

## ПРЕДИСЛОВИЕ

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. абонентов – 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. Радиоинтерфейс сети UMTS, основанный на технологии множественного доступа с кодовым разделением каналов (W-CDMA), имеет ряд отличий от радиоинтерфейса сети GSM. Главная особенность этого радиоинтерфейса 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 (ШПС) 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 – DS-CDMA (Direct Sequence 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 различных направлений распространения 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 UMTS являются [1]:

- 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 в сети 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 за счет использования протоколов плоскостей пользователя и управления сети 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 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) осуществил разработку новой версии системы UMTS Release 8,

включающей сеть радиодоступа E-UTRAN и базовую сеть SAE, и получившей название LTE (Long Term Evolution). Использование новой технологии OFDMA существенно повысило спектральную эффективность систем WiMAX (IEEE 802.16e), что 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 OFDMA, получивший обозначение IMT Advanced [2].

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 длительной эволюции системы LTE в направлении LTE Advanced (Release 9,10).

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

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

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 организацию, которая участвует в разработке стандартов LTE, а ее инициативный проект был назван NGMN (Next Generation Mobile Networks).

Эта организация призвана дополнить работы, ведущиеся в направлении развития системы LTE существующими группами 3GPP и ETSI, занимающимися стандартизацией технологий. Организация разработала рекомендации и требования к функциональности и производительности сетей LTE, которые должны быть отражены в будущих спецификациях. Основная цель организации – 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 в направлении LTE является дальнейшее улучшение качества предоставления услуг и уменьшение расходов пользователей, а также эксплуатационных расходов операторов.

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

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

В первой главе книги приведены основные этапы развития мобильной связи третьего поколения. Проанализирован процесс создания и стандартизации системы UMTS в Европейском институте стандартизации электросвязи ETSI (Release 99–7) и системы LTE в Партнерском проекте 3GPP (Releases 8–10).

Во второй главе рассмотрены вопросы использования радиочастотного спектра для сетей UMTS/LTE, проанализированы опыт международного регулирования использования спектра в полосах частот «цифрового дивиденда» 790...862 МГц, 1900...2170 МГц и 2500...2690 МГц сетями UMTS/LTE. Исследовано влияние на сети UMTS/LTE решений ВКР-07, а также концепции WAPECS (гибкого подхода к управлению использованием спектра в Европе и политики ЕС по электронным беспроводным сетям).

В третьей главе изложены особенности архитектуры и интерфейсов сети LTE, а также рассмотрены функциональные элементы в рамках сети радиодоступа E-UTRAN и базовой сети SAE.

Четвертая глава посвящена взаимодействию сети LTE с сетями стандартов 3GPP (GSM/UMTS), а также сетям стандартов не-3GPP (CDMA 2000, WiMAX)

В пятой главе раскрываются особенности управления радиоресурсами в сети LTE, включая управление состояниями абонентского терминала в сети LTE и управление качеством предоставления услуг.

В шестой главе освещены вопросы развития технологий радиointерфейса от сети доступа UTRAN в направлении сети доступа E-UTRAN, а также отмечены особенности

построения радиointерфейса сети доступа E-UTRAN в линии «вниз» (downlink) и в линии «вверх» (uplink). Приведено описание параметров функционирования и временной структуры сигналов в этой сети в режиме TDD, а также структуры радиointерфейса E-UTRA TDD при множественном доступе OFDMA и SC-FDMA.

В седьмой главе проведен анализ спектральной эффективности систем мобильной сотовой связи UMTS и LTE с другими технологиями мобильной связи и широкополосного доступа.

В восьмой и девятой главах рассмотрены возможности технологии MIMO, теоретические основы использования пространственно-временного кодирования в технологии MIMO и принципы построения систем связи на основе технологии MIMO. Отражены методы оптимального детектирования сигналов на приемной стороне в технологии MIMO и варианты применения технологии MIMO в сети радиодоступа E-UTRAN.

Глава десять посвящена вопросам регулирования использования ресурса нумерации, адресации и идентификации в сетях UMTS в России и в международных организациях связи. На основе международных документов изложен порядок использования номеров, адресов и идентификаторов в сетях UMTS/LTE.

В одиннадцатой и двенадцатой главах рассмотрены вопросы нумерации, адресации и идентификации в сети UMTS при ее взаимодействии с внешними IP-сетями. Детализированы шаги маршрутизации и прохождения вызовов при установлении соединений в сетях UMTS/IMS и NGN.

В приложениях книги приведены: детализированная архитектура совмещенной сети GERAN/UMTS/LTE; основные команды, используемые при установлении соединений в сети UMTS/LTE и в подсистеме IMS; перечень технических спецификаций, вошедших в Release 8 и составивших основу разработки Release 9.

Книга может стать теоретической базой для дальнейшей разработки и проектирования, управления качеством услуг и оптимизации сетей мобильной связи LTE.

Авторы благодарны генеральному директору ОАО «ГИПРОСВЯЗЬ» Е.В. Большакову, советнику генерального директора ОАО «ГИПРОСВЯЗЬ» канд. экон. наук А.П. Вронцу, декану ФЭУ МТУСИ докт. экон. наук, профессору Т.А. Кузовковой, заведующей кафедрой ОПАБУ МТУСИ докт. экон. наук, профессору Н.П. Резниковой, президенту РАЕН академику РАЕН, профессору О.Л. Кузнецову, директору Ассоциации WiMAX Forum по России и СНГ докт. техн. наук, профессору С.Л. Портному за их поддержку исследований авторов и ряд ценных советов, способствовавших улучшению книги.

Особую признательность авторы выражают друзьям и коллегам из Европейского института стандартизации электросвязи: вице-президенту ETSI доктору Майклу Шарпу и техническому эксперту ETSI И.В. Минаеву; сотруднику Европейского радиобюро (ERO) СЕРТ канд. техн. наук А.В. Гуляеву; руководителю группы управления жизненным циклом продукта DETECON International, иностранному члену ИТТ РАЕН доктору Юлиусу Головачеву, коллегам по ЦИТУ ОАО «ГИПРОСВЯЗЬ» М.А. Улитину и М.С. Майорову, главному специалисту ОАО «МТС» чл.-корр. РАЕН В.Г. Скрынникову, председателю совета директоров ЗАО «Современные телекоммуникации» П.С. Добрину за помощь при подготовке книги.