 1,28 Мбит/с TDD, обеспечении совместной работы базовой сети SAE и подсистемы IMS Stage 3. совершенствовании механизмов взаимодействия с внешними сетями радиодоступа Wi-Fi, Wi-MAX, cdma2000 и др.

Release 10. Работы над этим релизом направлены на дальнейшее развитие технологии LTE и создание усовершенствованной технологии LTE Advanced. В настоящее время уже сформулированы основные требования, которым должна удовлетворять система LTE Advanced. По сути это требования к стандарту мобильных сетей четвертого поколения (4G):

- максимальная скорость передачи данных в линии «вниз» — до 1 Гбит/с, в линии «вверх» — до 500 Мбит/с (средняя пропускная способность на одного абонента — в три раза выше, чем в LTE);

- полоса пропускания в линии «вниз» — 100 МГц, в линии «вверх» — 60 МГц;
- максимальная эффективность использования спектра в линии «вниз» — 30 бит/с/Гц, в линии «вверх» — 15 бит/с/Гц (втрое выше, чем в LTE);
- полная совместимость и взаимодействие с LTE и другими системами стандартов 3GPP (GERAN/UMTS).

Для решения этих задач предполагается использовать радиоканалы с более широкой полосой (до 100 МГц), асимметричное разделение полос пропускания между линией «вверх» и линией «вниз» в случае частотного дуплекса, более совершенные системы кодирования и исправления ошибок; гибридную технологию OFDMA и SC-FDMA для линии «вверх», а также технологию M/MO для антенных систем LTE.

Таким образом, согласно плану стандартизации технологии LTE работа основных рабочих групп 3GPP сосредоточена на разработке и совершенствовании трех релизов (табл. 1.2).

Таблица 1.2. Перечень работ 3GPP по Releases 8-10

Номер релиза	Дата завершения разработки релиза	Исследуемые вопросы
Release 8	Март 2009г.	Спецификации системы LTE. Создание базовой сети SAE, полностью основанной на протокола IP
Release 9	Декабрь 2009 г.	Создание усовершенствованной версии базовой сети SAES 1 (SAE Enhancements). Реализация сетевого взаимодействию WMAX и LTE/UMTS
Release 10	В стадии определения	Спецификации системы L TE Advanced

Анализ временных сроков работ нал техническими спецификациями цепочки систем GSM-UMTS-LTE показывает, что типовой этап эволюции технологий мобильной связи, разрабатываемых и стандартизуемых HTSI.

продолжается в среднем два года. Результаты этапа разработки оформляются в виде релиза, являющегося сборником технических спецификаций, подготовленного за заданный ETSI период стандартизации.

Несмотря на ускоренное развитие технологии LTE, технологии сетей мобильной связи 2С и 3G продолжают согласованное развитие как технологии сетей доступа, разрабатываемые проектом 3GPP в едином взаимосвязанном с технологией LTE плане стандартизации ETSI. Эволюционное развитие технологии мобильной связи GSM-HSCSD-GPRS-EDGE включало в себя две фазы три релиза: 96, 97 и 98. Интеграция технологии EDGE в новую систему радиодоступа GERAN (GSM/EDGE Radio Access Network) представляет собой процесс параллельного с развитием систем 3G совершенствования систем 2G архитектурой сети с интеграцией служб (ISDN). Для этого было решено включать технические спецификации на технологию GERAN в будущие релизы марта UMTS в качестве варианта реализации совмещенных сетей GSM/UMTS и не разрабатывать как самостоятельные релизы стандарта GSM.

Временная диаграмма параллельного развития технологий LTE/HSPA/EDGE она на рис. 1.11. Как видно из рисунка, процесс стандартизации технологии LTE включает в себя создание трех релизов, согласованных по времени их выпуска с релизами развития технологий GERAN/EDGE и UMTS/HSPA+.

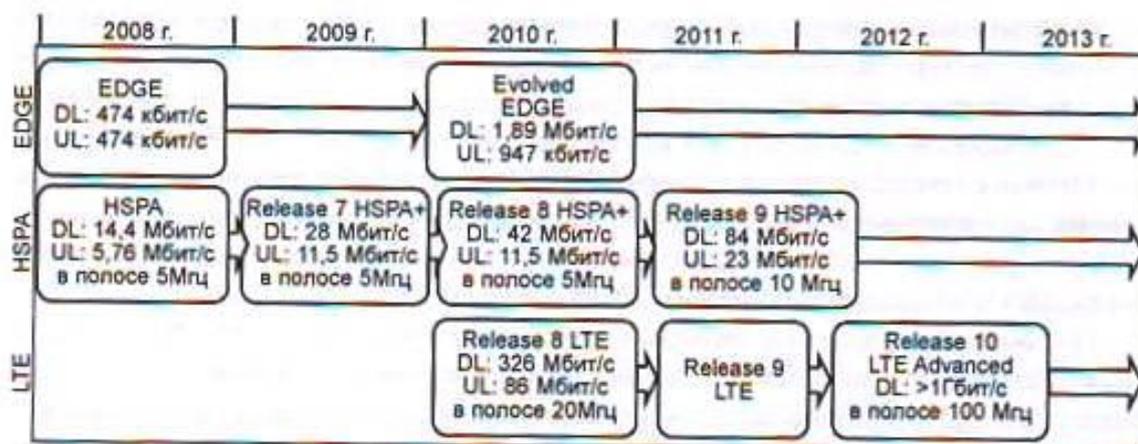


Рис. 1.11. Временная диаграмма взаимосвязанного развития технологий GERAN/UMTS и LTE: DL — линия «Вниз»; UL — линия «Вверх»

Таким образом, к настоящему времени объединенными усилиями ETSI и 3GPP разработана европейская система стандартизации технологий GSM/UMTS/LTE, которая постоянно совершенствуется. В результате исследований, проведенных в 2004-2009 гг., выбрано направление эволюции технологий — создание сетей LTE.

3. Перспективы развития сетей мобильной связи LTE, использующих технологию MIMO

Дальнейшее повышение пропускной способности и качества услуг в сетях LTE связано с технологией MIMO. И хотя существующие реализации антенных систем, использующих технологию MIMO (MIMO-систем), пока не всегда заметно увеличивают скорость передачи данных на небольших расстояниях от точки доступа к сети, уже доказано, что на больших расстояниях эти системы весьма эффективны. Технология MIMO позволяет уменьшить число ошибок при радиообмене данными без снижения скорости передачи в условиях множественных переотражений сигналов. При этом многоэлементные антенные системы обеспечивают:

- расширение зоны покрытия радиосигналами и сглаживание в ней «мертвых» зон;
- использование нескольких путей распространения сигнала, что повышает вероятность работы по трассам, на которых меньше проблем с замираниями, переотражениями и т.п.;
- увеличение пропускной способности каналов связи за счет формирования систем обработки сигналов, основанных на физически различных принципах (пространственное разнесение сигналов, кодовое разнесение с помощью ортогональных кодов, частот, поляризационное разнесение).

История применения технологии MIMO в системах беспроводной связи весьма непродолжительна. Первый патент на использование технологии

MIMO в радиосвязи был зарегистрирован в 1984 г., а первая статья по технологии MIMO была опубликована в 1985 г.

Несмотря на короткую историю применения технологии MIMO, она развивается весьма динамично на основе семейства методов, которые можно условно классифицировать в соответствии с принципом разделения сигналов в приемном устройстве. При этом в MIMO-системах используются как уже зарекомендовавшие себя подходы к разделению сигналов, так и новые. К ним относятся, в частности, пространственно-временное, пространственно-частотное, пространственно-поляризационное кодирование, а также сверхразрешение по направлению прихода сигнала в приемник. Именно обилие подходов к разделению сигналов обусловило столь долгую разработку стандартов на использование MIMO-систем в средствах связи.

Простейшая антенная система MIMO (IS) — это система из двух несимметричных вибраторов (монополей). Ориентированных, например, под углом $\pm 45^\circ$ относительно вертикальной оси. Такой угол поляризации ставит оба канала в равные условия, поскольку при горизонтально-вертикальной ориентации излучателей одна из поляризационных составляющих неизбежно получила бы большее затухание при распространении вдоль земной поверхности. Сигналы, излучаемые независимо каждым монополем, поляризованы взаимно ортогонально с достаточно высокой взаимной развязкой по кросс-поляризационной составляющей (не менее 20 дБ). Аналогичная антенная система используется и на приемной стороне. Этот подход позволяет одновременно передавать сигналы с одинаковыми несущими, модулированными различным образом. Принцип поляризационного разделения обеспечивает удвоение пропускной способности линии радиосвязи по сравнению со случаем одиночного монополя (в идеальных условиях прямой видимости при идентичной ориентации приемных и передающих антенн). Таким образом, по сути любую антенную систему с двойной поляризацией можно считать MIMO-системой.

Технология W-CDMA, используемая в сетях UMTS, подразумевает излучение на одной частоте сигналов с различными взаимно ортогональными псевдослучайными кодовыми последовательностями. Причем коррелятор, настроенными на определенную кодовую последовательность конкретного абонентского терминала, все другие внутрисистемные сигналы от терминала сети воспринимает как «белый» шум. Очевидно, что в этом случае при использовании технологии MIMO в сетях UMTS каждому антенному каналу ставится в соответствие определенный CDMA-код, и сигналы в каналах оказываются ортогональными.

В технологии OFDMA вместо высокоскоростной модуляции одной несущей применяется модуляция набора поднесущих, но с гораздо меньшей скоростью. Весь диапазон частот разбивается на несколько ортогональных частот. Входной поток данных делится на группы (символы), которые используются для одновременной модуляции каждой поднесущей. К символам добавляют защитные интервалы (паузы) как эффективное средство борьбы с меж-символьной интерференцией. Чтобы технология была действенной, число поднесущих частот в одном частотном канале должно быть достаточно большим — от десятков до тысяч. Так, в стандартах IEEE 802.11 a, g предусмотрено использование 52 поднесущих, в стандарте IEEE 802.16 — от 200 до 2048, в спецификации наземного цифрового телевизионного вещания DVB-T — 6817. Каждая из поднесущих модулируется посредством многоуровневой квадратурной модуляции. Выходной многочастотный сигнал синтезируют с помощью обратного быстрого преобразования Фурье.

Очевидно, что системы, использующие технологию OFDM, приспособлены для применения технологии MIMO, причем различными способами. Технология MIMO/OFDM предусмотрена стандартами IEEE 802.16, IEEE 802.11n и рядом других перспективных разработок в области беспроводных сетей передачи информации.

Технология MIMO была впервые использована в сетях UMTS для поддержки режима высокоскоростного доступа при передаче пакетов данных в линии «вниз» (HSDPA) в целях повышения максимальной скорости передачи данных с 10,8 Мбит/с до 20 Мбит/с. При этом использовались:

- укороченный временной фрейм (с временным интервалом передачи данных 2 мс);
- множественное кодирование при передаче данных;
- адаптивные схемы модуляции и кодирования (AMC) для передачи сигналов с модуляцией QPSK и 16QAM с быстрой обратной связью;
- ускоренная временная приоритизация данных;
- ускоренный гибридный механизм автоматического переспроса ответов HARQ, базирующийся на N-канальном протоколе с ожиданием (stopand-wait), использующем слежение с накоплением или приращение избыточности;
- антенная MIMO-система;
- новая перспективная схема построения приемника UMTS.

Выводы к главе I

В результате выполнения рекомендаций МСЭ по разработке единого глобального стандарта на технологию радиointерфейса системы 3G, из-за технической несовместимости радиointерфейсов и сетевых платформ, а также из-за конкуренции между производителями оборудования за технологическое лидерство не позволили МСЭ установить единой взаимно гармонизированный всемирный стандарт.

В результате МСЭ принял решение об одобрении семейства стандартов радиодоступа IMT-2000, в которое после совершенствования вошли пять стандартов радиointерфейсов.

Использование технологии модуляции OFDM существенно повышает спектральную эффективность систем беспроводного доступа WiMAX (IEEE

802.16e) МСЭ с 2007 года в семейство радиointерфейсов включил новый интерфейс IMT Advanced (с технологией OFDM).

В соответствии с рекомендациями МСЭ для радиointерфейса IMT-2000 выделена ряд полос частот в различных частотных диапазонах от 806 МГц до 2960 МГц. В Узбекистане для широкополосных систем WiMAX выделена полоса частот 698-716/718-746 МГц; 777-787/746-756 МГц и 788-798/758-768 МГц для организации на территории республики мобильной широкополосной беспроводной сети по технологии LTE. Кроме этого дополнительно для технологии LTE на вторичной основе следующие диапазоны частот 815-830 МГц / 860-875 МГц, 845-856/804-815 МГц.

Глава II. АРХИТЕКТУРА, УПРАВЛЕНИЕ РАДИОРЕСУРСАМИ И КАЧЕСТВОМ В СЕТИ LTE

1. Общая структура сети LTE

Создание конкурентной технологии построения сетей мобильной связи на основе сети мобильной связи WiMAX (стандарт IEEE 802.16e) активизировало усилия участников проекта 3GPP по разработке на основе технологии OFDM эволюционного варианта сети UMTS, названного LTE.

Сеть LTE состоит из двух важнейших компонентов: сети радиодоступа E-UTRAN и базовой сети SAE (System Architecture Evolution) (рис. 2.1).

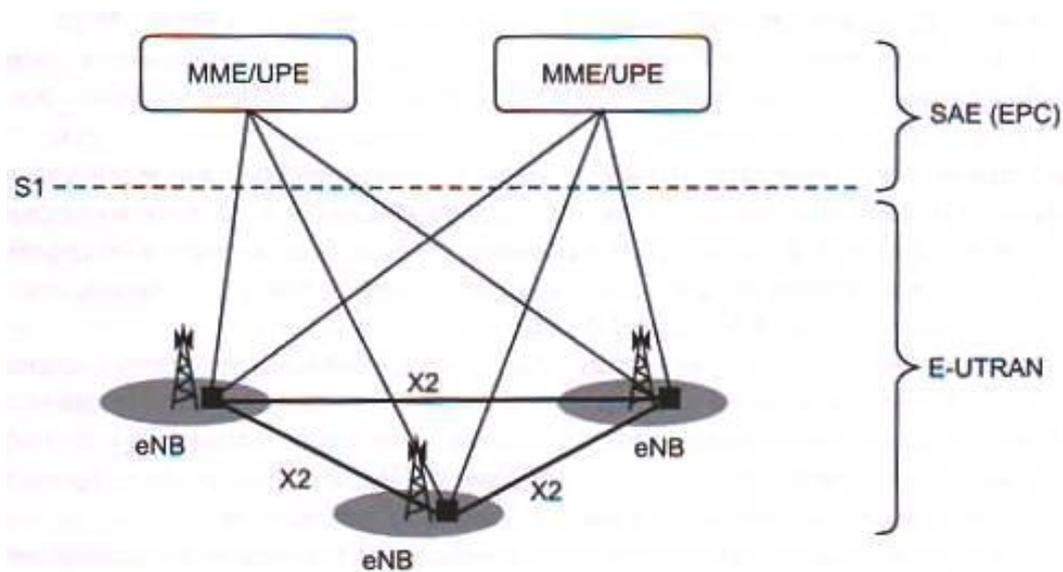


Рис. 2.1. Взаимодействие сети радиодоступа E-UTRAN и базовой сети SAE

Основными требованиями проекта 3GPP к сети SAE были: максимально возможное упрощение структуры сети и исключение дублирующих функций сетевых протоколов, характерных для системы UMTS.

Сеть радиодоступа E-UTRAN рассмотрена в ряде технических спецификаций, согласно которым она состоит только из базовых станций eNB (evolved Node B). Базовые станции eNB являются элементами полносвязной

сети E-UTRAN и соединены между собой по принципу «каждый с каждым» при помощи интерфейса X2. Интерфейс X2 поддерживает хэндовер мобильного терминала в состоянии LTE_ACTIVE. Каждая базовая станция имеет интерфейс S1 с базовой сетью SAE, построенной по принципу коммутации пакетов.

Базовая сеть SAE, иногда называемая сетью EPC (Evolved Packet Core), содержит узлы MME/UPC (4,7.8), состоящие из логических элементов MME и UPC. Логический элемент MME (Mobility Management Entity) отвечает за решение задач управления мобильностью абонентского терминала и взаимодействует с базовыми станциями eNB сети E-UTRAN с помощью протоколов плоскости управления C-plane (интерфейс S1-C). Логический элемент UPC (User Plane Entity) отвечает за передачу данных пользователей согласно протоколам плоскости пользователя U-plane и взаимодействует с eNB посредством интерфейса S1-U.

Благодаря интерфейсу S1 базовые станции соединены с несколькими узлами MME/UPC, что позволяет более гибко использовать сетевой ресурс. Такой интерфейс называют S1-flex.

Сеть LTE имеет следующие функциональные отличия от сети UMTS.

1. Базовые станции eNB выполняют функции управления радиоресурсами (Radio Resource Management — RRM): управление радиоканалами (Radio Bearer Control), управление доступом (Radio Admission Control), управление мобильностью (Connection Mobility Control), динамическое распределение ресурсов (Dynamic Resource Allocation). Таким образом, в сети радиодоступа E-UTRAN базовые станции eNB управляют протоколами радиointсрфейса, комбинируя выполнение функций базовых станций Node B и большинство функций контроллера RNC сети UMTS.

2. Сетевой элемент управления мобильностью MME отвечает за распределение сообщений вызова (paging) к базовым станциям eNB. Кроме того, MME управляет протоколами плоскости управления: назначения

идентификаторов абонентских терминалов, обеспечения безопасности сети, проверки подлинности сообщений абонентов и управления роумингом.

3. Сетевой элемент плоскости пользователя UPE выполняет сжатие заголовков IP-протоколов, шифрование потоков данных, терминацию пакетов данных плоскости пользователя, коммутацию пакетов данных при обеспечении мобильности пользователя. Кроме того, UPE управляет протоколами пользовательского уровня, например, хранением текущего статуса абонентского терминала (АТ), прерыванием состояния LET_IDLE на уровне абонентских терминалов.

Основные протоколы интерфейса S1 плоскостей C-plane и U-plane сети LTE представлены на рис. 2.2.

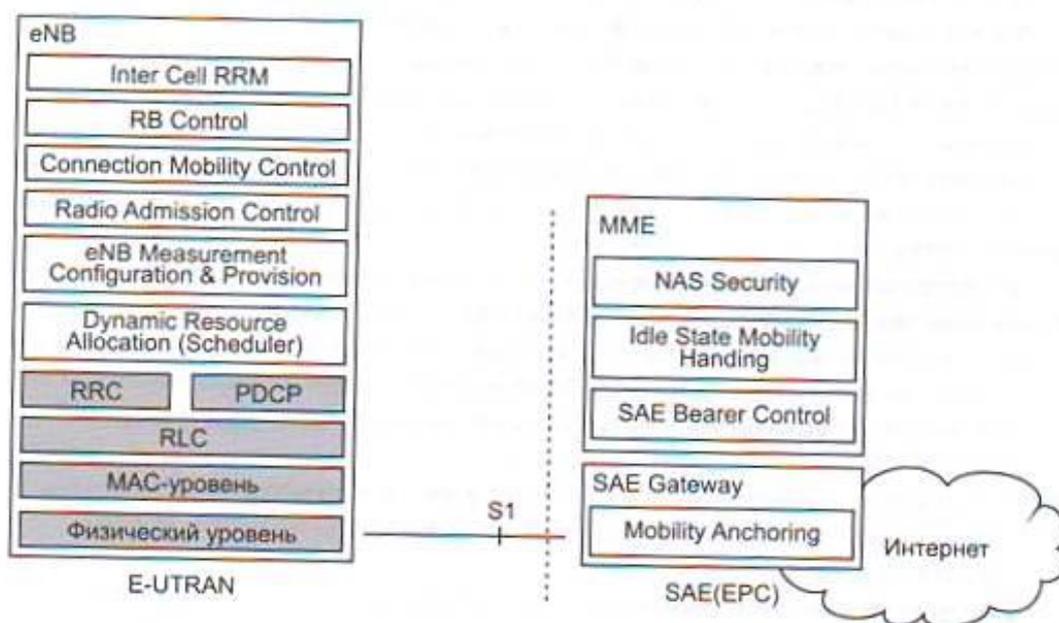


Рис. 2.2. Протоколы интерфейса S1 сети LTE

Одной из важнейших задач управления в сети LTE является максимально эффективное использование радиоресурсов. Данная задача решается с помощью совокупности функций управления радиоресурсами RRM (управление радиоресурсами сети E-UTRAN, управление службой передачи данных в радиоканале, управление мобильностью, управление

доступом, динамическое распределение ресурсов) и с помощью протокола управления радиоресурсами RRC. Требования к функциям управлению радиоресурсами приведены в TR 25.913.

Управление радиоресурсами сети E-UTRAN (Inter Cell RRM) обеспечивает управление ресурсами группы сот в целях повышения эффективности использования частотного спектра и минимизации помехового взаимного влияния абонентских терминалов и базовых станций, а также поддержку мобильности.

Управление службой передачи данных в радиоканале (RB Control) реализовано в базовых станциях eNB сети E-UTRAN и обеспечивает установление, поддержание и освобождение радиоканалов передачи данных с заданными параметрами в сети E-UTRAN. Основными задачами являются контроль и управление всеми активными сессиями передачи данных с учетом параметров качества услуг (QoS), выделение ресурсов для вновь активируемых сессий.

Управление мобильностью (Connection Mobility Control) позволяет выбирать обслуживающую базовую станцию eNB для мобильного терминала, передавать обслуживание мобильного терминала от одной базовой станции eNB (хэндовер) к другой. Выбор обслуживающей eNB осуществляется мобильным терминалом на основе собственных измерений в состоянии RRC_CONNECTED и сравнения полученных измерений с установленными пороговыми значениями. Хэндовер реализован на основе анализа измерений как мобильного терминала, так и базовой станции eNB, а также текущей загрузки обслуживающей и соседних сот, политикой оператора по регулированию трафика.

Поддержку мобильности абонентского терминала в сети SAE обеспечивает логический элемент MME. Основными функциями MME являются:

- управление мобильностью абонентского терминала, находящегося в состоянии RRC_IDLE (Idle State Mobility Handling);

- управление безопасностью мобильной связи (NAS Security) в соответствии с протоколами, относящимися к группе протоколов «уровня без доступа» и обеспечивающими, например, аутентификацию пользователей, управление ключами шифрования данных;

- управление службой передачи данных сети SAE (SAE Bearer Control).

Параметры функций управления радиоресурсами цент E-UTRAN (Inter Cell RRM), управления службой передачи данных в радиоканале (RB Control) и управления мобильностью (Connection Mobility Control) могут быть кастомизированы в соответствии с требованиями оператора.

Основной задачей управления доступом (Radio Admission Control) является формирование решений о предоставлении доступа мобильному терминалу к сети E-UTRAN. Данная задача решается на основе многокритериального анализа загрузки сети радиодоступа, требований мобильного терминала к параметрам QoS.

Динамическое распределение ресурсов (Dynamic Resource Allocation; Scheduler) отвечает за планирование очередности передачи пакетов данных и позволяет динамически выделять и перераспределять ресурсы сети радиодоступа, включая каналные ресурсы, мощность излучения базовых станций, ресурсы буферизации при обработке пакетов данных с учетом параметров QoS.

Протокол управления радиоресурсами RRC плоскости C-plane обеспечивает:

- вещание служебной информации в соответствии с протоколами, относящимися к группам протоколов «уровня с доступом» и «уровня без доступа» (соответственно AS — Access Stratum и NAS — Non-Access Stratum);

- пейджинг мобильного терминала;
- установление, поддержание и закрытие RRC-соединений между абонентским терминалом и сетью E-UTRAN;

- управление ключами шифрования;

- установление, поддержание и закрытие служб передачи данных в радиоканале (Radio Bearers) типа «точка-точка» и «точка-многоточка» с заданными параметрами QoS;

- мобильность абонентских терминалов.

Кроме того, протокол RRC обеспечивает выполнение ряда других функций.

Протокол сходимости пакетных данных (Packet Data Convergence Protocol — PDCP) плоскостей U-plane и C-Plane обеспечивает устранение избыточности (сжатие) служебной информации, объем которой может быть соизмерим с объемом полезной информации, передаваемой в пакетах данных, а также шифрование/дешифрование данных.

Протокол управления радиоканалом (Radio Link Control — RLC) обеспечивает:

- сегментацию и компоновку пакетов данных протоколов более высокого уровня (Protocol Data Unit — PDU) переменной длины в меньшие блоки полезной нагрузки (Packet Unit — PU); размер блока PU определяется в соответствии со скоростью передачи информации в радиоканале;

- конкатенцию (сочленение) коротких пакетов PDU верхнего уровня;

- заполнение остатка поля данных блока PU, если сочленение неприемлемо;

- передачу данных пользователя с подтверждением и неподтверждением приема в соответствии с параметрами QoS;

- исправление ошибок методом повторной передачи (ARQ) пакетов данных;

- сохранение на более высоком уровне порядка доставки пакетов PDU при передаче данных с подтверждением приема:

- обнаружение дублирования пакетов PDU для доставки их на более высокий уровень только один раз;

- управление скоростью передачи данных;

- контроль порядковых номеров пакетов.

2. Архитектура базовой сети SAE

Архитектура базовой сети SAE позволяет осуществлять дальнейшую эволюцию сетей 3G в направлении получения более высоких скоростей передачи данных, обеспечения низких задержек, а также оптимизации передачи данных на основе разнообразных технологий радиодоступа. Основным отличием базовой сети SAE от базовой сети системы UMTS является максимально упрощенная структура и отсутствие дублирующих функций сетевых протоколов.

Архитектура базовой сети SAE представляет собой PS-домен системы LTE, который предоставляет как голосовые услуги, так и всю совокупность IP-услуг на основе технологий пакетной коммутации данных. Первая версия архитектуры сети SAE представлена в технической спецификации 3GPP TS 22.978 «Эволюция архитектуры системы». В основу построения базовой сети SAE положена концепция «все через IP» (all-IP или AIPN — All over IP Network) и то обстоятельство, что доступ к базовой сети SAE может осуществляться как через сети радиодоступа второго и третьего поколений (например, сети UTRAN, GERAN), так и через сети радиодоступа неевропейских технологий, не стандартизированные проектом 3GPP (сети не-3GPP), например, сети IEEE: Wi-Fi, WiMAX, а также через сети, использующие проводные IP-технологии (например, сети ADSL+, FTTH и др.).

Эталонная архитектура базовой сети SAE с указанием интерфейсов взаимодействия с внешними сетями показана на рис. 2.3. Согласно этой архитектуре функции протоколов плоскости управления узла SGSN сети UMTS становятся функциями элемента управления мобильностью MME. Функции контроллера RNC, которые не выполняет базовая станция eNB сети E-UTRAN, и функции протоколов плоскости пользователя узлов SGSN и GGSN реализуются модулем UPE и шлюзовым узлом «привязки» 3GPP

Anchor сети SAE. Этот узел предназначен для присоединения сетей 2G/3G к сети LTE. В состав SAE входит также шлюзовый узел привязки SAE Anchor, который служит для присоединения к сети SAE сетей стандартов 3GPP (GSM/UMTS) и стандартов не-3GPP (Wi-Fi и WiMAX). Узлы привязки 3GPP Anchor и SAE Anchor образуют единый узел привязки IASA (Inter Access System Anchor) для присоединения внешних IP-сетей.

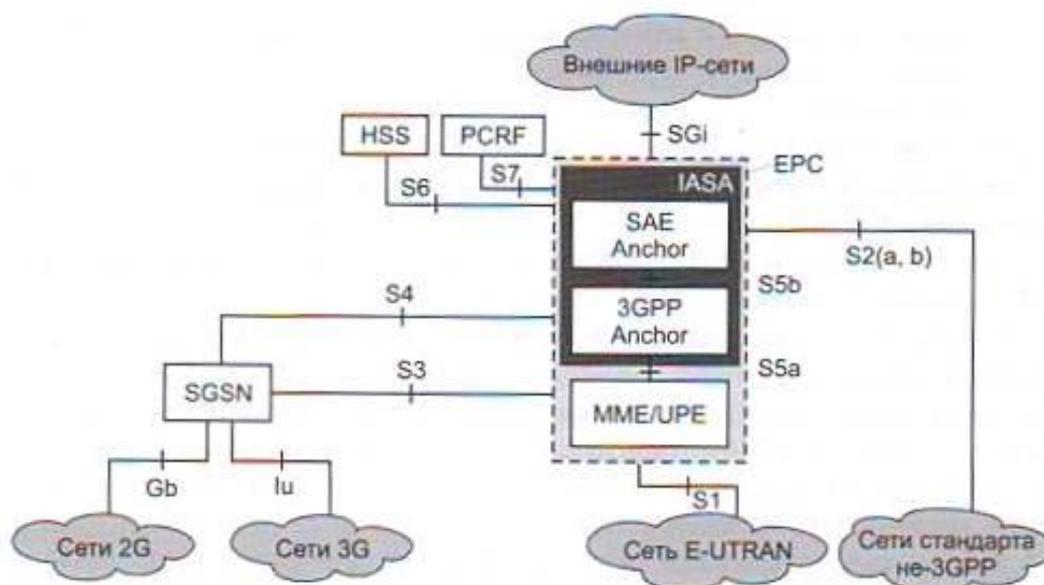


Рис. 2.3. Эталонная архитектура базовой сети SAE

Совокупность логических сетевых элементов MME/UE, IASA, состоящего из узлов SAE Anchor и 3GPP Anchor (рис. 2.3), образует базовую пакетную сеть (Evolved Packet Core — EPC). Данные логические элементы рассматривались в основном на начальных стадиях разработки стандартов сети LTE. Более детальные исследования, направленные на практическую реализацию архитектуры EPC, определили новые сетевые элементы: обслуживающий шлюз S-GW (Serving GW) и шлюз взаимодействия с пакетными сетями P-GW (PDN GW), а также логический элемент MME, функционирующий отдельно от элемента UE. Шлюзы S-GW и P-GW физически могут быть реализованы в составе одного сетевого элемента aGW (Access GW).

Краткое описание основных интерфейсов сети SAE приведено в табл.

2.1.

Таблица 2.1. Основные интерфейсы сети SAE

Интерфейс	Описание интерфейса
S1	Интерфейс, предоставляющий доступ к сети радиодоступа E-UTRAN для передачи данных протоколов плоскостей пользователя и управления. Позволяет иметь отдельную и комбинированную аппаратную реализацию элементов MME и UPE
S2a	Интерфейс между узлом IASA и фиксированными IP-сетями стандарта не-3GPP. Обеспечивает передачу данных протоколов плоскости пользователя и поддержку функций управления и мобильности. Включает в себя интерфейсы S2a, S2b и S2c (табл. 3.2)
S3	Интерфейс между элементами MME/UPE и узлом SGSN. Обеспечивает управление межсетевым хэндовером абонентских терминалов в сетях E-UTRAN и UTRAN
S4	Интерфейс между узлом 3GPP Anchor и узлом SGSN. Обеспечивает передачу данных плоскости пользователя и поддержку функций управления и мобильности. Основан на интерфейсе Gn между узлами SGSN и GGSN сети UMTS
S5a	Интерфейс между элементом MMEAJPE и узлом 3GPP Anchor. Обеспечивает передачу данных протоколов плоскости пользователя и поддержку функций управления и мобильности
S5b	Интерфейс между узлами 3GPP Anchor и SAE Anchor. Обеспечивает передачу данных протоколов плоскости пользователя и поддержку функций управления и мобильности
S6	Интерфейс, обеспечивающий доступ к домашней базе данных пользователей (HSS) для аутентификации и авторизации пользователей (интерфейс AAA)
S7	Интерфейс, обеспечивающий управление установлением соединений с заданными параметрами QoS на основе политики сети и тарификацию (Police and Charging Rules Function – PCRF)
SGi	Интерфейс между узлом IASA и внешними сетями с пакетной передачей данных. Эти сети могут принадлежать как разным операторам, так и одному оператору сотовой связи для предоставления, например, услуг подсистемы IMS. Этот интерфейс основан на интерфейсе GI между узлами GGSN и внешними IP-сетями

Основные требования к архитектуре сети LTE можно обобщить следующим образом:

1. Поддержка сетей радиодоступа как стандартов 3GPP, так и стандартов не-3GPP. При этом информация о возможных технологиях доступа должна передаваться на абонентский терминал с указанием приоритетов технологий, установленных оператором.

2. Полная совместимость базовой сети SAE с базовыми сетями стандартов 3GPP, начиная с Release 6.

3. Обеспечение минимальных задержек передачи данных согласно протоколам плоскости управления C-plane. Например, интервал времени перехода мобильного терминала из состояния Idle (терминал находится в состоянии Attached протокола GMM, выделен IP-адрес, терминал зарегистрирован в подсистеме IMS) в состояние начала приема/передачи данных по протоколам U-plane должно быть не более 200 мс.

4. Четкое функциональное разделение между элементами сети SAE, позволяющее избежать дополнительных задержек передачи данных согласно протоколам C-plane из-за дублирования функций.

5. Установление IP-соединения с индивидуальными параметрами QoS при минимальном количестве транзакций.

6. Функция управления мобильностью сети LTE должна решать задачи управления мобильностью как в сети E-UTRAN, так и между сетями E-UTRAN и сетями радиодоступа других типов.

7. Функция управления мобильностью сети LTE должна взаимодействовать с терминалами различных типов: фиксированными, номадически мобильными и мобильными.

8. Функция управления мобильностью сети LTE должна предоставлять оператору сети LTE возможность управлять сетями доступа, используемыми абонентами.

9. Процедуры поддержки мобильности терминалов (хэндовер) в сетях E-UTRAN. между сетями E-UTRAN и другими сетями радиодоступа

3GPP (процедура Inter-RAT Handover), а также между сетями E-UTRAN/3GPP и сетями радиодоступа не-3GPP должны быть реализованы с минимальной потерей пакетов данных в режиме реального времени (например, для приложений VoIP) и в режиме, инвариантном времени (например, для просмотра web-ресурса).

10. Процедура обновления данных о местоположении абонентского терминала в сети должна обеспечивать минимальную загрузку каналов сигнализации.

11. Архитектура сети SAE должна обеспечивать оптимальную маршрутизацию при нахождении абонента в межсетевом роуминге.

12. В целях предоставления гибкого доступа к сети LTE пользователям, находящимся в роуминге, архитектура сети SAE должна обеспечивать доступ через различные сети беспроводного широкополосного доступа WLAN в соответствии с существующими договорами доступа между оператором визитной сети VPLMN и визитными операторами сети WLAN, причем такие договоры между визитными операторами сети WLAN и оператором домашней сети HPLMN не требуются.

13. Поддержка IP-протоколов различных версий (IPv4 и IPv6), а также режима вещания IP-Multicast.

14. Обеспечение такого уровня безопасности пользователей (аутентификация, идентификация, шифрование данных), который был бы не ниже, чем в существующих сетях 3GPP с пакетной коммутацией и коммутацией каналов. Процедура аутентификации не должна зависеть от типа и технологии сети доступа.

15. Доступ к сетям LTE должен предоставляться абонентам согласно существующим USIM-картам (Release 99). При этом база данных HSS должна соответствовать Release 5.

16. Поддержка всех существующих в настоящее время принципов тарификации.

17. Архитектура SAE должна обеспечивать гибкое использование ресурсов сети, когда все элементы сети (узлы) рассматриваются как единый распределенный ресурс. Примером стала структура интерфейса Iu-flex, определенная в Release 5, согласно которой контроллер RNC может иметь интерфейс с несколькими узлами SGSN/MGW.

3. Основные функции базовой сети SAE

В перечне функциональных возможностей базовой сети SAE можно выделить несколько основных функций:

- управление доступом в сеть (Network Access Control);
- маршрутизация и транспортировка пакетов данных (Packet Routing and Transfer);
- управление мобильностью абонентского терминала (Mobility Management):
- обеспечение безопасности (Security);
- управление радиоресурсами сети (Radio Resource Management);
- управление сетью (Network Management);
- выбор функциональных элементов сети;
- функции, связанные с использованием в сети IP-протокола.

Каждая из этих функций может включать в себя несколько частных функций.

Функция управления доступом в сеть. С помощью данной функции абонентский терминал присоединяется к базовой сети SAE. При этом выполняется ряд частных функций, представленных ниже.

Функция выбора сети/сети доступа дает возможность абонентскому терминалу выбирать сеть мобильной связи или сеть доступа, посредством которой будет осуществляться IP-соединение абонентского терминала с сервисными платформами (серверами приложений). Выбор сети/сети доступа зависит прежде всего от используемых этими сетями технологий. Для сетей

стандартов 3GPP принципы выбора сети определены в технической спецификации TS 23.122, принципы выбора сети доступа — в технических спецификациях TS 36.300, TS 43.022 и TS 25.304. Для сетей стандартов не-3GPP, базирующихся на IP-протоколе, принципы выбора сети/сети доступа определены в технической спецификации TS 23.402.

Функция аутентификации и авторизации позволяет проверить подлинность абонента, определить доступность абоненту сетевых услуг в соответствии с его профилем и выполнить авторизацию мобильного терминала абонента, например назначить IP-адрес, выделить сетевые ресурсы и активировать сетевую службу передачи данных (виртуальный сетевой канал — EPS Bearer). Функция аутентификации тесно связана с функцией управления мобильностью абонента.

Функция контроля доступа требуется для определения доступности запрашиваемых ресурсов сети и резервирования этих ресурсов согласно поступившему запросу в целях дальнейшего использования.

Функция применения сетевых политик и правил тарификации (PCEF) обеспечивает управление предоставлением услуг абоненту в соответствии с требуемым качеством услуг и тарификацию в соответствии с правилами, полученными от функции PCRF биллинговой системы. Согласно спецификации TS 23.203 функция PCEF решает следующие основные задачи:

- обнаружение и регистрация потоков пакетов данных пользователей; при регистрации потоки пакетов данных пользователей отождествляются с IP-адресами и портами источника и получателя, с требуемым качеством обслуживания в соответствии с идентификаторами протокола IP (идентификатором Type of Service протокола IPv4 и идентификатором Traffic Class протокола IPv6);
- измерение объема и параметров передачи (скорости, задержки передачи) пакетов данных;
- управление качеством передачи данных;

- применение правил тарификации в реальном масштабе времени с учетом качества передачи данных.

Функция законного перехвата сообщений абонентов позволяет предоставить уполномоченным государственным организациям доступ к частной информации (например, к телефонным разговорам, передаваемым данным, сообщениям SMS, MMS и сообщениям электронной почты). Данная функция реализуется как оператором сети LTE, так и провайдерами сети доступа, провайдерами услуг. Согласно российскому законодательству данная функция является функцией системы обеспечения оперативно-розыскных мероприятий (СОРМ).

Функция маршрутизации и транспортировки пакетов данных. С помощью функции маршрутизации осуществляется определение маршрута передачи и транспортировка пакетов данных как внутри одной сети мобильной связи, так и между несколькими сетями. Маршрут транспортировки пакетов данных устанавливается на основе таблиц маршрутизации и представляет собой перечень сетевых узлов: исходящий узел, промежуточные узлы и узел назначения. Сеть SAE базируется на IP-протоколе и вследствие этого использует стандартные механизмы маршрутизации и транспортировки данных IP-сетей.

При выполнении функции маршрутизации и транспортировки пакетов данных реализуется ряд частных функций.

Функция сжатия IP-заголовка предназначена для оптимизации использования пропускной способности и ресурсов сети радиодоступа за счет уменьшения объема передаваемых служебных данных путем применения специальных механизмов сжатия IP-заголовка.

Функция проверки (сканирования) пакетов данных позволяет сети выполнять проверку типа IP-адреса, используемого мобильным терминалом: адреса типа IPv4, либо адреса типа IPv4 с префиксом адреса IPv6 (например, ::ffff:IPv4), либо адреса типа IPv6.

Функция обеспечения безопасности. При выполнении функции обеспечения безопасности в сети LTE решаются следующие основные задачи):

- защита от несанкционированного использования услуг сети LTE с помощью аутентификации пользователя и подтверждения возможности оказания запрошенной услуги;
- обеспечение конфиденциальности аутентификации абонента с помощью использования временных идентификаторов и ключей шифрования;
- обеспечение конфиденциальности абонентских данных с помощью шифрования;
- обеспечение аутентификации данных, передаваемых в сообщениях сигнализации;
- обеспечение аутентификации сети мобильным терминалом;
- идентификация мобильного терминала.

Рассмотрим подробнее последнюю процедуру.

Идентификация мобильного терминала выполняется модулем управления мобильностью MME, и/или домашним сервером абонентских данных HSS, и/или пакетным шлюзом P-GW с помощью регистра идентификации (Equipment Identity Register — EIR) и предназначена для проверки подлинности используемого оборудования мобильного терминала. Проверка подлинности мобильного терминала позволяет исключить использование в сети украденных либо дефектных мобильных терминалов. Идентификация мобильного терминала инициируется модулем MME путем передачи международного идентификатора мобильного терминала IMEI регистру идентификации EIR для последующей проверки подлинности терминала, а затем анализа ответа регистра EIR для выполнения соответствующего действия (например, передачи команды «режекция присоединения», если регистр EIR определил, что мобильный терминал находится в «черном списке»).

Процедура проверки подлинности мобильного терминала UE показана на рис. 2.4.



Рис. 2.4. Процедура проверки подлинности мобильного терминала

Отметим особенность идентификации мобильного терминала в условиях роуминга. Идентификация мобильного терминала выполняется регистром EIR домашней сети в случаях, когда визитная сеть получает от мобильного терминала запрос на присоединение Initial Attach (за исключением случая, когда запрос Initial Attach связан с выполнением процедуры хэндовсра), а также в случае реализации процедуры обновления данных о зоне местоположения мобильного терминала (Tracking Area Update — TAU) в сети E-UTRAN, если до этого мобильный терминал находился в сети UTRAN/CERAN и обслуживающий его ранее узел SGSN не предоставил данные об идентификации мобильного терминала.

Функция управления мобильностью. С помощью данной функции обеспечивается отслеживание расположения мобильного терминала в сети E-UTRAN с точностью до одной зоны местоположения терминала (Tracking Area — TA) либо группы зон местоположения в соответствии с перечнем зон местоположения (Tracking Area List — TAL). Функция включает в себя несколько частных функций.

Функция управления мобильностью терминала в режиме ECM-IDLE. Режим ECM-IDLE (EPS Connection Management IDLE) характеризуется отсутствием активного соединения мобильного терминала с сетью LTE. при котором обеспечивается передача пакетов данных пользователя. В данном

режиме расположение мобильного терминала в сети E-UTRAN известно модулю MME с точностью до группы зон местоположения согласно TAL.

Функция управления перечнем зон (треков) местоположения мобильного терминала в сети E-UTRAN позволяет базовой сети SAE запоминать и актуализировать не одну зону местоположения мобильного терминала TA, а группу зон местоположения в зависимости от накопленной статистики перемещения абонента, что в конечном счете позволяет уменьшить частоту выполнения процедуры обновления данных о местоположении TAU.

Функция управления хэндоверам в сети E-UTRAN позволяет обеспечить непрерывность IP-сессии пользователя при перемещении мобильного терминала между базовыми станциями eNB. Управление хэндовером осуществляется сетевым элементом MME, являющимся функциональным модулем привязки внутрисетевой мобильности (Inter-eNodeB Mobility Anchor).

Функция управления межсетевым хэндовером в сетях 3GPP позволяет обеспечить непрерывность IP-сессии пользователя при перемещении мобильного терминала между сетями 3GPP. Управление межсетевым хэндовером осуществляется сетевым элементом MME, являющимся функциональным модулем «привязки» межсетевой мобильности (Inter-3GPP Mobility Anchor).

Функция уменьшения трафика сигнализации (Idle mode Signalling Reduction — ISR) мобильного терминала в режиме ECM-IDLE применительно к сети E-UTRAN и в режиме GPRS STANDBY применительно к сети GERAN/UMTS позволяет уменьшить объем служебных сообщений при обеспечении дискретной мобильности терминала («перевыбор» соты) между сетями E-UTRAN и GERAN/UTRAN одного оператора. Уменьшение объема служебных сообщений при перевыборе сот со сменой технологии доступа (Inter-RAT Cell-Reselection) достигается за счет регистрации мобильного терминала одновременно в узлах MME и SGSN, взаимодействующих с

обслуживающим шлюзом S-GW. Это позволяет осуществлять перс вы бор сот без выполнения процедуры TAU и процедуры обновления данных о зоне маршрутизации (Routing Area Update — RAU) в сети GERAN/UTRAN.

Функция ISR активируется и деактивируется на основе решений модулей и узлов, входящих в базовую сеть SAE. Эти решения передаются абонентскому терминалу в виде соответствующих команд.

Функция ограничения мобильности позволяет ограничить мобильность терминала и выполняется следующими элементами сети LTE: мобильным терминалом, сетью радиодоступа E-UTRAN и базовой сетью SAE. Ограничение мобильности абонентского терминала, находящегося в режиме ECM-IDLE. реализуется мобильным терминалом на основе информации, получаемой от базовой сети SAE. Ограничение мобильности абонентского терминала, находящегося в режиме ECM-CONNECTED, выполняется сетью радиодоступа E-UTRAN и базовой сетью SAE на основе перечня ограничений хэн- довера (Handover Restriction List — HRL).

Функция индикации поддержки мультимедийных речевых услуг подсистемы IMS выполняется сетью мобильной связи и позволяет передавать мобильному терминалу идентификатор поддержки пакетной передачи речи с помощью подсистемы IMS. Данный идентификатор передается в процессе выполнения процедуры присоединения мобильного терминала к сети LTE либо в процессе выполнения процедуры TAU. Обслуживающая сеть LTE предоставляет эту индикацию на основе сетевых политик, а также поддерживаемой схемы организации голосовых вызовов (Single Radio Voice Call Continuity— SRVCC).

Функция управления радиоресурсами сети. Функция управления радиоресурсами связана с распределением ресурсов сети E-UTRAN между мобильными терминалами. Стратегия сети E-UTRAN по управлению радиоресурсами основывается на информации о конкретных типах абонентов, мобильных терминалов и приложений.

Для поддержки управления радиоресурсами в сети E-UTRAN модуль MME обеспечивает передачу базовой станции eNB через интерфейс S1 параметра RFSP (RAT/Frequency Selection Priority), определяющего приоритет выбора радиотехнологии и приоритет выбора частоты. Параметр RFSP используется базовой станцией для реализации стратегии сети по управлению радиоресурсами. Значение параметра является индивидуальным для абонентского терминала и используется всеми службами обмена данными сети радиодоступа E-UTRAN в следующих случаях:

- для перевыбора соты мобильными терминалами в режиме IDLE в соответствии с установленным приоритетом:

- для принятия решения по переводу мобильных терминалов, находящихся в активном режиме (active mode), на другие частотные каналы или другие технологии радиодоступа.

Сообщение, передаваемое в базовую станцию по интерфейсу S1 и содержащее параметр RFSP, детально описано в технической спецификации TS 36.413.

Функция управления сетью. Эта функция выполняется системой поддержки эксплуатации сети (OAM&P) и включает в себя несколько частных функций.

Функция распределения нагрузки между модулями MME обеспечивает возможность перенаправлять управление абонентским терминалом с одного модуля MME на другой для распределения нагрузки между модулями. Это достигается установкой такого весового коэффициента распределения нагрузки (weight factors) для каждого модуля MME, при котором вероятность выбора модулем MME базовой станции пропорциональна этому коэффициенту. Весовой коэффициент устанавливается с учетом производительности модулей MME и передается базовой станции путем обмена служебными сообщениями с MME посредством интерфейса S1 (согласно технической спецификации TS 36.413). Если в сети используется

шлюз поддержки персональных (домашних) базовых станций HeNB GW. то весовой коэффициент передается от модуля MME к этому шлюзу.

Функция перераспределения нагрузки между модулями MME обеспечивает возможность передавать обслуживание мобильного терминала от одного MME другому в процессе обслуживания.

Функция управления перегрузками в модуле MME определяет механизмы, позволяющие избегать возникновения перегрузок в сети. Эти механизмы в соответствии с техническими спецификациями TS 36.300 и TS 36.413 используют сообщения протоколов уровня NAS для отклонения запросов предоставления ресурсов, поступающих от мобильных терминалов.

Устранение перегрузки сети достигается с помощью сообщений OVERLOAD START, передаваемых модулем MME базовым станциям. С помощью сообщений OVERLOAD START модуль MME может посылать на базовую станцию следующие команды:

- отказать в установлении RRC-соединений мобильным терминалам, запрашивающим ресурсы сети (за исключением мобильных терминалов, запрашивающих ресурсы сети для вызова экстренных служб);
- отказать в установлении RRC-соединений мобильным терминалам, запрашивающим ресурсы сети для выполнения процедур поддержки мобильности.

Функция выбора узлов сети. Эта функция включает в себя следующие частные функции: функцию выбора шлюза P-GW; функцию выбора обслуживающего шлюза S-GW; функцию выбора модуля MME; функцию выбора сетевого узла SGSN и функцию выбора функционального элемента PCRF.

Функция сети SAE, связанная с использованием IP-протокола. Эта функция включает в себя следующие частные функции.

Функция доменных имен (Domain Name System — DNS) описана в спецификации RFC 1034. она позволяет устанавливать соответствие между логическим именем шлюза P-GW и его IP-адресом.

Функция динамической конфигурации хостов (Dynamic Host Configuration Function — DHCP) позволяет выделять мобильным терминалам динамические IP-адреса. Возможности данной функции детально изложены в спецификациях RFC 2131, RFC 3736, RFC 3633 и RFC 4039.

4. Протоколы управления радиоресурсами в сетях E-UTRAN

Управление радиоресурсами сети радиодоступа E-UTRAN осуществляется в соответствии с протоколом RRC, который обеспечивает выполнение следующих основных задач.

1. Вещание абонентским терминалам служебной системной информации:

- информации протоколов уровня NAS;
- информации протоколов уровня AS, используемой абонентскими терминалами при их функционировании в соответствии с различными состояниями протокола RRC (например, в состоянии RRC_IDLE передаются параметры выбора и переВыбора сот, информация о соседних сотах, в состоянии RRC_CONNECTED — параметры конфигурации клип лов передачи данных).

2. Управление RRC-соединением:

- установление, модификация параметров и закрытие RRC-соединений, включая назначение и изменение временного идентификатора абонентского терминала в соте C-RNTI (Cell Radio Network Temporary Identifier);
- пейджинг абонентского терминала;
- установление, модификация параметров и освобождение каналов передачи данных сигнализации и пользователя;
- обеспечение безопасности обмена данными (шифрование данных);

– обеспечение мобильности RRC-соединения (хэндовер с сохранением и сменой рабочих частот);

– управление параметрами конфигурации протоколов повторной передачи данных ARQ и HARQ, параметрами прерывистой передачи/приема данных DTX/DRX;

– управление качеством передачи данных и каналах линий «шип» и «вверх» в зависимости от службы (канала) передачи данных RB.

3. Поддержка мобильности (передача обслуживания) абонентского терминала в сетях с различными технологиями сети радиодоступа (Inter-RAT Mobility).

4. Управление параметрами мониторинга и инициация измерений оборудованием абонентских терминалов; формирование отчетов об измерениях.

5. Управление параметрами каналов вещания в режимах **Multicast** (вещание заданной группе абонентов) и Broadcast (вещание всем абонентам в соте).

Пример состояний протокола RRC абонентского терминала в сетях E-UTRAN и UTRAN приведен на рис. 2.5.

Согласно технической спецификации TR 25.813 протоколом RRC в сети E-UTRAN предусмотрено всего два состояния абонентского терминала: RRC_IDLE и RRC_CONNECTED, в отличие от пяти состояний абонентского терминала сети UTRAN (IDLE, CELL_FACH, CELL_DCH, CELL_PCH/URA_PCH). Уменьшение количества состояний протокола RRC в сети E-UTRAN связано прежде всего с упрощением структуры транспортных каналов. Так, например, в сети E-UTRAN предусмотрено использование только совмещенных транспортных каналов. Отсутствие транспортных каналов FACH и DCH устраняет необходимость состояний CELL_FACH и CELL_DCH.

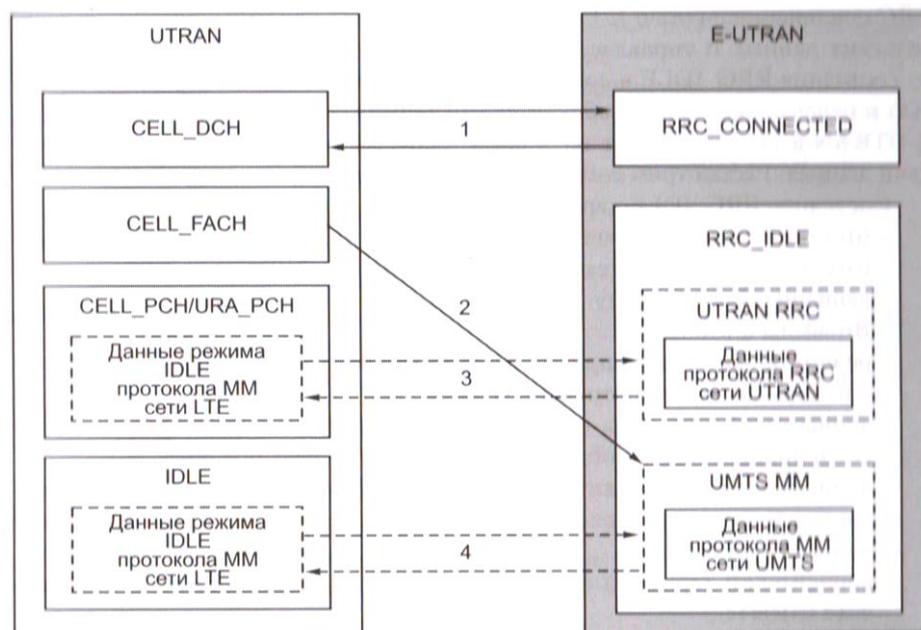


Рис. 2.5. Состояния протокола RRC абонентского терминала в сетях UTRAN и E-UTRAN

В сети E-UTRAN главным различием состояний абонентского терминала согласно протоколу RRC является наличие/отсутствие RRC-соединения мобильного терминала с сетью E-UTRAN. В состоянии RRC_IDLE абонентский терминал не имеет RRC-соединения с сетью E-UTRAN и осуществляет лишь прием широковещательной системной информации, прием сигналов вызова (paging), а также поддерживает мобильность путем переВыбора сот. При этом режим прерывистого приема DRX управляется протоколами уровня без доступа NAS. В состоянии RRC_CONNECTED абонентский терминал имеет RRC-соединение с сетью E-UTRAN, осуществляет прием/передачу пользовательских данных и управляет хэндовером. Переход абонентского терминала из состояния RRC_IDLE в состояние RRC_CONNECTED контролируется сетью и означает выделение абонентскому терминалу части радиоресурса сети E UTRAN в зависимости от загрузки и требуемых параметров качества передачи данных. Рассмотрим состояния протокола RRC более подробно.

Состояние RRC_IDLE характеризуется следующими особенностями:

- отсутствие RRC-соединения абонентского терминала с сетью E-UTRAN (отсутствие RRC-контекста в базовой станции eNB);
 - вещание абонентскому терминалу служебной информации в режимах Broadcast и Multicast;
 - режим прерывистого приема DRX абонентского терминала управляется с использованием протоколов уровня NAS;
- абонентский терминал осуществляет мониторинг параметров соседних сот и поддерживает мобильность, выполняя переВыбор сот;
- абонентский терминал контролирует совмещенные каналы линии «вниз» и выделяет, предназначенные для абонентского терминала данные сигнализации;
 - абонентский терминал имеет уникальный временный идентификатор и соте C-RNTI.

Состояние RRC_CONNECTED характеризуется следующим: абонентский терминал имеет RRC-соединение с сетью E-UTRAN (наличие RRC-контекста в базовой станции eNB);

- сеть E-UTRAN контролирует местоположение абонентского терминала с точностью до соты;
- абонентский терминал может передавать и/или принимать данные в режиме «точка-точка» (Unicast); -абонентский терминал может принимать данные в режимах Broadcast и Multicast;
- сеть E-UTRAN поддерживает хэндовер;
 - абонентский терминал осуществляет мониторинг параметров соседних сот, передает в сеть H-UTRAN отчеты об измерениях и поддерживает мобильность;
 - режим прерывистого приема/передачи DRX/DTX абонентского терминала управляется с использованием протоколов более низкого уровня (протоколов уровня с доступом AS) сети E-UTRAN; при этом обеспечивается эффективное расходование мощности передачи абонентского терминала и эффективное использование ресурсов сети E-UTRAN;

- абонентский терминал контролирует данные сигнализации совмещенных каналов, выделяя данные сигнализации, предназначенные для него;
- абонентский терминал передает базовой станции eNB отчеты об измеренных параметрах качества передачи данных. Пример установления RRC-соединения приведен на рис. 2.6.

К сетям LTE предъявляется важное требование по осуществлению передачи обслуживания абонентского терминала в сети более ранних стандартов (например, UMTS). Реализация данного требования (межсетевого хэндовера) позволяет строить совместное покрытие сетей радиодоступа различных стандартов (например, E-UTRAN/UTRAN). Межсетевой хэндовер предполагает взаимосвязь RRC-состояний (рис. 2.5) абонентского терминала в различных сетях радиодоступа.

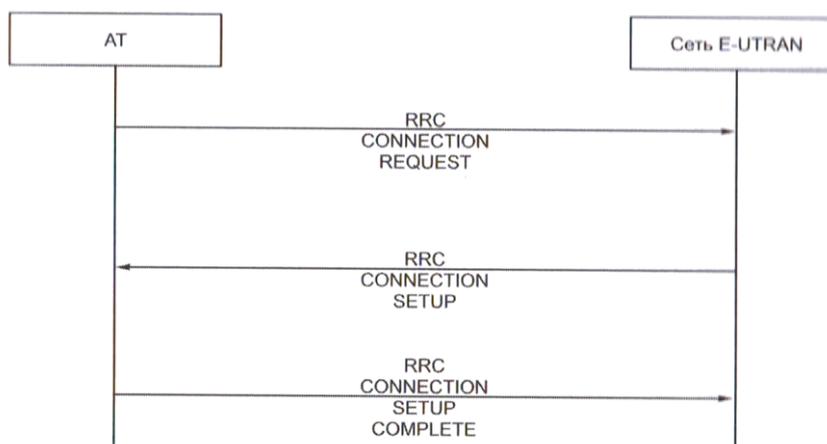


Рис. 2.6. Сигнальная диаграмма установления RRC-соединения абонентского терминала с сетью E-UTRAN

5. Протоколы управления радиоресурса в сети UTRAN

Пример состояний протокола RRC абонентского терминала в сети радиодоступа UTRAN приведен на рис. 2.5.

В состоянии CELLJDCH абонентскому терминалу предоставлены «выделенные» физические каналы (DPDCH, DPCCCH) для передачи/приема данных пользователя и сигнализации транспортного канала DCH. В этом состоянии абонентский терминал контролируется обслуживающим его контроллером RNC (SRNC) с точностью до соты, осуществляет мониторинг параметров качества передачи данных, параметров соседних сот и передает базовым станциям отчеты о результатах измерений. Управление измерениями абонентского терминала осуществляет контроллер SRNC. В этом состоянии абонентскому терминалу может быть также предоставлен совмещенный транспортный канал линии «вниз» DSCH. Кроме того, контролируется транспортный канал прямого доступа FACH для получения системной информации.

В состоянии CELLJFACH абонентскому терминалу не назначены «выделенные» физические каналы. В этом состоянии в линии «вверх» абонентский терминал для передачи сообщений сигнализации и небольших объемов данных плоскости пользователей может использовать следующие транспортные каналы: транспортный канал произвольного доступа RACH и общий транспортный канал CPCH. Для получения системной информации и приема небольших объемов данных плоскости пользователей в линии «вниз» абонентский терминал контролирует широковещательный транспортный канал BCH и транспортный канал прямого доступа FACH. При этом идентификация абонентского терминала осуществляется по идентификатору C-RNTI. В состоянии CELL_FACH абонентский терминал может выполнять переВыбор соты, информируя об этом контроллер SRNC. В сообщениях переВыбора соты передается временный идентификатор U-RNTI (UTRAN RNTI). Идентификатор U-RNTI выделяется абонентским терминалам, имеющим RRC-соединение с сетью UTRAN, для идентификации RRC-сессии и обслуживающего RNC.

В состоянии CELL_PCH абонентский терминал контролирует широковещательный транспортный канал BCH для получения системной

информации, транспортный канал поискового вызова PCH, а также способен принимать информацию вещательных каналов. Местоположение абонентского терминала известно контроллеру RNC с точностью до соты. Отслеживание перемещения абонентского терминала обеспечивается процедурой перевыбора соты. Для ее инициации абонентский терминал должен автономно перейти в состояние CELL_FACH, а затем по окончании процедуры возвратиться в состояние CELL_PCH.

Состояние URA_PCH очень похоже на состояние CELL_PCH, за исключением того, что местоположение абонентского терминала известно сети не с точностью до соты, а с точностью до зоны регистрации URA (UTRAN Registration Area). В этом состоянии абонентский терминал не выполняет операцию обновления соты (cell update) после каждого повторного выбора соты. Вместе этого он считывает идентификатор зоны регистрации URA вещательного канала BCH и, только если URA изменяется после повторного выбора соты, передает данные обновления местоположения в контроллер SRNC. Процедура обновления зоны URA аналогична процедуре обновления соты и требует автономного перехода абонентского терминала из состояния URA_PCH в состояние CELL_FACH и затем обратно. Так как в сети UTRAN одна ячейка может принадлежать к одной или многим зонам регистрации URA, то процедура обновления зоны URA иницируется, если абонентский терминал не находит в системной информации канала BCH нужный идентификатор URA.

В состоянии IDLE абонентский терминал переходит сразу после включения питания и находится в нем до момента установления RRC-соединения. В состоянии IDLE абонентский терминал идентифицируется в сети UTRAN по номеру IMSI. В этом состоянии абонентский терминал не подключен к сети UTRAN, и сеть не имеет информации о местоположении абонентского терминала.

6. Взаимосвязь состояний протокола управления радиоресурсами сетей E-UTRAN и UTRAN

Рассмотрим взаимосвязь состояний протокола управления радиоресурсами RRC сетей E-UTRAN и UTRAN при передаче обслуживания мобильного терминала от одной сети к другой (рис. 2.5). Согласно данному рисунку предполагается переход из состояния RRC_CONNECTED сети E-UTRAN и состояние CELL_DCH сети UTRAN и обратно при выполнении межсетевой хэндовера (7).

Если абонентский терминал находится в состоянии CELL_FACH в сети UTRAN и в зоне покрытия сети E-UTRAN, то он также может выполнить межсетевой хэндовер и перейти в состояние RRC_IDLE сети E-UTRAN (2).

При этом, когда абонентский терминал завершает процедуру обновления данных местоположения в сети E-UTRAN, в его памяти сохраняются последние данные протокола управления мобильностью MM сети UTRAN.

Переход абонентского терминала из состояния CELL_PCH / URA_PCH сети UTRAN в состояние RRC_IDLE сети E-UTRAN и обратно осуществляется под управлением абонентского терминала при выполнении терминалом процедуры переВыбора соты (3). Уменьшение времени межсетевых хэндоверов достигается за счет сохранения в памяти абонентского терминала последних данных протокола RRC.

Переход абонентского терминала из состояния IDLE сети UTRAN в состояние RRC_IDLE сети E-UTRAN и обратно выполняется также под управлением абонентского терминала, когда он осуществляет переВыбор соты. Данные протокола управления мобильностью MM сети UTRAN запоминаются в абонентском терминале при его переходе в сеть E-UTRAN. При обратном переходе из сети E-UTRAN в сеть UTRAN запоминаются данные протокола MM состояния LTE_IDLE (4).

7. Управление качеством услуг в сетях LTE

Управление сетевыми элементами MME, UPE, IASA (или шлюзом aGW) при инициализации, терминании и модификации IP-сессии передачи данных в сети LTE осуществляется функцией PCRF, которая управляет установлением соединений с заданными параметрами качества услуг и тарификацией. С помощью функции PCRF устанавливаются параметры E2E (End-to-End) служб передачи данных при соединении между конечными пользователями в сети SAE (SAE Bearer Service) на основе требуемой скорости передачи данных и класса IP-трафика (требуемой задержки, приоритета). Эти параметры передаются базовым станциям для управления передачей пакетов данных в сети E-UTRAN (планирование передачи данных в линии «вниз» и распределение ресурсов в линии «вверх»).

Многоуровневая архитектура служб передачи данных в сети SAE приведена на рис. 2.7.

Описание служб передачи данных дано в технической спецификации TS 23.107, где определены аспекты обеспечения требуемого качества передачи данных (управление протоколами сигнализации и передачи данных, описание функций менеджмента качеством).

Основные задачи служб передачи данных в сети SAE:

- управление передачей пакетов данных в зависимости от параметров QoS в цепочке «конечный пользователь — конечный пользователь»;
- компрессия служебной информации протокола IP;
- шифрование передаваемых данных;
- предоставление мобильным терминалам информации о параметрах QoS;
- мультиплексирование информации, передаваемой мобильным терминалам.

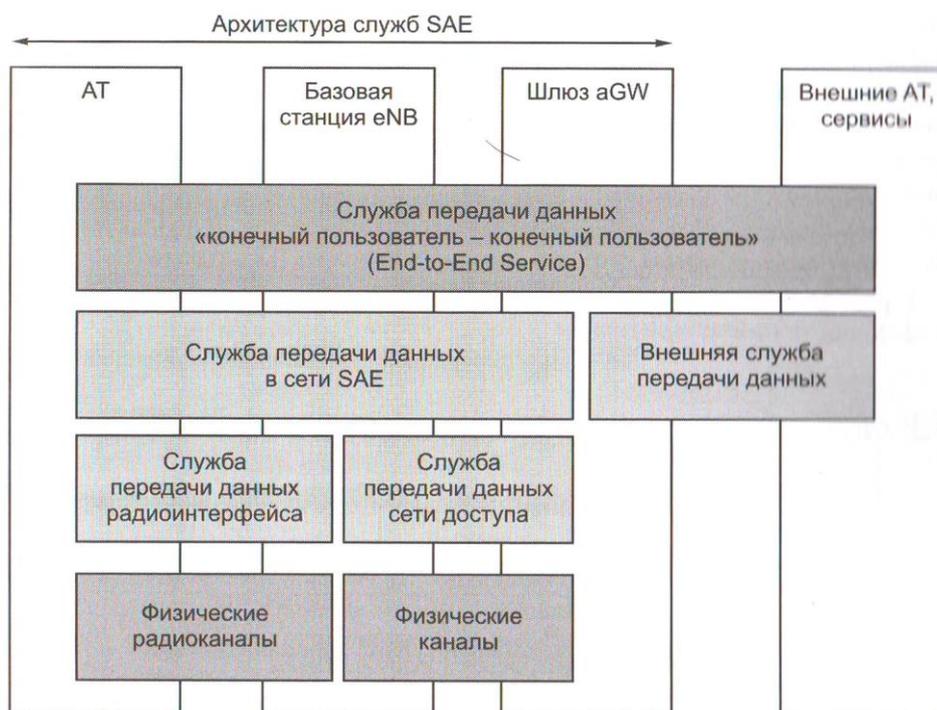


Рис. 2.7. Многоуровневая архитектура служб передачи данных в сети SAI

Служба передачи данных радиointерфейса (SAE Radio Bearer Service) обеспечивает передачу блоков данных в сети SAE между базовой станцией eNB и абонентским терминалом в соответствии с требуемыми параметрами качества.

Служба передачи данных сети доступа (SAE Access Bearer Service) обеспечивает передачу блоков данных в сети SAE между базовой станцией eNB и шлюзом aGW в соответствии с требуемыми параметрами качества, а также передачу этих параметров базовым станциям eNB.

Пример использования служб передачи данных в сети SAIi (две службы передачи данных типа «точка-точка», каждая из которых содержит по одной службе передачи данных радиointерфейса и сети доступа) приведен на рис. 2.8. На рисунке показан логический модуль PCEF (Policy and Charging Enforcement Function), отвечающий за применение к абонентскому терминалу управляющих политик сети, передающихся от логического модуля PCRF (Policy and Charging Rules Function). Физически данный модуль размещен в шлюзе aGW, осуществляет управление доступом абонентского терминала к

контенту, параметрами качества передачи данных, инициацию событий тарификации. Логический модуль PCRF, получая от модуля PCEF информацию о сессиях абонентского терминала, управляет правилами тарификации и доступом к контенту.

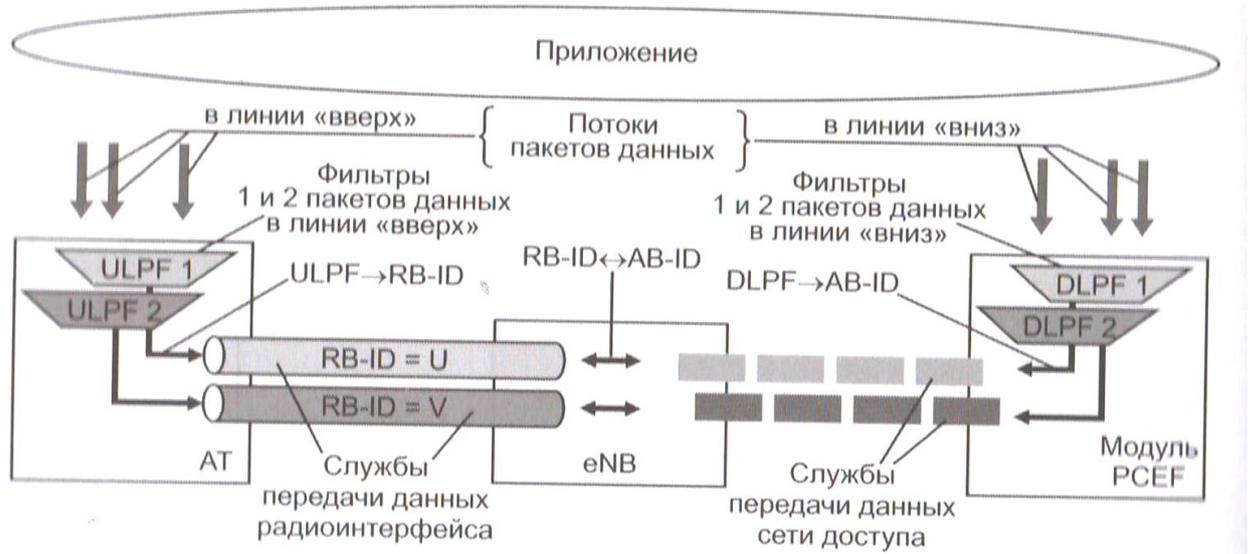


Рис. 2.8. Пример использования служб передачи данных

В соответствие с рис. 2.8 потоки пакетов данных различных приложений (протоколов сервисного уровня) в линиях «вверх»/«вниз» распределяются между службами передачи данных с помощью фильтров пакетов данных и линии «вверх» (UpLink Packet Filter — ULPF) и в линии «вниз» (DownLink Packet Filter — DLPF). Все службы характеризуются уникальными идентификаторами ID (например, RB-ID, AB-ID), с помощью которых устанавливается взаимосвязь между различными службами, например, взаимосвязь между службой передачи данных радиointерфейса и службой передачи данных сети доступа (RB-ID ↔ AB-ID).

Службы передачи данных в сети SAE имеют следующие параметры качества:

- приоритет распределения ресурсов службе передачи данных (Allocation Retention Priority — ARP). Данный параметр имеет целочисленные значения в диапазоне 1-16 и используется при выделении сетевого ресурса

службе передачи данных при установлении сессии или при выполнении хэндовера;

- гарантированная скорость передачи данных (Guaranteed Bit Rate – GBR). Данный параметр используется только теми службами передачи, которые требуют гарантированного качества услуг (например, передачи речи, стриминга);

- максимальная скорость передачи данных (Maximum Bit Rate – MBR). С помощью данного параметра ограничивается скорость передачи данных отдельных сервисов;

- идентификатор класса качества (QoS Class Identifier — QCI). Данный идентификатор используется базовыми станциями при распределении ресурсов радиоинтерфейса и планировании передачи пакетов данных.

Идентификатор QCI характеризует следующие параметры передачи пакетов данных (табл. 2.2):

- тип службы передачи пакетов данных: с гарантированной скоростью передачи или без гарантии;

- задержка передачи пакетов данных протоколами RLC и MAC уровня L2 (L2 Packet Delay Budget);

- относительное число пакетов данных, потерянных протоколами RLC и MAC уровня L2 (L2 Packet Loss Rate).

Таблица 2.2. Значения параметров передачи данных в сети SAE

Значение QCI	Тип службы передачи данных	Задержка передачи пакетов данных протоколами RLC и MAC	Относительное число потерянных протоколами RLC и MAC пакетов данных	Пример услуги
1	GBR	Низкая (< 50 мс)	$< 10^{-6}$	Игры в реальном масштабе времени
2	GBR	Средняя (< 100 мс)	$< 10^{-3}$	Передача речи, видео в реальном масштабе времени
3	GBR	Высокая (< 300 мс)	$< 10^{-6}$	Видеостриминг с буферизацией
4	без GBR	Низкая (< 50 мс)	$< 10^{-6}$	Передача данных сигнализации подсистемы IMS (например, SIP)
5	без GBR	Средняя (< 100 мс)	$< 10^{-3}$	Web-браузинг
6	без GBR	Высокая (< 300 мс)	$< 10^{-3}$	Передача данных в режиме, инвариантном к времени

Выводы к главе II

МСЭ подготовлен ряд отчетов по методике распределения радиочастотного спектра с учетом реальной загрузки планируемых к использованию диапазонов частот. Несмотря на это разработка систем ИМТ остается одним из приоритетных направлений деятельности МСЭ и её исследовательские комиссии ведут работу в этом направлении.

При разработке системы 3G в Европе в основном использовались технические решения, полученные для сетей GSM, т.к. технология GSM занимает основное место в европейском рынке мобильной связи и развитие сетей GSM вложен огромные денежные средства и инвестиции, требующей скорейшей окупаемости. Кроме того будущая система 3G должна была удовлетворять следующим требованиям:

- для GSM имеются полное описание и технические требования в виде открытых стандартов технические требования к 3G принять как документы международных организаций стандартизации;
- сети 3G в начале разработки и эксплуатации должны были совместимы с сетями GSM и ISDN;
- сети GSM поддерживают мультимедийные и другие услуги во всех подсистемах сети;
- обеспечивает высокую пропускную способность сети радиодоступа и получил распространение во всем мире. Требования к пропускной способности сети 3G должны превышать соответствующие требования к узкополосным мобильным сетям GSM и широкополосным стационарным мультимедийным сетям;
- услуги, предоставляемые конечным пользователям сетей 3G не должны зависеть от особенностей технологии радиодоступа и выбранная архитектура не должна ограничить внедрение новых видов услуг технологическая платформа и услуги должны быть взаимозависимы, иметь открытую структуру.

Глава III. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СЕТИ LTE С СЕТЯМИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ РАЗЛИЧНЫХ СТАНДАРТОВ

1. Взаимодействие сети LTE с другими сетями стандартов 3GPP

Важной задачей, возникающей при взаимодействии сети LTE с сетями мобильной связи стандартов 3GPP (далее сети 3GPP), является поддержка мобильности терминала при его перемещении из зоны обслуживания одной сети в зону обслуживания другой.

Алгоритмы взаимодействия сети LTE с сетями 3GPP можно классифицировать следующим образом:

- алгоритмы обеспечения дискретной мобильности (роуминга);
- алгоритмы обеспечения непрерывной мобильности (хэндовера).

Упрощенная схема сети LTE при ее взаимодействии с доменом пакетной коммутации (PS-доменом) других сетей 3GPP согласно технической спецификации 3GPP TS 23.401 показана на рис. 3.1. В качестве сетей радиодоступа на рисунке используются сети GERAN, UTRAN и E-UTRAN. Детализированная схема совмещенной сети GERAN/LTE приведена в Приложении 1. Отметим, что на практике сетевые элементы (сервисный узел SGSN, обслуживающий шлюз S-GW и шлюз пакетной коммутации P-GW) конструктивно могут быть совмещены.

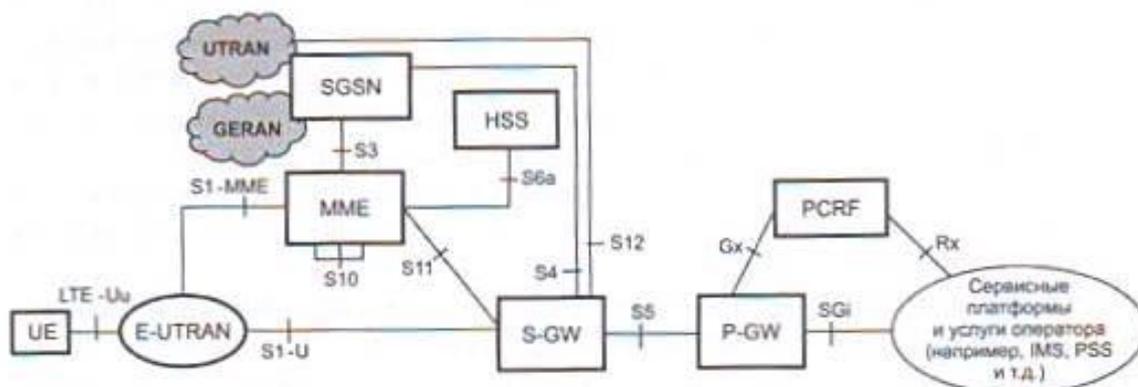


Рис. 3.1. Схема взаимодействия сети LTE с PS-доменом других сетей 3GPP

На рис. 3.1 под PSS (PSTN/ISDN Simulation Services) понимается имитация (симуляция) программно-аппаратными средствами IP-сетей услуг телефонной связи, аналогичных услугам, поддерживаемым в сетях ТфОП на базе технологии коммутации каналов.

Согласно схеме рис. 3.1 основными интерфейсами взаимодействия сети LTE с сетями 3GPP (GERAN/UMTS) являются интерфейсы S3, S4 и S12. Интерфейсы S3 и S4 обеспечивают взаимодействие логического элемента управления мобильностью MME и шлюза S-GW сети LTE с сервисным узлом SGSN сетей 3G с помощью туннельного протокола GTP (GPRS Tunneling Protocol). Вторая версия протокола GTP (GTPv2) разработана с учетом особенностей построения базовой сети SAE (EPC). Интерфейс S12 по своему назначению аналогичен интерфейсу Gn между сервисным узлом SGSN и шлюзом GGSN сети GPRS.

Протокол GTP подразделяется на два вида: протокол передачи данных плоскости управления (GTP-C) и протокол передачи данных плоскости пользователя (GTP-U). Протокол GTPv2-C (техническая спецификация 3GPP TS 29.274) используется на интерфейсах S3 и S4 для поддержки мобильности терминала в сетях GERAN/LTE/UMTS. Протокол GTPv1-U (техническая спецификация 3GPP TS 29.281) используется на интерфейсах S4 и S12 для передачи данных пользователя с помощью туннелей.

Сервисный узел SGSN сети GERAN/UMTS при взаимодействии с сетью LTE выполняет следующие основные функции:

- выбор логического элемента MME и взаимодействие с ним для поддержки мобильности терминала (например, регистрации мобильности терминала в сети GERAN/UMTS; обновления зон местоположения мобильного терминала (Routing Area Update — RAU); хэндовера в сети GERAN/UMTS со сменой узла SGSN и шлюза S-GW; хэндовера со сменой технологии сети доступа (Inter-RAT Handover));

- выбор и взаимодействие со шлюзами S-GW и P-GW для поддержки мобильности терминала и передачи данных пользователей (реализация функций элемента MME).

Шлюз S-GW сети LTE при взаимодействии с сетью GERAN/UMTS обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- взаимодействие с сервисным узлом SGSN для поддержки мобильности терминала;
- маршрутизация и передача трафика пользователя между узлом SGSN и шлюзом P-GW;
- управление качеством передачи данных по методу DiffServ и маркировка пакетов данных в соответствии с индикатором качества QCI.

Элемент MME сети LTE при взаимодействии с сетью GERAN/UMTS обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- выбор узла SGSN и взаимодействие с ним для поддержки мобильности терминала;
- аутентификация и авторизация пользователей.

Упрощенная схема взаимодействия сети LTE с доменом пакетной коммутации (PS-доменом) других сетей 3GPP в условиях роуминга показана на рис. 3.2. Как видно из рисунка, в условиях роуминга шлюзы S-GW и P-GW взаимодействуют друг с другом по интерфейсу S8, а не S5, как показано на рис. 3.1.

На рис. 3.2 приведен пример схемы взаимодействия с терминацией трафика пользователей в домашней сети посредством интерфейса SGi. Другие варианты схемы подразумевают терминацию трафика пользователей в визитной сети (рис. 3.3), а также возможность предоставления услуг с использованием ресурсов (например, подсистемы IMS) визитного оператора (рис. 3.4).

В схеме, показанной на рис. 3.3, используется шлюз P-GW визитной сети. При этом управление доступом к услугам и тарификация осуществляются согласно «политикам» модуля V-PCRF визитной сети, взаимодействующего с модулем H-PCRF домашней сети по интерфейсу S9.

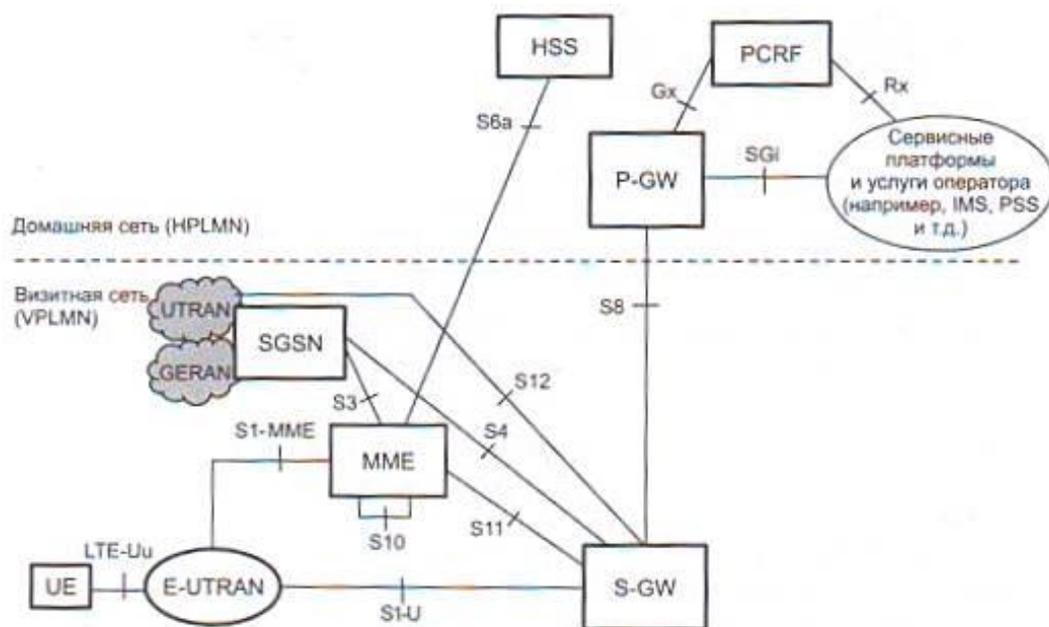


Рис. 3.2. Схема взаимодействия сети LTE с PS-доменом других сетей 3GPP в условиях роуминга

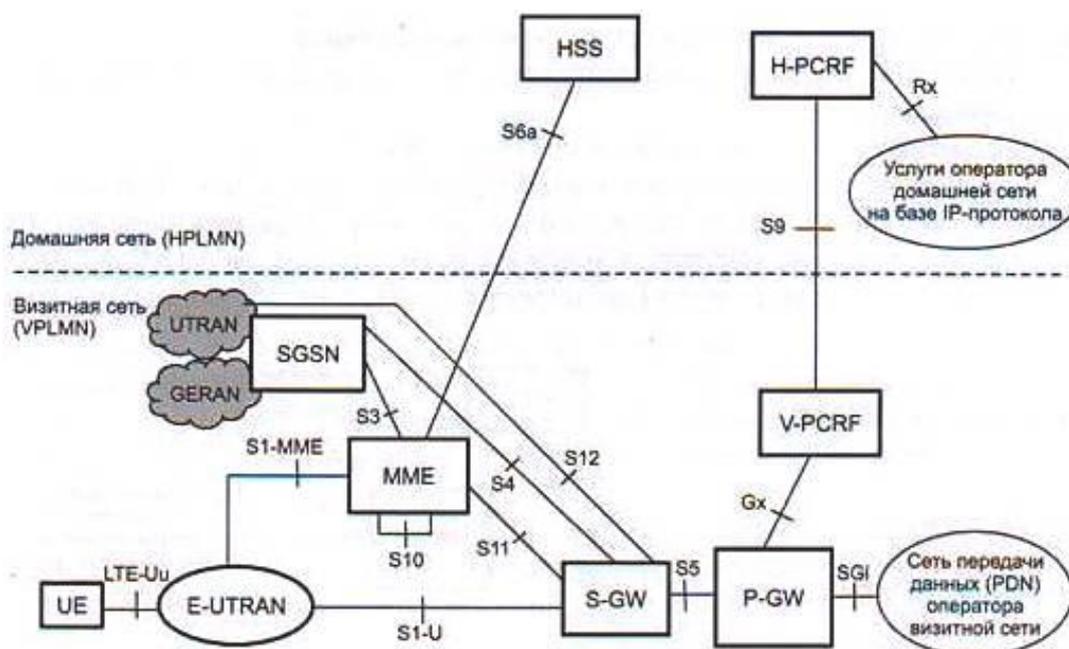


Рис. 3.3. Схема взаимодействия сети LTE с PS-доменом других сетей 3GPP в условиях роуминга и терминирования трафика в визитной сети

На рис. 3.4 взаимодействие с сервисными платформами оператора визитной сети (например, подсистемой IMS) реализуется модулем V-PCRF по интерфейсу Rx.

Взаимодействие сети LTE с другими сетями 3GPP для оказания традиционных услуг телефонии выполняется в соответствии со схемой организации голосовых вызовов SRVCC, представленной в технической спецификации 3GPP TS 23.216 (рис. 4.5). Согласно данной схеме голосовые вызовы в сетях 3GPP могут осуществляться с помощью как традиционной технологии коммутации каналов (TDM), так и технологии коммутации пакетов на базе сервисной подсистемы IMS.

Взаимодействие логического элемента MME с сервером MSC при осуществлении хэндовера голосовых вызовов из сети LTE в традиционный домен коммутации каналов (CS-домен) другой сети 3GPP происходит с помощью интерфейса Sv, представленного в технической спецификации 3GPP TS 29.280.

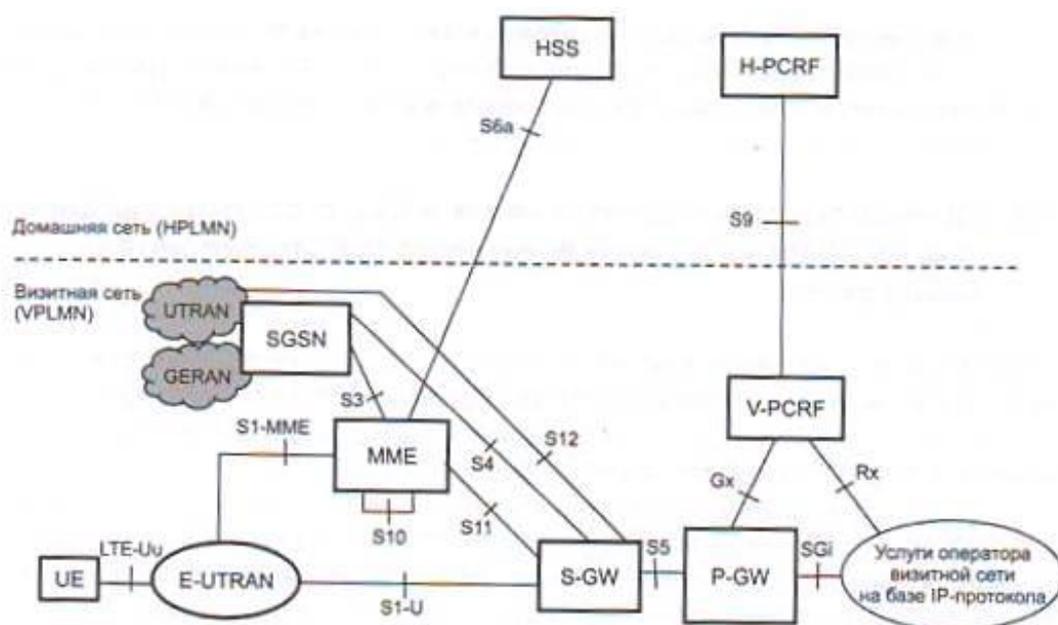


Рис. 3.4. Схема взаимодействия сети LTE с PS-доменом других сетей 3GPP в условиях роуминга, терминирования трафика и использования сервисных платформ в визитной сети



Рис. 3.5. Схема организации голосовых вызовов SRVCC при взаимодействии сети LTE с другими сетями 3GPP

Взаимодействие логического элемента MME с узлом SGSN при осуществлении хэндовера голосовых вызовов из сети LTE в PS-домен другой сети 3GPP выполняется с помощью рассмотренного в гл. 2 интерфейса S3.

2. Принципы взаимодействия сети LTE с сетями стандартов не-3GPP на основе IP-протоколов управления мобильностью

Алгоритмы взаимодействия сети LTE с сетями стандартов Не-3GPP (далее сети не-3GPP) можно разделить на алгоритмы взаимодействия с сетями с гарантированной безопасностью — «надежными» (trusted) и алгоритмы взаимодействия с сетями с негарантированной безопасностью — «ненадежными» (non-trusted). В качестве надежных сетей могут выступать присоединенные сети других стандартов (например, сети cdma2000, WiMAX), в качестве ненадежных — публичные IP-сети Интернет. Взаимодействие сети LTE с надежными сетями стандартов Не-3GPP осуществляется посредством

шлюза P-GW, взаимодействие с ненадежными сетями — посредством шлюза ePDG.

Алгоритмы взаимодействия сети LTE с сетями He-3GPP можно классифицировать по состояниям мобильного терминала на алгоритмы, обеспечивающие:

- поддержку работы мобильного терминала в состоянии IDLE;
- поддержку работы мобильного терминала в состоянии CONNECTED.

Поддержка гетерогенными сетями состояния мобильного терминала CONNECTED обеспечивает так называемую непрерывную мобильность терминала. поддержка состояния IDLE — дискретную мобильность терминала. Непрерывная мобильность терминала реализована в виде процедур хэндовера; дискретная мобильность — в виде процедур поддержки роуминга. Рассмотренные виды мобильностей в гетерогенных сетях применимы только к мобильным терминалам, которые могут работать с сетями различных стандартов.

С учетом концепции построения базовой сети EPC «все через IP» мобильность терминала при взаимодействии сети LTE с сетями He-3GPP основана на протоколах управления мобильностью в IP-сетях. Протоколы управления мобильностью в IP-сетях подразделяются на два вида:

- протоколы управления мобильностью на базе хостов (Host Based Mobility— НВМ);
- протоколы управления мобильностью на базе сети (Network Based Mobility — NBM).

Протоколы управления мобильностью вида НВМ реализованы непосредственно в мобильном терминале. Протоколы вида NBM предназначены для максимальной разгрузки мобильного терминала от выполнения задач поддержки мобильности и достижения следующих целей:

- повышения эффективности использования сетевых ресурсов за счет значительного сокращения сигнальных сообщений,

передаваемых/принимаемых мобильным терминалом (например, сообщений обновления данных местоположения абонента типа location update), а также отсутствия туннелей непосредственно между мобильным терминалом и сетевыми элементами:

- повышения производительности работы и экономии энергии мобильного терминала;
- упрощения мобильного терминала за счет отсутствия в стеке протоколов управления мобильностью.

Примером протоколов вида НВМ являются протоколы MIPv4 (Mobile IP version 4) и DSMIPv6 (Dual-Stack Mobile IP version 6), примером протокола вида NBM — протокол PMIPv6 (Proxy Mobile IP version 6).

Функциональные возможности протокола MIPv4 по обеспечению мобильности шире возможностей протокола IPv4 (спецификация RFC 3344). Согласно этой спецификации мобильный терминал всегда идентифицируется своим домашним IP-адресом независимо от сети доступа, хотя в визитной сети он получает другой IP-адрес — CoA (Care-of-Address). Назначение IP-адресов выполняется согласно протоколу динамической конфигурации DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol).

Протокол MIPv4 реализуется при взаимодействии следующих сетевых элементов:

- мобильного терминала MN (Mobile Node);
- агента домашней сети HA (Home Agent);
- агента визитной сети FA (Foreign Agent);
- корреспондентского узла CN (Correspondent Node).

Агент домашней сети HA имеет информацию об адресе CoA мобильного терминала, зарегистрированного в визитной сети с помощью агента FA. Распознавая IP-сессии, агент HA пересылает дата граммы, предназначенные мобильному терминалу MN, на его адрес CoA, используя специальный IP-туннель.

Адрес CoA назначается мобильному терминалу в момент регистрации и может быть двух типов: «Foreign Agent Care-of Address» (FACoA) и «Colocated Care-of Address».

Адрес типа «Foreign Agent Care-of Address» представляет собой IP-адрес агента визитной сети FA, который одновременно является одной из конечных точек IP-туннеля (другой конечной точкой IP-туннеля является агент HA). Получив данные из туннеля, агент FA декапсулирует пакет данных, после чего передает его мобильному терминалу.

Адрес типа «Co-located Care-of Address» представляет собой IP-адрес мобильного терминала MN, который одновременно является конечной точкой IP-туннеля. В этом случае MN самостоятельно осуществляет декапсуляцию данных IP-туннеля.

Взаимодействие агентов FA и HA при регистрации мобильного терминала MN осуществляется с помощью сообщений «Agent Advertisement». Кроме того, в процессе идентификации мобильного терминала на основе MAC-адресов может быть использован протокол ARP (Address Resolution Protocol). Протокол ARP определен в спецификации RFC 826 и является протоколом канального уровня (data link layer), предназначенным для определения MAC-адреса терминала по его IP-адресу.

Взаимодействие мобильного терминала MN с агентом FA осуществляется с помощью сообщений «Agent Solicitation». На основе данных сообщений MN определяет свое местоположение (домашняя, визитная сеть), получает информацию о любых конфигурационных изменениях агента FA. При возврате мобильного терминала из визитной сети в домашнюю он отменяет свою внешнюю регистрацию у агента HA посредством пары сообщений: «Registration Request» и «Registration Reply».

Когда мобильный терминал MN зарегистрирован в визитной сети, пакеты данных от корреспондентского узла CN, предназначенные для MN, переадресуются в визитную сеть с помощью агента HA. Переадресация может выполняться либо первоначально агенту FA и далее терминалу MN, либо

непосредственно терминалу MN, в зависимости от типа адреса CoA. Таким образом, передача пакетов данных от терминала MN корреспондентскому узлу CN может осуществляться либо через агента FA, либо напрямую.

Недостатком протокола MIPv4 является неоптимальное использование сетевых ресурсов. Этот недостаток устранен в протоколе MIPv6, имеющем расширенные функциональные возможности относительно протокола IPv6. Оптимальное использование сетевых ресурсов обеспечивается внедрением механизмов оптимальной маршрутизации (Route Optimization — RO). При оптимальной маршрутизации пакеты данных передаются от корреспондентского узла CN непосредственно мобильному терминалу MN. Для оповещения узла CN о смене IP-адреса терминалом MN используются специальные управляющие сообщения «Binding Update».

Последовательное внедрение IP-протоколов версии 6 приводит к ситуации, когда одна часть сетевого оборудования использует адресацию протокола IPv4 (например, большая часть хостов WWW Интернета, серверы обмена сообщениями), а другая — адресацию протокола IPv6 (например, серверы DNS, небольшая часть хостов WWW Интернета, почтовые серверы (mail servers), а также серверы VoIP и серверы видеостриминга). В этой ситуации поддержка мобильности терминала может быть обеспечена дуальным протоколом DSMIPv6, формирующим туннели, используя как протокол IPv4, так и протокол IPv6.

Протокол управления мобильностью PMIPv6 определен спецификацией RFC 5213. Его функциональные возможности во многом похожи на возможности протокола MIPv6. Основным различием этих протоколов является то, что протокол PMIPv6 главным образом реализован в сетевом сегменте. Достоинством данного протокола является освобождение мобильного терминала от выполнения части задач управления мобильностью, что позволяет экономить как ресурсы сети доступа, так и ресурсы терминала. Эти достоинства особенно актуальны для сетей радиодоступа. Согласно технической спецификации 3GPP TS 23.402 Release 8 протокола PMIPv6

является одним из базовых протоколов управления мобильностью в сетях LTE при их взаимодействии не только с сетями доступа не-3GPP, но и с сетями доступа 3GPP (в этом случае как альтернатива протоколу GTP).

Протокол PMIPv6 реализуется при взаимодействии следующих сетевых элементов:

- мобильного терминала MN, поддерживающего протокол IPv6 и имеющего доступ к беспроводной сети доступа, а также обладающего возможностями изменять свое местоположение; в MN не реализованы протоколы управления мобильностью;

- локального узла управления мобильностью LMA (Local Mobility Anchor), поддерживающего протокол IPv6; функциональные возможности узла LMA (иногда называемого «якорем») во многом похожи на возможности агента HA, но узел имеет расширенные возможности по поддержке мобильности терминала MN без участия терминала; элементы LMA и HA размещаются, как правило, в одном сетевом узле;

- шлюза мобильного доступа MAG (Mobile Access Gateway) непосредственно обеспечивающего мобильность терминала MN; шлюз MAG отвечает за передачу сообщений сигнализации узлу LMA; через шлюз MAG осуществляется доступ мобильного терминала MN к домену протокола PMIPv6;

- сетевой базы данных (policy profile), содержащей данные о параметрах терминала MN. требуемых для обеспечения работы шлюза MAG и узла LMA.

Согласно концепции протокола PMIPv6 он поддерживает следующую адресацию:

- адрес PCoA (Proxy Care of Address) — сетевой адрес шлюза MAG, являющегося конечной точкой двунаправленного туннеля между LMA и MAG: адрес PCoA ассоциируется узлом LMA с адресом CoA мобильного терминала MN, зарегистрированного в визитной сети:

- адрес MN-HoA (Home Address of Mobile Node) — сетевой адрес мобильного терминала MN, используемый для присоединения терминала к домену протокола PMIPv6:
- идентификатор мобильного терминала MN-NAI (Mobile Node Identifier), используемый терминалом MN для выполнения процедур аутентификации в домене протокола PMIPv6:
- префикс MN-HNP (Home Network Prefix), обеспечивающий топологическую привязку узла LMA и мобильного терминала MN.

3. Использование IP-протоколов управления мобильностью при взаимодействии сети LTE с сетями стандартов не-3GPP

Сети LTE при взаимодействии с сетями не-3GPP могут использовать различные протоколы управления мобильностью. Выбор конкретного протокола зависит от технических возможностей мобильного терминала и от сети доступа, а именно — от типов поддерживаемых ими протоколов (например, MIPv4, DSMIPv6 или PMIPv6). Механизм такого выбора реализован в виде сетевой процедуры IPMS (IP Mobility Management Selection).

Процедура IPMS выполняется в случаях, когда:

- мобильный терминал осуществляет регистрацию посредством сетей доступа Не-3GPP;
- мобильный терминал осуществляет хэндовер в сеть доступа Не-3GPP.

Процедура IPMS не используется, когда доступ к базовой сети EPC происходит с помощью сетей доступа стандартов 3GPP.

В процессе регистрации мобильного терминала посредством сети доступа Не-3GPP процедура IPMS осуществляется до момента выделения мобильному терминалу IP-адреса.

Выполнение процедуры IPMS при регистрации мобильного терминала основано на следующих принципах:

- выбранный протокол управления мобильностью должен поддерживаться одновременно и мобильным терминалом, и сетью доступа (интерфейсом S2c);

- в случае, если мобильный терминал и сеть доступа HCS-3GPP поддерживают разные протоколы, то в качестве протокола управления мобильностью выбирается протокол PMIPv6. При регистрации мобильного терминала за присвоение локального адреса CoA отвечает либо сетевой элемент надежной сети доступа HCS-3GPP, либо шлюз ePDG ненадежной сети доступа. В случае, если в качестве протокола управления мобильностью выбирается протокол DSMIPv6, то адрес CoA присваивается непосредственно мобильному терминалу, а если протокол MIPv4.—то агенту FA (адрес CoA становится адресом типа FАCoA).

Выполнение процедуры IPMS при осуществлении хэндовера в гетерогенных сетях можно пояснить на основе примера, представленного в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Пример выполнения процедуры IPMS

IP-протоколы управления мобильностью, поддерживаемые		Протокол управления мобильностью, выбранный процедурой IPMS
мобильным терминалом MN	сетью доступа не-3GPP (в случае надежной сети) либо шлюзом ePDG (в случае ненадежной сети)	
PMIPv6	PMIPv6	PMIPv6
DSMIPv6	DSWIPv6	DSMIPv6
DSMIPv6	PMIPv6	PMIPv6
DSMiPv6, PMiPv6	DSMIPv6, PMIPv6	DSMIPv6 либо PMIPv6 (решение принимается на основе политик сети)
Нет информации	PMIPv6G и др.	PMIPv6

Информация о протоколах, поддерживаемых мобильным терминалом, доступна как базовой сети EPC, так и сети доступа HCS-3GPP посредством ис-

пользования протоколов аутентификации AAA (Authentication. Authorization. Accounting).

Для поддержки непрерывности IP-сессий при хэндовере необходимо обеспечить сохранность IP-адреса мобильного терминала. При использовании протокола управления мобильностью PMIPv6, а также протокола MIPv6 (только в случае адреса типа FCoA) сохранность IP-адреса обеспечивается управляющими сообщениями интерфейса S2a. при использовании протокола DSMIPv6 — управляющими сообщениями интерфейса S2c.

4. Алгоритм взаимодействия сети LTE с сетями стандартов не-3GPP

Сценарии взаимодействия сети LTE с сетями не-3GPP во многом определяют архитектуру сети LTE. Можно выделить следующие сценарии:

- взаимодействие с надежными сетями доступа не-3GPP (например, сетями 3GPP2), которые принадлежат оператору сети LTE;
- взаимодействие с надежными сетями доступа не-3GPP, присоединенными к сети LTE;
- взаимодействие с надежными сетями доступа Не-3GPP, которые принадлежат оператору визитной сети сотовой связи (VPLMN);
- взаимодействие с надежными сетями доступа не-3GPP, присоединенными к сети VPLMN;
- взаимодействие с ненадежными сетями доступа не-3GPP (например, сетями WLAN), присоединенными к сети LTE;
- взаимодействие с сетями доступа WLAN, которые принадлежат оператору сети LTE;
- взаимодействие с сетями доступа WLAN, которые принадлежат оператору визитной сети VPLMN;
- взаимодействие с ненадежными сетями доступа не-3GPP, присоединенными к сети VPLMN.

Взаимодействие сети LTE с сетями доступа не-3GPP согласно рассмотренным сценариям и протоколам MIPv4, DSMIPv6 и PMIPv6 осуществляется с помощью ряда сетевых шлюзов (S-GW, PDN-GW, cPDG) и функционального модуля PCRF. Рассмотрим функции этих сетевых элементов, обеспечивающие поддержку мобильности терминалов.

Базовые функции шлюза S-GW описаны в технической спецификации TS 23.401. Дополнительно шлюз S-GW для поддержки мобильности терминалов при взаимодействии с сетями не-3GPP выполняет следующие функции:

- функции локального узла привязки («якоря») сети HC-3GPP в случае, когда мобильный терминал находится в роуминге и присоединен к визитной сети VPLMN посредством сети доступа не-3GPP;
- информирование модуля PCRF о смене мобильным терминалом сети доступа одновременно с переходом на новую радиотехнологию;
- функции агента протокола DHCPv4 либо протокола DHCPv6;
- функции шлюза MAG согласно протоколу PMIPv6;
- генерацию и распределение ключей GRE используемых шлюзом P-GW для инкапсуляции пакетов данных в PMIP-туннель;
- функции узла LMA , взаимодействующего со шлюзом MAG, размещенным в надежной сети доступа Не-3GPP, либо со шлюзом MAG, реализованным в шлюзе ePDG в случае регистрации мобильного терминала в ненадежной сети доступа не-3GPP.

Базовые функции шлюза P-GW также представлены в технической спецификации TS 23.401. Дополнительно шлюз P-GW для поддержки мобильности терминалов при взаимодействии с сетями HC-3GPP выполняет следующие функции:

- функции узла LMA;
- функции агента HA согласно спецификации RFC 5555 при использовании протокола DSMIPv6;

- функции агента HA при использовании протокола MIPv4 и адреса типа FCoA;

- генерацию и распределение ключей GRE, применяемых для инкапсуляции в PMIP P-туннель пакетов данных, передаваемых в линии «вверх» сети доступа в направлении к шлюзу P-GW.

Шлюз ePDG при взаимодействии с ненадежными сетями доступа (например, сетью WLAN) выполняет следующие функции:

- функции пакетного шлюза PDG (техническая спецификация TS 23.234) по назначению локальных IP-адресов CoA;

- маршрутизацию пакетов данных от/к P-GW, а также маршрутизацию пакетов от/к S-GW (если S-GW выполняет функции локального узла привязки («якоря») в визитной сети HC-3GPP VPLMN);

- функции шлюза MAG согласно спецификации RFC 5213;

- инкапсуляцию и деинкапсуляцию пакетов данных в туннели протоколов PMIPv6, IPSec;

- формирование безопасных туннелей в соответствии с интернет-протоколом обмена ключами IKEv2 (Internet Key Exchange Protocol) для передачи данных аутентификации и авторизации;

- генерацию и распределение ключей GRE, используемых для инкапсуляции в PMIP-туннель пакетов данных, передаваемых базовой сетью EPC по направлению к шлюзу ePDG и далее к интерфейсу S2b.

Как было отмечено в 4.2, согласно спецификациям 3GPP протокол PMIPv6 не только используется для поддержки мобильности терминала при взаимодействии базовой сети EPC с сетью доступа не-3GPP, но и является на интерфейсе S5 альтернативой базовому протоколу GTP при взаимодействии базовой сети EPC с сетью доступа 3GPP (техническая спецификация TS 23.401). Схема сети LTE, использующей в качестве сети доступа сеть 3GPP и протокол PMIPv6 на интерфейсе S5, приведена на рис. 3.6.

На рис. 3.6 шлюз S-GW выполняет функции шлюза MAG, а шлюз P-GW — функции узла LMA. Соответственно между шлюзом S-GW (MAG) и

шлюзом P-GW (LMA) формируется PMIP-туннель. При роуминге, как показано на рис. 3.7, PMIP-туннель формируется не на интерфейсе S5, а на интерфейсе S8.

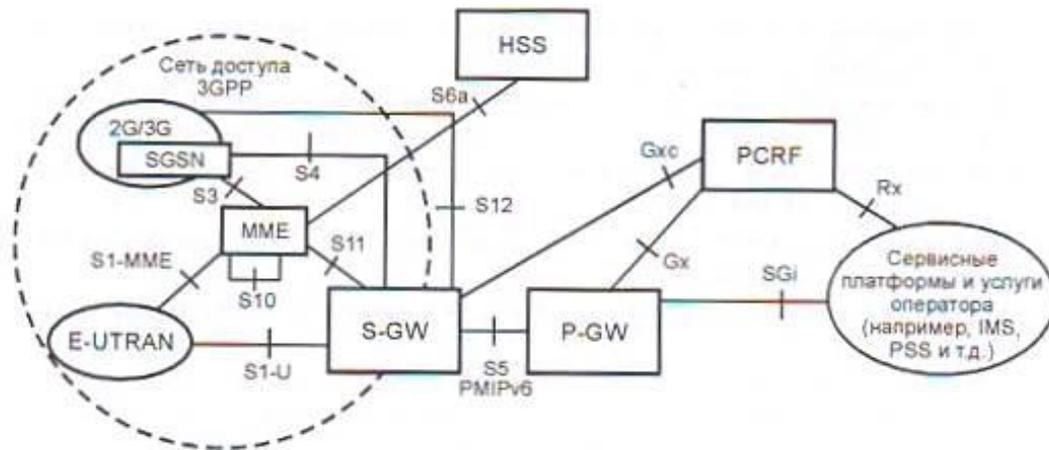


Рис. 3.6. Схема сети LTE, использующей сеть доступа 3GPP и протокол PMIPvS на интерфейсе S5

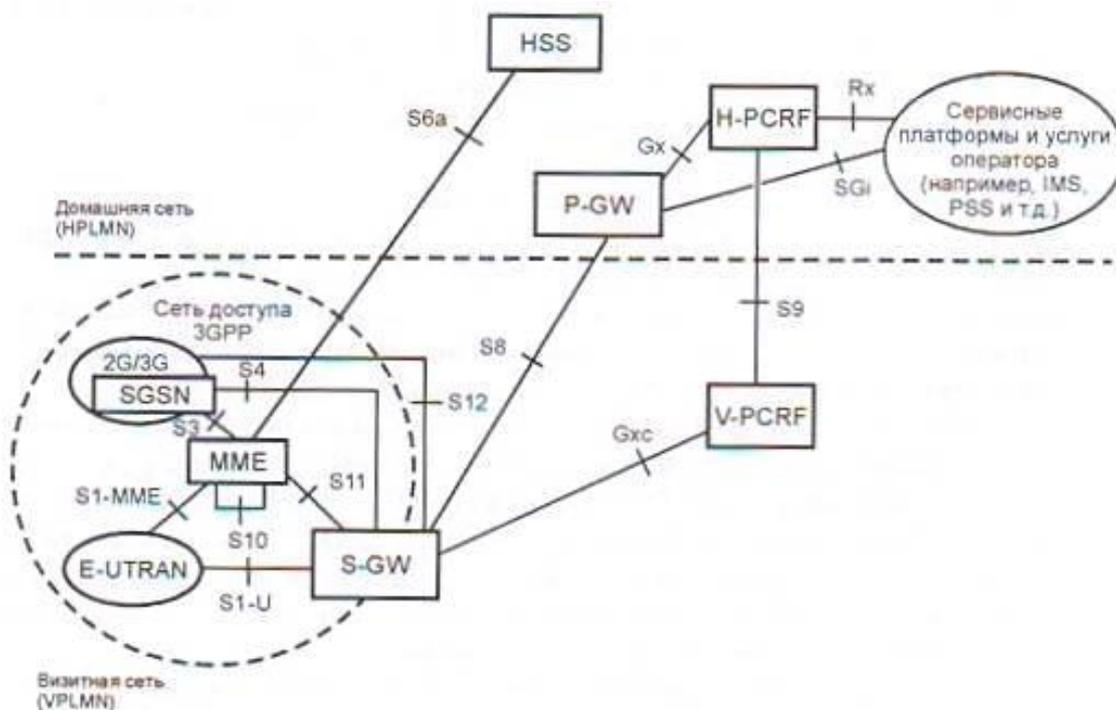


Рис. 3.7. Схема сети LTE в условиях роуминга, использующей сеть доступа 3GPP и протокол PMIPv6 на интерфейсе S8

Схемы взаимодействия сети LTE с сетями доступа не-3GPP приведены на рис. 3.8, 3.9. Основное различие этих схем заключается в используемых протоколах и, соответственно, интерфейсах поддержки мобильности терминала. На рис. 3.8 мобильность обеспечивается протоколами управления мобильностью, реализованными на интерфейсах S5, S2a, S2b. В частности, на интерфейсах S5-S2a и S5-S2b мобильность может быть реализована протоколом PMIPv6. Протокол MIPv4 может быть использован только на интерфейсе S5- S2a и при адресе типа FCoA. Перечень и общее описание сетевых интерфейсов, обеспечивающих взаимодействие сети LTE с сетями доступа не- 3GPP, приведены в табл. 3.2.

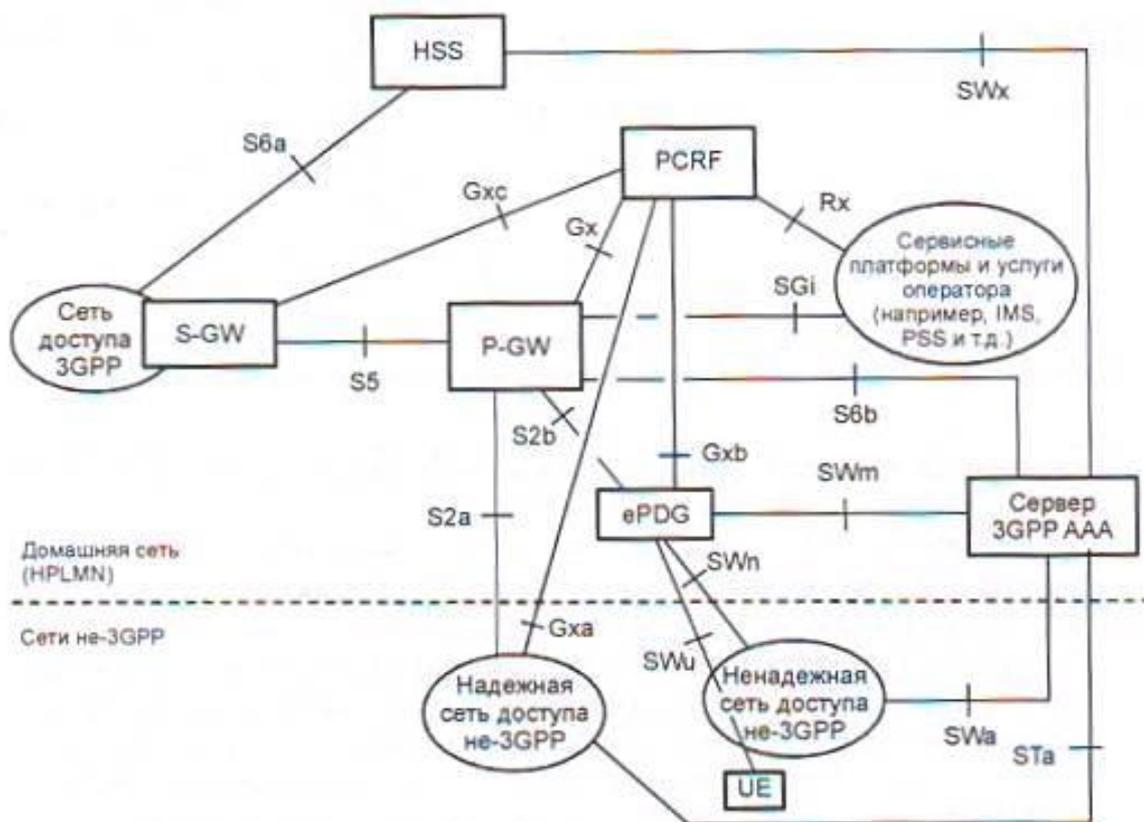


Рис. 3.8. Схема взаимодействия сети LTE с сетью доступа Не-3GPP при использовании протоколов управления мобильностью на интерфейсах S5, S2a, S2b

В схеме, изображенной на рис. 3.9, мобильность терминалов обеспечивается протоколом DSMIPv6, реализованным на интерфейсах S5, S2c.

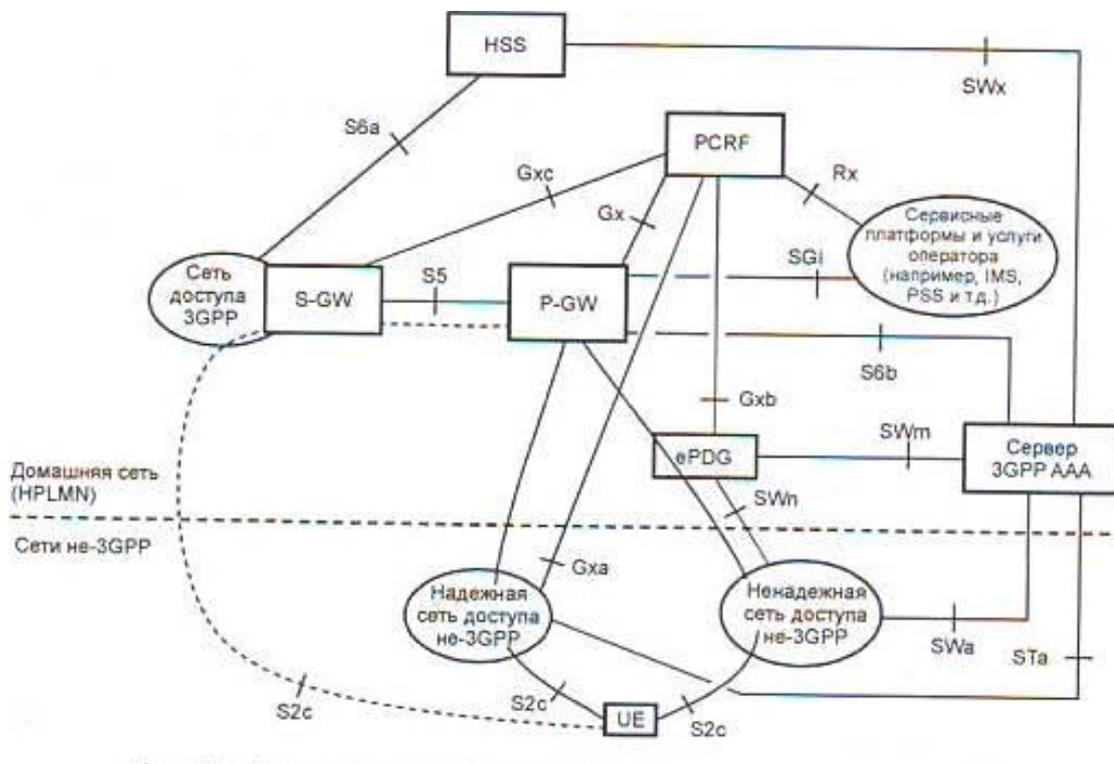


Рис. 3.9. Схема взаимодействия сети LTE с сетью доступа H8-3GPP при использовании протоколов управления мобильностью на интерфейсах S5, S2c

Основные особенности схем, представленных на рис. 3.8 и 3.9. заключаются в следующем:

- на интерфейсе SS могут использоваться протоколы GTP либо PMIPv6;
- интерфейс Gxc задействуется только при использовании протокола PMIPv6 на интерфейсе S5 или S8;
- интерфейс Gxa применяется только при взаимодействии с надежными сетями доступа не-3GPP, которые принадлежат оператору сети LTE;
- на интерфейсе S2c при взаимодействии с сетями доступа не-3GPP в качестве протоколов управления мобильностью используется протокол

DSMIPv6; протокол DSMIPv6 используется также при взаимодействии с сетями доступа 3GPP (штрихпунктирная линия на рис. 3.9).

В качестве примера схемы взаимодействия сети LTE с сетями доступа не-3GPP в условиях роуминга и использования протокола управления мобильностью PMIPv6 на интерфейсах S8, S2a, S2b можно привести схему, показанную на рис. 3.10. Как видно из рисунка, в роуминге используется дополнительный интерфейс S9, обеспечивающий взаимодействие функциональных модулей V-PCRF и H-PCRF.

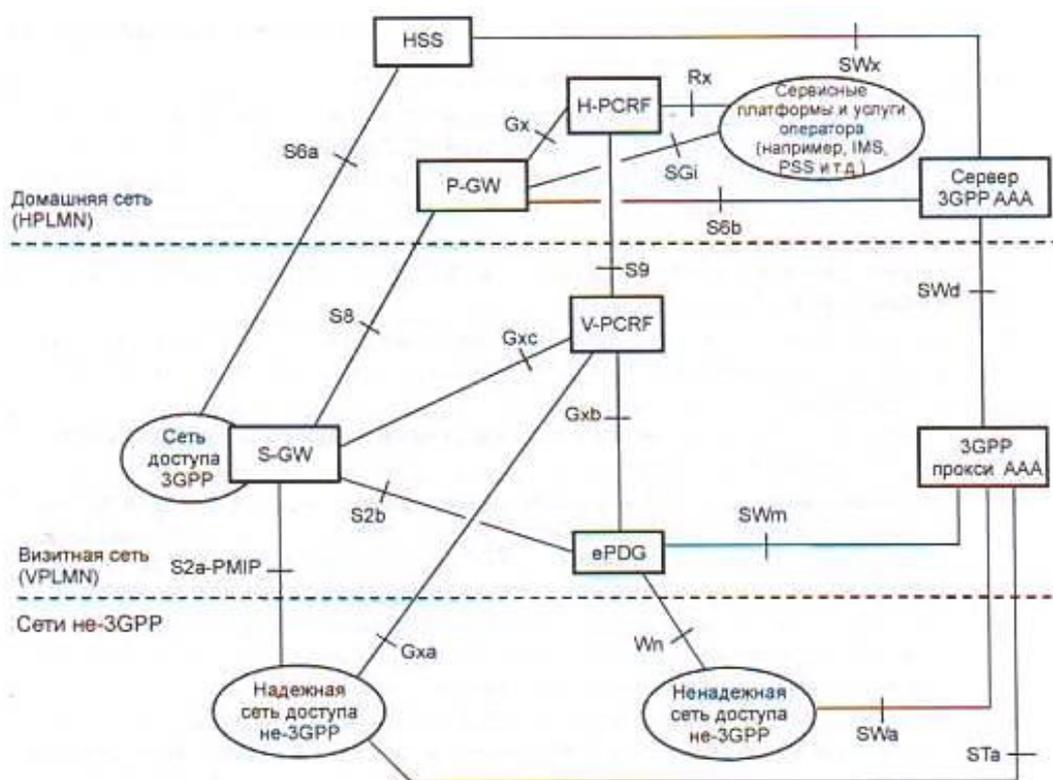


Рис. 3.10. Схема взаимодействия сети LTE с сетями доступа Не-3GPP в условиях роуминга и использования протокола управления мобильностью PMIPv6 на интерфейсах S8, S2a, S2b

Важной особенностью различных схем сети LTE в условиях роуминга является применение двух вариантов терминации пользовательского трафика в сеть Интернет: терминацию трафика в домашней сети (home routed), как по-

казано на рис. 3.10. и локальную терминацию трафика в визитной сети (local breakout).

Таблица 3.2. Интерфейсы, используемые при взаимодействии сети LTE с сетями не-3GPP

Интерфейс	Описание интерфейса
S2a	Интерфейс между надежной сетью доступа не-3GPP и сетевыми элементами базовой сети EPC (либо шлюзом S-GW, либо шлюзом P-GW, в зависимости от схемы сети), обеспечивающий передачу данных пользователя и сигнализации. Интерфейс S2a поддерживает протоколы управления мобильностью PMIPv6, MIPv4 (с адресами по one FCoA)
S2b	Интерфейс между шлюзом ePDG (при взаимодействии с ненадежной сетью доступа не-3GPP) и сетевыми элементами базовой сети EPC (либо шлюзом S-GW, либо шлюзом P-GW, в зависимости от схемы сети), обеспечивающий передачу данных пользователя и сигнализации. Интерфейс S2b поддерживает протокол управления мобильностью PMIPv6
S2c	Интерфейс взаимодействия мобильного терминала шлюзом P43W, обеспечивающий передачу данных пользователя и сигнализации. Интерфейс S2c поддерживает протокола управления мобильностью DSMIPv6
S5	Интерфейс между шлюзами S-GW и P-GW, обеспечивающий передачу данных пользователей и сигнализации с использованием туннелей (на основе либо протоколе GTP, либо протокола GRE)
S6a	Интерфейс между шлюзами элементом MME и базой данных HSS, используемый для аутентификации и авторизации
S6b	Интерфейс между шлюзом P-GW и ЭБPP сервером / прокси AAA, использующий протокол DIAMETR обеспечивающий аутентификацию и авторизацию. С помощью данного интерфейса шлюз P-GW может запрашивать у 3GPP сервера/прокси AAA параметры качества обслуживания мобильного терминала в случае реализации динамической тарификации
Gx	Интерфейс, обеспечивающий передачу сообщаем управления качеством передачи данных (политик) и правил тарификации от функционального модуля PCRF к функциональному модулю PCEF, конструктивно размещенному в шлюзе P-GW
Gxa	Интерфейс, обеспечивающий передачу сообщений управления качеством передачи данных от функционального модуля PCRF к надежной сети доступа не-3GPP. Интерфейс Gxa применяется только в случае взаимодействия с надежными сетями доступа не-3GPP, принадлежащими оператору LTE

Gxb	Интерфейс между шлюзом ePDG и модулем V-PCRF, обеспечивающий передачу сообщений управления качеством передачи данных от модуля V-PCRF к шлюзу ePDG
Gxc	Интерфейс между шлюзом S-GW и модулем PCRF, обеспечивающий передачу сообщений управления качеством передачи данных от PCRF к S-GW
S8	Интерфейс между шлюзом S-GW визитной сети VPLMN и шлюзом P-GW домашней сети HPLMN, использующий протокол управления мобильностью PMIPv6. Интерфейс S8 необходим в условиях роуминга и в случае терминции пользовательского трафика в домашней сети
S9	Интерфейс между функциональными модулями H-PCRF и V-PCRF, обеспечивающей передачу сообщений управления качеством передачи данных. При локальной терминции трафика в визитной сети посредством интерфейса S9 передаются данные о правилах тарификации
SGi	Интерфейс между шлюзом P-GW и сетями передачи данных (например, сетью Интернет, корпоративной сетью передачи данных). С помощью интерфейса SGi сеть LTE взаимодействует с подсистемой IMS
SWa	Интерфейс взаимодействия ненадежных IP-сетей доступа не-3GPP с 3GPP сервером/прокси AAA по протоколу Diameter, используемый для безопасной передачи информации аутентификации, авторизации и тарификации
STa	Интерфейс взаимодействия надежных IP-сетей доступа не-3GPP с 3GPP сервером/прокси AAA по протоколу Diameter, используемый для безопасной передачи информации аутентификации, авторизации и тарификации
SWd	Интерфейс между 3GPP ложей AAA и 3GPP сервером AAA
SWm	Интерфейс взаимодействия 3GPP сервера/прокси AAA и шлюза ePDG для передачи данных сигнализации протокола AAA. Интерфейс используется также для передачи данных аутентификации и авторизации протоколов управления мобильности PMIPv6 (MAG-AAA) и MIPv6 (MIPv6 NAS-AAA)
SWn	Интерфейс между ненадежной IP-сетью доступа не-3GPP и шлюзом ePDG. Функциональность данного интерфейса соответствует функциональности интерфейса Wn, представленного в технической спецификации TS 23234
SWu	Интерфейс между мобильным терминалом и шлюзом ePDG, обеспечивающий безопасную передачу данных в туннеле IPSec. Обмен ключами при формировании туннеля IPSec выполняется с помощью протокола KEv2
SWx	Интерфейс между ЭБPP сервером AAA и базой данных HSS, обеспечивающий аутентификацию и авторизацию мобильных терминалов

Выводы к главе III

В результате развития стандарта GSM были разработаны ряд новых технологий передачи данных и речи:

- HSCSD – высокоскоростная передача данных по коммутируемым каналам, за счет объединения 4-х временных слотов и увеличения скорости передачи данных до 57,6 кбит/с ($14,4 \text{ кбит/с} * 4$);

- GPRS – пакетная передача данных общего назначения. Технология основана на передаче данных по сети с коммутацией пакетов параллельно с передачей речи в режиме коммутации каналов и обеспечивает передачу данных со скоростью 115 кбит/с. Для технология GPRS, отличие от HSCSD требовалась разработка новых поддерживающих её терминалов;

- EDGE – передача данных с повышенной скоростью для развития сетей GSM технология основана на передаче данных по сети с коммутацией пакетов, увеличение скорости передачи данных обеспечивается за счет введение нового метода модуляции 8PSK. При этом обеспечивается передача данных со скоростью до 384 кбит/с, а ширина полосы излучения GSM сигнала (200 кГц), структура кадра и структура логических каналов остаются без изменений. При этом каналы и трансверсы должны работать либо в режиме GSM/ GPRS, либо в режиме EDGE. В результате этого операторы GSM могут обслуживать наряду с услугами 2G и услуги 3G.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения рекомендаций МСЭ по разработке единого глобального стандарта на технологию радиointерфейса системы 3G, из-за технической несовместимости радиointерфейсов и сетевых платформ, а также из-за конкуренции между производителями оборудования за технологическое лидерство не позволили МСЭ установить единой взаимно гармонизированный всемирный стандарт.

В результате МСЭ принял решение об одобрении семейства стандартов радиодоступа IMT-2000, в которое после совершенствования вошли пять стандартов радиointерфейсов.

Использование технологии модуляции OFDM существенно повышает спектральную эффективность систем беспроводного доступа WiMAX (IEEE 802.16e) МСЭ с 2007 года в семейство радиointерфейсов включил новый интерфейс IMT Advanced (с технологией OFDM).

В соответствии с рекомендациями МСЭ для радиointерфейса IMT-2000 выделена ряд полос частот в различных частотных диапазонах от 806 МГц до 2960 МГц. В Узбекистане для широкополосных систем WiMAX выделена полоса частот 698-716/718-746 МГц; 777-787/746-756 МГц и 788-798/758-768 МГц для организации на территории республики мобильной широкополосной беспроводной сети по технологии LTE. Кроме этого дополнительно для технологии LTE на вторичной основе следующие диапазоны частот 815-830 МГц / 860-875 МГц, 845-856/804-815 МГц.

МСЭ подготовлен ряд отчетов по методике распределения радиочастотного спектра с учетом реальной загрузки планируемых к использованию диапазонов частот. Несмотря на это разработка систем IMT остается одним из приоритетных направлений деятельности МСЭ и её исследовательские комиссии ведут работу в этом направлении.

При разработке системы 3G в Европе в основном использовались технические решения, полученные для сетей GSM, т.к. технология GSM

занимает основное место в европейском рынке мобильной связи и развитие сетей GSM вложен огромные денежные средства и инвестиции, требующей скорейшей окупаемости. Кроме того будущая система 3G должна была удовлетворять следующим требованиям:

- для GSM имеются полное описание и технические требования в виде открытых стандартов технические требования к 3G принять как документы международных организаций стандартизации;

- сети 3G в начале разработки и эксплуатации должны были совместимы с сетями GSM и ISDN;

- сети GSM поддерживают мультимедийные и другие услуги во всех подсистемах сети;

- обеспечивает высокую пропускную способность сети радиодоступа и получил распространение во всем мире. Требования к пропускной способности сети 3G должны превышать соответствующие требования к узкополосным мобильным сетям GSM и широкополосным стационарным мультимедийным сетям;

- услуги, предоставляемые конечным пользователям сетей 3G не должны зависеть от особенностей технологии радиодоступа и выбранная архитектура не должна ограничить внедрение новых видов услуг технологическая платформа и услуги должны быть взаимозависимы, иметь открытую структуру.

В результате развития стандарта GSM были разработаны ряд новых технологий передачи данных и речи:

- HSCSD – высокоскоростная передача данных по коммутируемым каналам, за счет объединения 4-х временных слотов и увеличения скорости передачи данных до 57,6 кбит/с ($14,4 \text{ кбит/с} * 4$);

- GPRS – пакетная передача данных общего назначения. Технология основана на передаче данных по сети с коммутацией пакетов параллельно с передачей речи в режиме коммутации каналов и обеспечивает передачу

данных со скоростью 115 кбит/с. Для технология GPRS, отличие от HSCSD требовалась разработка новых поддерживающих её терминалов;

– EDGE – передача данных с повышенной скоростью для развития сетей GSM технология основана на передачу данных по сети с коммутацией пакетов, увеличение скорости передачи данных обеспечивается за счет введение нового метода модуляции 8PSK. При этом обеспечивается передача данных со скоростью до 384 кбит/с, а ширина полосы излучения GSM сигнала (200 кГц), структура кадра и структура логических каналов остаются без изменений. При этом каналы и трансверсы должны работать либо в режиме GSM/ GPRS, либо в режиме EDGE. В результате этого операторы GSM могут обслуживать наряду с услугами 2G и услуги 3G.

Одновременно с развитием сети GSM развивалась и сети стандарта UMTS и разрабатывались ряд устройств и технологических оборудований обеспечивающих передачу данных и речи с значительно большей скоростью до 1,28 Мбит/с, а внедрение OFDMA модуляции передачи данных 5 бит·с/Гц в полосе 20 МГц, т.е. обеспечивает скорость передачи 100 Мбит/с.

Совершенствования системы LTE надо вести в следующих направлениях:

- совершенствование функциональных возможностей радиointерфейса;
- введение новых видов услуг в сетевые возможностей;
- разработка перспективных планов развития сети связи;
- расширение зоны покрытия радиосигналами и сглаживание в них «мертвых, теневых» зон;
- использование нескольких путей распространения радиосигнала для борьбы с замираниями;
- увеличение пропускной способности каналов связи за счет разработки новых способов формирования и обработки сигналов (пространственный разнесение сигналов, кодовое разнесение при помощи ортогональных кодов, частот, разнесение по поляризации и т.д.);

– применение технологии ММО для увеличения качества передачи и приема сигналов (OFDM-сигналов), излучения и прием сигналов при помощи нескольких поляризованных антенн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

I. Законы Республики Узбекистан

1. Закон Республики Узбекистан «О связи». Ведомости Верховного Совета Республики Узбекистан, 1992 г., № 3, ст. 159; Ведомости Олий Мажлиса Республики Узбекистан, 1998 г., № 3, ст. 38; 2000 г., № 5-6, ст. 153; 2003 г., № 5, ст. 67.

2. Закон Республики Узбекистан «О телекоммуникациях». Ведомости Олий Мажлиса Республики Узбекистан, 1999 г., №9, ст. 219; Собрание законодательства Республики Узбекистан, 2004 г., №37, ст. 408; 2005 г., №37-38, ст. 279; 2006 г., №14, ст. 113; 2007 г., №35-36, ст. 353; 2011 г., №52, ст. 557.

3. Закон Республики Узбекистан «О радиочастотном спектре». Ведомости Олий Мажлиса Республики Узбекистан, 1999 г., №1, ст. 16; 2003 г., №5, ст. 67.

4. Закон Республики Узбекистан «Об информатизации». Ведомости Олий Мажлиса Республики Узбекистан, 2004 г., №1-2, ст.10.

II. Указы и постановления Президента Республики Узбекистан, Постановления Кабинета Министров

5. Постановление Президента Республики Узбекистан «О мерах по дальнейшему внедрению и развитию современных информационно-коммуникационных технологий». 21 марта 2012 г., №ПП-1730. Собрание законодательства Республики Узбекистан, 2012 г., №13, ст. 139.

6. Программа дальнейшего внедрения и развития информационно-коммуникационных технологий в Республике Узбекистан на 2012–2014 годы. Постановление Президента от 21.03.2012 г., №ПП-1730.

III. Произведения Президента Республики Узбекистан И.А.Каримова

7. Мировой финансово-экономический кризис, пути и меры по его преодолению в условиях Узбекистана / И.А.Каримов. – Т.: Узбекистан, 2009. – 48 с.

8. Каримов И. А. Обеспечить поступательное и устойчивое развитие страны – важнейшая наша задача. – Т. 17. – Т. «Узбекистан» - 2009. – 184с.

IV. Основная литература

9. Вишневский В.М. Портной С.Л., Шахнович И.В. Энциклопедия WiMAX Путь к 4G. – М.: Техносфера, 2009.

10. Шахнович И.В. Современные технологии беспроводной связи. – М.: Техносфера, 2006.

11. Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Распаев Ю.А. Сети и системы радиодоступа. – М.: Эко-трендз, 2005.

12. Карташевский В.Г., Семенов С.Н., Фирстова Т.В. Сети подвижной связи. – М.: Эко-трендз, 2001.

13. Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. Системы цифровой радиосвязи. – М.: Эко-трендз, 2005.

14. Тихвинский В.О. Сети подвижной связи третьего поколения: экономические и технические аспекты развития в России. – М.: Радио и связь, 2004.

15. Тихвинский В.О., Володина Е.Е. Подвижная связь третьего поколения: экономика и качества услуг. – М.: Радио и связь, 2005.

16. Тихвинский В.О., Терентьев С.В. Управление и качество услуг в сетях GPRS/UMTS. – М.: Эко-трендз, 2007.

V. Дополнительная литература

17. Русско-узбекский толковый словарь терминов по системам мобильной связи. Центр научно-технических и маркетинговых исследований. – Ташкент.- 2008.

18. Русско-узбекский толковый словарь терминов по системам беспроводного доступа. Государственное унитарное предприятие Центр научно-технических и маркетинговых исследований – «UNICON.UZ». – Ташкент. - 2010.

19. Талем Ю.А., Садовский В.Б. Спектральные методы оценки качества передачи цифровых сигналов. – М.: Радио и связь, 1994.

20. Немировский М.С. Цифровая передача информации в радиосвязи. – М.: Связь, 1980.

21. Гуревич М.С. Спектры радиосигналов. – М.: 1989.

VI. Периодические издания, статистические сборники и отчеты

22. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Минаев И.В. Стандартизация, спецификации, эволюция технологии и архитектура базовой сети LTE // Сети и средства связи, №2(10). Специальный выпуск «Сети доступа». – 2009. - №3.

23. Решение ГКРЧ от 20 января 2009 г. № 09-01-07. О порядке использования полосы радиочастот 2300-2400 МГц для развития технологии мобильного широкополосного доступа.

24. Тихвинский В.О. Применение сервисной и технологической нейтральности для повышения эффективности использования спектра в сетях LTE/UMTS/WiMAX // «Т-Comm» (Телекоммуникация и транспорт). Специальный выпуск. – 2009.

25. Тихвинский В.О. Технологические принципы глобальной совместимости сетей LTE с мобильными сетями других стандартов // Материалы конференции «Глобальная совместимость – актуальная проблема современных телекоммуникаций», 2010.

26. Тихвинский В.О., Терентьев С.В. От GERAN/UTRAN к LTE. Перспективы развития и эволюция радиоинтерфейса // Телекоммуникация и транспорт. – 2007. – №7-8.

27. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Минаев И.В. Сравнительный анализ спектральной эффективности систем UMTS и LTE // Мобильные Телекоммуникации. – 2008. №2.

28. Тихвинский В.О. Использование сервисной платформы IMS в конвергентных сетях 3G/LTE и NGN для предоставления мультимедийных услуг // Труды 3-ий международной конференции «Конвергенция телекоммуникационных сетей и услуг в России», 2009.

29. Демографические данные за 2011 год, опубликованные Государственным комитетом Республики Узбекистан по статистике (<http://stat.uz>).

30. Материалы Коллегии УзАСИ, посвященной итогам работы отрасли за первый квартал 2012 г.

31. Доклад Президента Республики Узбекистан Ислама Каримова на заседании Кабинета Министров, посвященном итогам социально-экономического развития страны в 2012 году и важнейшим приоритетным направлениям экономической программы на 2013 год. 18 января 2012 года. Опубликовано в открытой печати 19 января 2013 года. Газета «Народное слово».

32. Каюмов Б.А., Курбонов Ё.У., Кирикчи В. Организация мультисервисной IP сети услуг. «Ахборот технологиялари ва телекоммуникация муамолари» Республика илмий-техник конференцияси. Тошкент 2012 йил 15-16 март. III-том. 120-121 бет.

33. Каюмов Б.А., Алимов М.М. Частотаси ва фазаси модуляцияланган спектри кенгайтирилган сигналларни таққослаш. «Ахборот технологиялари ва телекоммуникация муаммолари» Республика илмий-техник конференцияси. Тошкент 2013 йил 14-15 март. 4-қисм. 251-254 бет.

34. Каюмов Б.А., Файзиев Ф.М. Мобильные системы третьего поколения. «Ахборот технологиялари ва телекоммуникация муаммолари» Республика илмий-техник конференцияси. Тошкент 2013 йил 14-15 март. 4-қисм. 258-260 бет.

VII. Интернет сайты

- 35.<http://asusrouter.ru> (Новости мира беспроводных технологий)
- 36.<http://3gclub.ict-online.ru> (Специализированный раздел проекта «Инфокоммуникации онлайн»)
- 37.<http://www.telemultimedia.ru> (Интернет-журнал по широкополосным сетям и мультимедийным технологиям)
- 38.<http://www.powerengineering.ru> (Официальный сайт группы компаний «ПАУЭР ИНЖИНИРИНГ»)
- 39.<http://trendnet.ru> (Официальный сайт компании TRENDnet)
- 40.<http://gazeta.uz> (Интернет-издание «Газета.uz»)
- 41.<http://stat.uz> (Государственный комитет Республики Узбекистан по статистике)
- 42.<http://scitt.uz> (Государственный комитет связи, информатизации и телекоммуникационных технологий Республики Узбекистан)