



**Томислав
Блайич**

Томислав Блайич

Эрикссон Никола Тесла а.о., Загреб, Хорватия
Ericsson Nikola Tesla d.d., Zagreb, Croatia

Ключевые слова:

**Долгосрочная эволюция систем 3G, LTE.
Супер 3G.
Высокоскоростной пакетный доступ
нисходящей линией связи, HSDPA.
Улучшенная восходящая линия связи, E-UL.
Мультимедийные услуги ширококвещательной и
групповой передачи, MBMS.
Многоуровневая передача, или многократный
вход – многократный выход, MIMO.
Мультиплексирование с ортогональным
частотным разделением, OFDM
Множественный доступ с частотным
разделением на одной несущей, SC-FDMA
Эволюция архитектуры системы, SAE**

Key words:

**3G Long-Term Evolution, LTE
Super 3G
High Speed Downlink Packet Access, HSDPA
Enhanced Uplink, E-UL
Multimedia Broadcast and Multicast Services,
MBMS
Multiple Input - Multiple Output, MIMO
Orthogonal Frequency Division Multiplex, OFDM
Single Carrier Frequency Division Multiple
Access, Single Carrier FDMA, SC-FDMA
System Architecture Evolution, SAE**

Эволюция радиосети доступа в мобильных системах третьей генерации

Резюме

Мобильные системы третьей генерации (3G – 3rd Generation), основанные на широкополосном множественном доступе с кодовым разделением каналов (WCDMA – Wideband Code Division Multiple Access), внедряются по всему свету. Первыми шагами в направлении развития этой технологии было введение высокоскоростного пакетного доступа нисходящей линией связи (HSDPA – High Speed Downlink Packet Access), а также улучшенной восходящей линии связи (E-UL – Enhanced Uplink), посредством которых осуществляется высоко конкурентный радио доступ. Так как требования и ожидания пользователей и поставщиков услуг постоянно возрастают, в рамках проекта сотрудничества в создании сетей третьей генерации 3GPP (3G Partnership Project) началось рассмотрение следующего крупного шага на пути эволюции стандарта 3G (известного и под названиями Super 3G, или LTE – Long-Term Evolution). Целью исследований является обеспечение долгосрочной конкурентоспособности системы 3G. Проект 3GPP инициировал студию под названием “Наземная развитая UMTS радиосеть доступа” («Evolved UTRA and UTRAN»). Студия исследует возможности осуществления значительного улучшения показателей системы, прежде всего, увеличения скорости передачи и сокращения времени ожидания (latency), которые бы позволили улучшить предоставление услуг, а также снизить расходы пользователей и операторов. Технологии, вследствие применения которых могут быть осуществлены желаемые улучшения, включают использование мультиплексирования с ортогональным частотным разделением (OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplex) в нисходящей линии связи, а также множественный доступ с частотным разделением на одной несущей (SC-FDMA - Single Carrier Frequency Division Multiple Access) в восходящей линии связи, использование решений с множеством антенн, улучшение качества услуг и улучшение архитектуры системы. По идее, изделия, базирующиеся на новых спецификациях, станут доступными в 2009 – 2010 году.

Evolution of radio access network in 3G mobile systems

Abstract

3rd generation mobile systems (3G) based on Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) are being deployed all over the world. The first step in enhancement or evolution of this technology is the introduction of High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) and Enhanced Uplink (E-UL), providing highly competitive radio access.

As both user and operator demands and expectations continue to grow, 3G Partnership Project (3GPP) started to consider the next major step in the evolution of 3G standard (also known as Super 3G or LTE – Long-Term Evolution) to ensure long-term competitiveness of 3G. 3GPP has launched a study entitled «Evolved UTRA and UTRAN» with the aim to investigate possibilities of achieving major performance growth, primary with higher data rates and lower latency, to improve service provisioning and reduce user and operator costs. Technologies that promise to provide expected improvements include application of Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) access in the downlink and Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) in the uplink, the usage of multi-antenna solutions, enhancements in quality-of-service and evolved system architecture. The initial availability of products based on new specifications is foreseen between 2009 and 2010.

1. Введение

При реализации сетей, базирующихся на широкополосном множественном доступе с кодовым разделением каналов (WCDMA - Wideband Code Division Multiple Access), внимание и далее сосредоточено на обеспечение качественного охвата (в основном, в городских зонах), а также на предоставление новых услуг (Рис. 1). Последующие шаги в направлении развития этих сетей потребуют охвата и редко населенных зон, а также роста емкости систем. Это одна из причин стимулирования улучшения функциональных возможностей, которые влияют на охват и емкость. Некоторые из этих функциональных возможностей доступны уже сегодня, а некоторые станут доступными в близком будущем. Предварительный опыт по развитию беспроводных систем указывает, что системы не осуществляют свои теоретические возможности в полном объеме, если их реализация выполняется в широко распространенной сети из-за ограниченных возможностей пользовательского или сетевого оборудования, или радио охвата. Увеличенная фрагментация в развитии беспроводных систем также может замедлить дальнейшую эволюцию систем третьей генерации (3G – 3rd Generation). И все-таки, различные модели показывают, что дальнейшая 3G эволюция сможет обеспечить поддержку потенциально важных новых услуг:

- Передача речевой нагрузки по IP-сетям (VoIP - Voice over IP) – резкое уменьшение заголовков, присваиваемых VoIP пакетам, емкость и финансовые улучшения развитой 3G системы, наконец, сделают осуществимой передачу речевой нагрузки с использованием VoIP решений. Таким образом, в скором времени операторам открывается возможность коммерческого предложения VoIP услуг (присутствие, сообщения, мультимедиа), а одновременно в будущем обеспечивается возможность использования структур, полностью базирующихся на IP решениях.
- Мобильные телевидение (TV) и радио – увеличенная емкость развитой 3G системы обеспечит улучшенные возможности предлагаемых мобильных TV и радио услуг, например, поддержку передачи по 10 TV каналам, передачи по 10 радио каналам и получасовое ежедневное использование TV и радио передачи по запросу.

- Широкополосный доступ к сети Интернет – хотя трудно ожидать, что развитая 3G система будет в состоянии обеспечить характеристики самых передовых стационарных сетевых технологий, наподобие высокоскоростной цифровой абонентской линии (VDSL – Very high bit rate Digital Subscriber Line), или оптоволоконна, открывается возможность предоставления услуг пользователям, которые не имеют доступа к передовым стационарным услугам (например, если находятся слишком далеко от коммутационного узла). Одновременно открывается возможность для предоставления широкополосного доступа к сети Интернет на большой территории, предоставление услуг покупателям на уровне, подобному в их квартирах (или на работе) и даже если они находятся вне досягаемости стационарного или беспроводного широкополосного доступа с кратким радиусом досягаемости.

Так как считается, что в близком будущем использование Интернет протокола станет повсеместным, и все будущие услуги будут передаваться поверх IP уровня, дальнейшее развитие должно быть направлено на улучшения пакетного домена – пакетной коммутации (PS – Packet Switched).

Вначале эволюционированная WCDMA система (eHSPA), а немного позднее и долгосрочная эволюция (LTE – Long-Term Evolution) могут обеспечить значительные коммерческие преимущества (по сравнению с альтернативными беспроводными технологиями). Речь идет об эволюции инфраструктуры, которая позволяет повторное использование существующих локаций для базовых радио станций, также и оборудования, а одновременно снижаются затраты реализации и обслуживания.

Важным элементом делового плана развития 3G LTE будет доступность и стоимость частотного спектра. С целью осуществления максимальной прибыли, системы 3G потребуют дополнительного спектра, с шириной полосы равной 20МГц ради осуществления самой большой полосы пропускания данных и емкости. Поэтому, вероятно, появится потребность обеспечения дополнительного частотного спектра (например, IMT-2000 расширенная полоса).

Долгосрочная эволюция 3G системы, вероятно, предложит новые привлекательные источники прибыли, однако важно при этом не отбросить возможности, которые еще существуют в системе WCDMA.

2. Эволюция системы WCDMA

Нынешние и улучшенные 3G системы должны включать функции, с помощью которых улучшатся характеристики системы, доступные в данное время. Потребности новых услуг в больших скоростях передачи, а также запросы окончательных пользователей к увеличенным возможностям стимулируют эволюцию. Эволюционированная система WCDMA (Рис. 2.) поддерживает и улучшает широкополосный доступ. Услуги, поддерживаемые системой, базирующейся на спецификации R99, усовершенствованы в версиях 5 и 6 (Release 5 & 6) спецификаций 3GPP.

2.1. Высокоскоростная пакетная передача в нисходящей линии связи

Первым шагом на пути эволюции системы WCDMA является введение высокоскоростного пакетного доступа нисходящей линией связи (HSDPA - High Speed Downlink Packet Data Access), который уже сейчас находится в коммерческом при-

Большие скорости передачи
пиковая скорость > 100 Мб/с

Улучшенное взаимодействие
Время ожидания: всего 10 мс

Мобильность
до 350 км/час

Широкополосные услуги и новые приложения



Рис. 1. Широкополосные услуги и новые приложения стимулируют эволюцию систем 3G

менении (Рис. 3.). HSDPA предлагает улучшенную поддержку для негарантированных (best-effort) пакетных услуг, осуществляя:

- улучшенное качество сквозной, из конца в конец коммуникации (end-to-end), что значительно сокращает время, требуемое для скачивания данных (download);
- высшие пиковые скорости передачи – до 14 Мбит/с;
- уменьшенное время ожидания (latency) за 50 % (на при близительно 75 мс);
- в 3-4 раза увеличенную емкость системы.

Хотя при развитии технологии HSDPA ударение, прежде всего, было сделано на услуги без гарантии уровня качества, очевидно, и другие типы услуг (например, streaming - потоковые) могут использовать улучшения, которые заметны не только в радиосети доступа. Эти изменения сказываются и на окончательных пользователях вследствие улучшенного взаимодействия с, например, протоколом управления передачей TCP/IP.

Следующий шаг на пути эволюции системы WCDMA представляет версия 6 (Release 6) спецификации 3GPP, которая ввела технологию улучшенной восходящей линии связи (E-UL - Enhanced Uplink). Технология известна как высокоскоростной пакетный доступ восходящей линией связи (HSUPA - High Speed Uplink Packet Access) и поддерживает:

- повышенные пиковые скорости передачи в восходящей линии связи – до 5,8 Мбит/с;
- уменьшенное время ожидания – до 50 мс;
- увеличенную емкость восходящей линии связи: 50 - 100 %.

HSDPA и E-UL, под совместным названием “Высокоскоростной пакетный доступ” (HSPA – High Speed Packet Access), значительно увеличивают емкость системы, что обеспечивает поддержку большего числа одновременных пользователей наряду с большими скоростями. Ради полного использования склонной всплескам пакетной коммуникации, а также быстрых перемен в радио окружении, HSPA применяет быстрое и динамическое распределение ресурсов в нисходящей и восходящей линиях связи, используя при этом:

- гибридный протокол “Автоматический запрос повторной передачи” (HARQ) с гибким комбинированием (soft-combining) при повторной передаче данных;
- распределение (scheduling);
- быстрое приспособление соединения с использованием модуляции высшего порядка (только для нисходящей линии связи).

При этом соответствующие функции размещены на базовой радио станции с целью обеспечения возможности быстрой

адаптации и короткого времени ожидания. Кроме того, промежуток времени передачи (TTI – Time Transmission Interval) дополнительно сокращен на 2 мс, вследствие чего дополнительно ускорен процесс адаптации и уменьшено время ожидания.

Хотя в нисходящей и в восходящей линиях связи применены идентичные принципы, некоторые основные отличия между ними влияют на проектирование системы. Так, например, в нисходящей линии связи разделяемыми ресурсами являются мощность и число кодов, доступных на базовой радиостанции. В восходящей линии связи мощность распределена между терминалами, а критическим ресурсом является количество интерференции, вносимой каждым отдельным пользователем.

2.2. Мультимедийные услуги широковещательной и групповой передачи

Развитие функций широковещательной, ненаправленной передачи (broad-cast) и групповой передачи (multicast), в основном, вызвано емкостными причинами. Хотя интерактивные радио носители доступа (interactive radio access bearers) и технология HSDPA вначале могут выдержать нагрузку, генерируемую услугами типа мобильного телевидения, в будущем рост нагрузки потребует решений, непосредственно связанных с эффективностью этих услуг.

Введение поддержки для мультимедийных услуг широковещательной, ненаправленной и групповой передачи (MBMS - Multimedia Broadcast and Multicast Services) в версии 6 спецификаций 3GPP, открывает перспективу для лучшей одновременной передачи потоковых (streaming) услуг к многочисленным пользователям (Рис. 4.). Решение MBMS обеспечивает возможность широковещательной передачи от одной точки к множеству точек (point-to-multipoint), предлагая, таким образом, эффективную передачу IP нагрузки из одного источника к множеству точек назначения. С точки зрения оператора ре-

шение MBMS может быть очень привлекательным долгосрочным решением для широковещательной передачи, т.к. нет потребности инвестирования в совершенно новую систему или в дополнительный частотный диапазон.

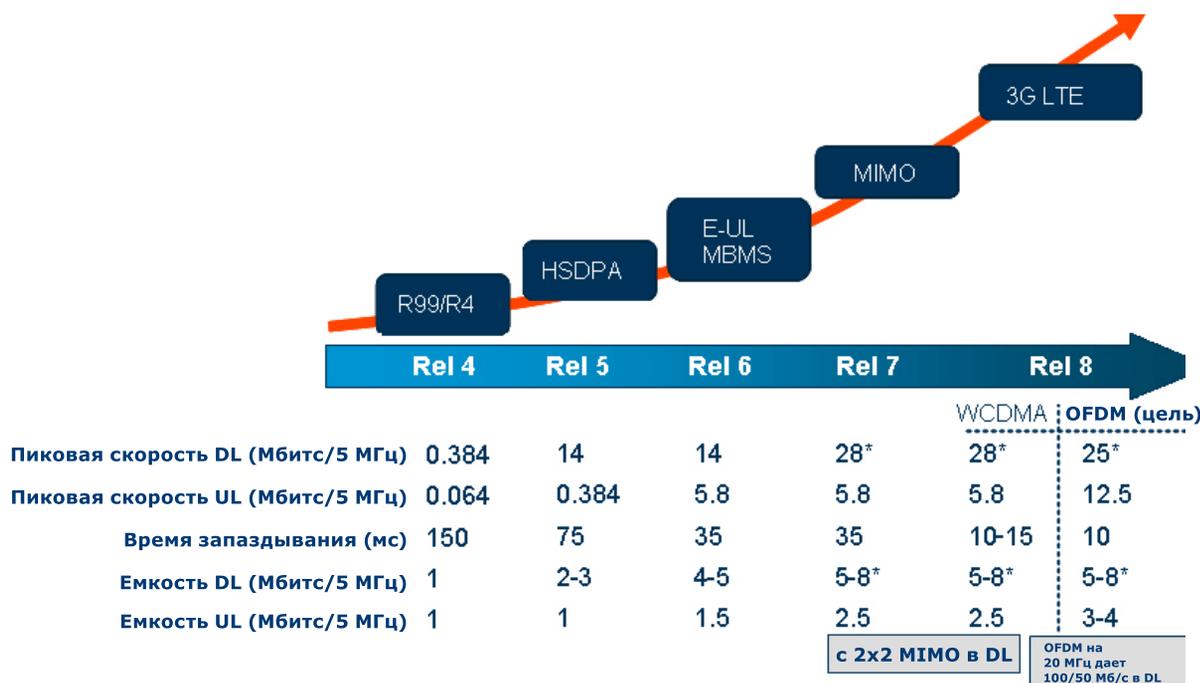
Когда речь идет о емкости, преимущества решения MBMS над отдельными линиями связи между двумя точками (point-to-point) особенно выражено в том случае, когда множество MBMS пользователей находятся внутри одной и той же ячейки. Если же число таких пользователей очень малое, выгоднее для каждого пользователя установить отдельное соединение двухточечного типа.

В рамках системы WCDMA решение MBMS полностью использует уже существующие логические и физические каналы, требуя лишь трех новых логических каналов (МССН – управляющий канал, МСЧН – канал распределения (scheduling), МТСН – канал нагрузки), и одного физического канала (МИСН – канал индикатора сообщения). Сеть использует канал МИСН для сообщения терминалам о доступной MBMS информации на канале МССН.

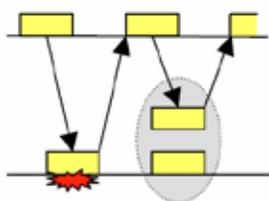
При использовании MBMS технологии согласно версии 6 спецификаций 3GPP, одна ячейка с несущей 5 МГц может поддерживать 16 MBMS каналов типа точка-многоточка. Пользователю обеспечивается скорость 64 кбит/с по каналу, в случае терминала с одной антенной. Разные возможности выполнения терминала могут дополнительно увеличить емкость ячейки по несущей частоте. Непосредственное выполнение разветвления (diversity) на приемнике посредством двух антенн удваивает емкость (на 32 канала). Современные приемники (например, приемник G-RAKE) вводят дополнительные механизмы для подавления интерференции, вследствие которых емкость возрастает до 40 или больше каналов, а в результате совокупная емкость ячейки по несущей составляет 2,5 Мбит/с и больше.

Существенной характеристикой решения MBMS является

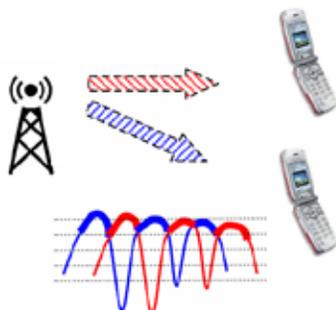
Рис. 2. Непрерывная эволюция WCDMA радиосети доступа



Быстрый гибридный ARQ



Быстрое распределение



Быстрая адаптация соединения



Рис. 3. Основные принципы технологии HSDPA

его приспособляемость. Решение MBMS может использовать только часть совокупной емкости ячейки по несущей частоте, а остальную часть использовать для стандартных услуг. Каждая отдельная MBMS радио несущая может иметь и другую скорость передачи. Максимальная поддерживаемая скорость составляет 256 кбит/с, но из-за ограничений терминалов (поддерживаемая разрешающая способность и размер экрана) 64 кбит/с достаточно для передачи новостей, а 128 кбит/с для передачи спортивных содержаний.

Реализация LTE требует дальнейшего улучшения спектральной эффективности в 4 до 6 раз по сравнению с версией 6 спецификаций 3GPP, а также предоставления большего числа ненаправленных каналов передачи.

2.3. Эволюция HSPA (eHSPA) технологии

Версия 7 спецификаций 3GPP в процессе постепенной эволюции вводит дальнейшие улучшения, которые могут полностью использовать потенциал технологии HSPA, самой мощной мобильной технологии в данное время.

Цели, стоящие перед процессом эволюции системы HSPA, должны быть в ранге LTE запросов в диапазоне 5 МГц (Рис. 5.):

Нисходящая линия связи:

- пиковая скорость – минимально 40 Мбит/с;
- средняя пропускная способность у пользователя – минимально 10 Мбит/с;
- пропускная способность на границе ячейки – минимально 3 Мбит/с.

Восходящая линия связи:

- пиковая скорость – минимально 10 Мбит/с;
- средняя пропускная способность у пользователя – минимально 4 Мбит/с;
- пропускная способность на границе ячейки – минимально 1,5 Мбит/с.

Для осуществления этих целей обязательным является использование модуляции высшего ранга и технологии многократного входа – многократного выхода (MIMO - Multiple Input-Multiple Output), а существует также возможность выполнения с большим числом несущих (например, 10 МГц).

3. Долгосрочная эволюция

систем третьей генерации (3G LTE)

Главными целями эволюции систем 3G является дальнейшее улучшение предоставления услуг и уменьшение пользовательских и эксплуатационных расходов. Ключевыми целями, из аспекта характеристик и возможностей, стоящими перед долгосрочной эволюцией систем 3G, являются:

- потенциал для предоставления значительно высших скоростей передачи по сравнению с решениями HSDPA и E-UL, с пиковыми скоростями, превышающими 100 Мбит/с в нисходящей линии связи, и 50 Мбит/с в восходящей линии связи;
- улучшенный охват – высокие скорости передачи наряду с охватом большой территории;
- потенциал для значительного уменьшения времени ожидания (latency) в плоскости пользователя вследствие улучшения характеристик протоколов на высших уровнях (например, TCP), а также уменьшение запаздывания, связанного с процедурами в плоскости управления (на пример, установление сессии);
- увеличенная емкость системы – в три раза увеличенная емкость по сравнению с нынешними стандартами.

Вторым ключевым требованием к долгосрочной эволюции является потребность простой и эффективной миграции в направлении этих технологий. Это требование осуществимо, если операторам обеспечены следующие условия:

- возможность установления новой системы в существующем (уже оплаченном) частотном диапазоне – этот запрос значит обеспечение возможности гибкого использования диапазона и возможную реализацию в различных частях выделенного частотного диапазона (например, частотный диапазон 2G и 3G);
- возможность повторного использования существующих локаций, капиталовложений и оборудования систем передачи;
- возможность сохранения существующей базы оконечных пользователей наряду с гладкой заменой старых услуг новыми, а это влечет за собой обеспечение непрерывности услуг и мобильности между различными системами;
- возможность реализации новой технологии в прибыльных областях, а в остальных областях операторы и далее могут полагаться на существующие системы охвата и, в какой-то

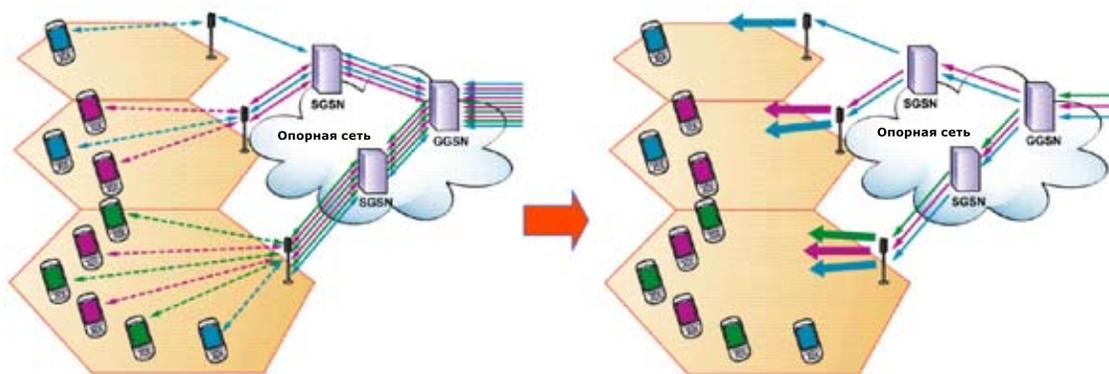


Рис. 4. Передача содержания мобильного телевидения без и с использованием решения MBMS

степени, емкости, однако и здесь требуется непрерывность услуг и мобильность между различными системами.

Кроме того, производители оборудования должны иметь возможность повторного использования предыдущих инвестиций в развитие, что позволит им обеспечить быструю поставку на рынок стабильного и конкурентоспособного современного оборудования.

Для осуществления заданных целей, относящихся к характеристике и возможности (Рис. 6.), организация 3GPP рассматривает использование некоторых новых радио технологий, а также обновление и изменения в архитектуре 3G радиосети. Заданные цели можно осуществить, используя следующие строительные блоки:

- упрощенная архитектура системы;
- улучшенное качество услуг (QoS – Quality of Service) и концепт связанных уровней (link-layer);
- использование техники адаптивного многоуровневого мультиплексирования с ортогональным частотным разделением OFDM (AML-OFDM), как новой технологии радио доступа;
- передовые многоантенные решения.

Ожидается, что в рамках программы 3GPP, стандарт для долгосрочного развития систем третьей генерации может быть определен до сентября 2007 года. В настоящее время закончены инициальные студии, а также написаны технические со-

общения о запросах, стоящих перед долгосрочным развитием 3G систем и физическим уровнем развитых UMTS наземных радиосетей доступа E-UTRAN (25.814 и 25.913). С этим узко связана и работа на определении эволюции архитектуры системы (SAE – System Architecture Evolution). Хотя в рамках программы 3GPP эта проблема решается независимо от долгосрочного развития системы 3G, она все-таки должна рассматриваться как обязательное предварительное условие ее реализации. В настоящее время определена (23.882) эталонная модель развитой архитектуры на высоком уровне (high-level).

3.1. Эволюция архитектуры системы

Запросы на уменьшение времени ожидания и расходов подтверждают, что разумно начать рассматривать архитектуру системы, которая будет содержать меньше сетевых узлов. В результате уменьшилось бы совокупное количество обработки, связанной с протоколами, число интерфейсов и затраты тестирования возможности взаимодействия (interoperability testing). Меньшее число узлов значило бы и упрощенную оптимизацию протоколов радио интерфейса (например, объединением определенных протоколов в плоскости управления). Более короткие сигнализационные последовательности сокращают время установления соединения.

В версии 6 стандарта 3GPP шлюзовой GPRS узел поддержки (GGSN - Gateway GPRS Support Node) служит как якорный узел

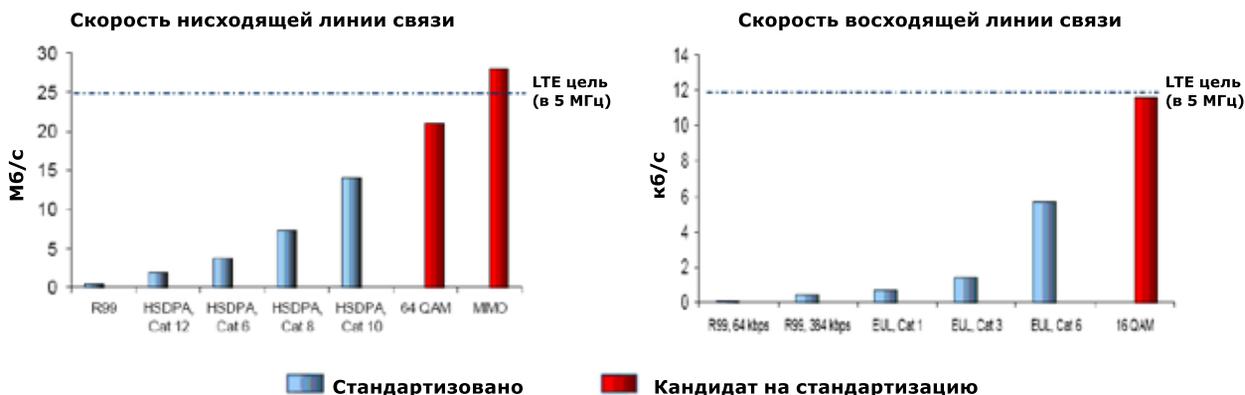


Рис. 5. Цели эволюции HSPA



в исходной или домашней (home) сети. Вся нагрузка обычно направляется к исходной сети, являющейся средой услуг. Это позволяет операторам фильтрацию нагрузки и обеспечивает надежность. Модуль управления радиосетью (RNC - Radio Network Controller) управляет радио ресурсами и локальной мобильностью, надзирает носителей и оптимизирует сеть передачи. Кроме того, служит как заключительная точка для некоторых радио протоколов. Обслуживающий GPRS узел поддержки (SGSN - Serving GPRS Support Node) играет роль якорного узла в посещаемой (visited) сети, также надзирает мобильность и сессии.

В развитой архитектуре эволюционированный узел-B (e-nodeB) продолжает управление низшими уровнями радио интерфейса, комбинируя функции узла-B с большинством функций узла RNC. Логическая эволюция представляла бы объединение SGSN и остальных функций RNC в центральный якорный узел (central anchor node), хотя альтернативное решение предусматривает распределение функций SGSN и RNC и полную отмену этих узлов (Рис. 7).

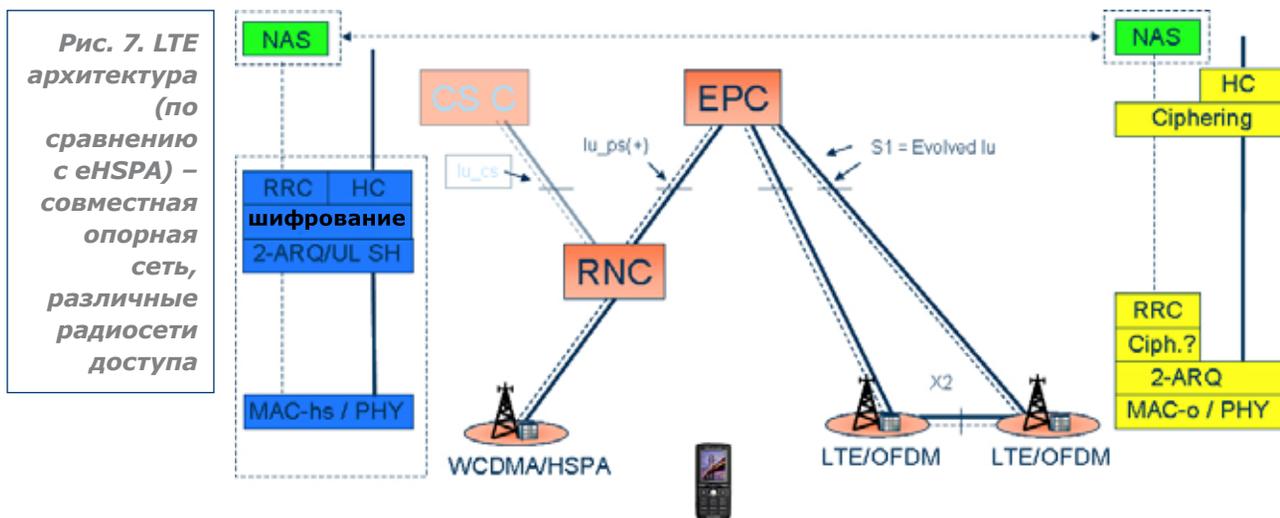
Рабочие группы, занимающиеся радиосетью доступа в 3GPP стандартизации, выделяют функции опорной сети (SGSN и GGSN) в отдельный объект – шлюз доступа (AGW – Access

Gateway), который является частью эволюционированной пакетной опорной сети (EPC – Evolved Packet Core).

Рабочие группы, которые занимаются определением эволюции архитектуры системы (SAE), все-таки распределяют эти функции на отдельные объекты.

Согласно эталонной SAE архитектуре (Рис. 8.), функции управляющей плоскости SGSN узла становятся объектом управления мобильностью (MME – Mobility Management Entity). Функции модуля управления сетью (RNC), которые не включены в эволюционированный узел-B, вместе с функциями пользовательской плоскости узла SGSN и функциями узла GGSN помещены в объект плоскости пользователя (UPE – User plane entity) и в 3GPP якорный узел (3GPP Anchor), при чем между ними все еще не до конца специфицировано разделение функций. В рамках эволюционированной пакетной сети находится и SAE якорный узел (SAE Anchor), который предоставляет интерфейс в направлении не-3GPP систем доступа (например, к WLAN сети доступа).

Если бы эволюционированная архитектура все-таки сохранила центральный якорный узел, он бы обеспечил хорошие характеристики переключения (handover) наряду с минимальным прерыванием услуги (service interruption). Также было



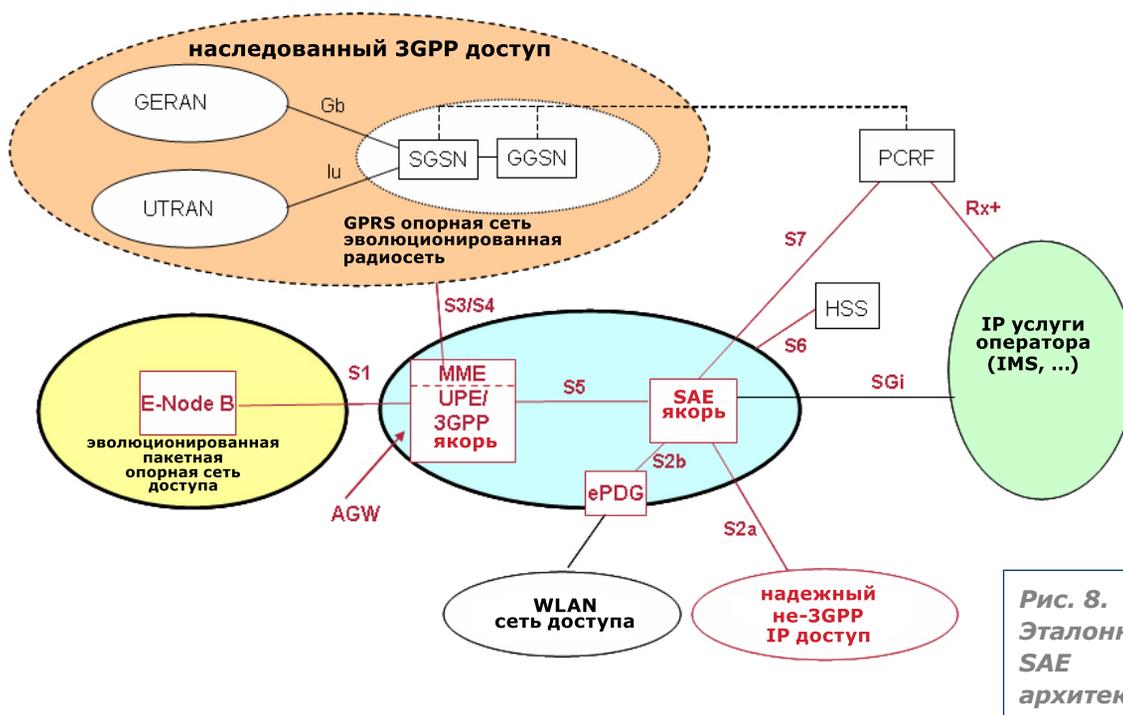


Рис. 8. Эталонная SAE архитектура

бы возможно прикрытие перемещения пользовательского оборудования (UE - User Equipment) из исходной (home) сети. Центральный узел был бы полезным и для сети передачи:

- IP заголовки можно было бы сжать в центральной точке, что было бы полезно для радио интерфейса и последней дистанции (last mile) к узлу-В;
- во время переключений между двумя узлами-В, пользовательские данные можно было бы передавать при использовании меньшего числа ресурсов – без центрального узла одинаковые пакеты данных могли бы проходить последнюю дистанцию к базовой радиостанции и до трех раз.

Модель управления мобильностью (mobility management model) в версии 6 спецификаций 3GPP может быть упрощена с малым влиянием на опорную сеть. Поэтому такая эволюция архитектуры, потенциально, может:

- сократить время ожидания (latency) в плоскости пользователя из-за меньшего числа узлов, что значит меньше процедур упаковки и распаковки протоколов;
- уменьшить сложность, т.к. нужно реализовать и тестировать меньше интерфейсов (а этим упрощается тестирование взаимодействия);
- сократить время установления вызова или носителя, вследствие объединения протоколов в плоскости управления;
- упростить управление мобильностью с малым влиянием на опорную сеть.

3.2. Качество услуги

Требования, относящиеся на сокращение запаздывания при установлении соединения, ведут к потенциальной эволюции нынешнего 3GPP концепта качества услуги, которая бы операторам предоставила простые и эффективные механизмы для его контроля.

Логическое соединение по эволюционированной 3G сети связано с заданным уровнем QoS (такое соединение можем назвать туннелем). Пользователь может иметь много различных туннелей, связанных с различными уровнями качества услуг. В современных 3G сетях такой туннель состоит из PDP контекста и присоединенного радио канала доступа (RAB).

Сокращение запаздывания при установлении соединения возможно, если туннели установлены заранее (т.е. до запуска пользовательской сессии связанной с туннелем). Такое предварительное установление требует меньше сигнализации в течение установления сессии и, таким образом, сокращается время запаздывания. Туннели можно было бы установить сразу после включения оборудования пользователя. Такой подход можно было бы использовать и для туннелей, связанных с услугами, которые требуют гарантированной скорости передачи (GB), подобно услугам VoIP.

Чтобы предварительно установленные носители были выполнимыми и эффективными, требуется следующее:

- разделить управление доступом (admission control) и процедуры установления туннеля на две отдельные процедуры, т.к. в противном случае ресурсы, требуемые для предварительно установленных туннелей, резервировались бы без надобности;
- обеспечить операторам лучший контроль над уровнями качества услуг присвоенных предварительно установленным туннелям – это можно осуществить определением управляемых сетью процедур для установления туннелей;
- обеспечить операторам лучший контроль над уплотненными потоками приложений в предварительно установленных туннелях – это можно осуществить в случае, если сети предоставлен контроль над фильтрами пакетов, которые служат для отображения (mapping) на грузки на различные туннели (в оборудовании пользователя, а также в GSN+ узле).

Такая архитектура качества услуг обеспечила бы операторам полный надзор над уровнями качества услуг, связанных с каждым отдельным туннелем, над определением момента в котором устанавливаются отдельные туннели, и над потоками приложений, отображенных на отдельные туннели. Таким образом, получен механизм для эффективной поддержки контроля качества услуг.

3.3. Решения уровня связи

Протоколы уровня связи (link layer) в версии 6 спецификаций 3GPP обеспечивают эффективную поддержку для пиковых скоростей передачи данных, используя технологии HSDPA и E-UL. Но если говорим о будущем, эволюция радиосети доступа (RAN - Radio Access Network) должна поддерживать предусмотренные пиковые скорости передачи, превышающие 100 Мбит/с. Более того, реализация протокола уровня связи, кроме больших пиковых скоростей, должна учитывать архитектуру RAN, надежность и эффективность радио ресурсов и сети передачи.

Основным строительным блоком протокола уровня связи является функция повторной передачи (retransmission), которая обеспечивает надежную и эффективную передачу. Протоколы гибридного автоматического запроса на повторную передачу, HARQ (Hybrid Automatic Repeat-at Request), отлично работают в таком окружении. Поэтому также, как и в версии 6, гибридный ARQ протокол будет использоваться между обслуживанием пользователя и узлом-В. Если появятся ошибки в передаче, такой протокол может выполнить эффективную повторную передачу, используя технику увеличивающейся избыточности (incremental redundancy) или гибкого комбинирования (soft-combining).

Единственным недостатком гибридного протокола ARQ, реализованного согласно версии 6, является высокая стоимость осуществления низкой остаточной частоты появления ошибочных блоков (residual block error rate), например 10⁻⁵. Такого значения этого параметра требуют протоколы высших уровней (например, TCP). Ошибки появляются в результате низкой надежности присоединенных ответных сигналов. Так как эти сигналы посылаются часто, увеличение их надежности посредством увеличения мощности передачи стоит очень дорого. Из аспекта эволюции архитектуры самым приемлемым решением для реализации протокола уровня связи и устранения проблемы является реализация двухуровневого набора ARQ протоколов, где протокол управления линией радиосвязи RLC (Radio Link Control) заканчивается в центральном якорном узле. Хотя это решение подобно решению в версии 6, значительно увеличенные пиковые скорости передачи потребуют изменения протокола RLC. Использование сравнительно малых протокольных единиц обмена (PDU – Protocol Data Units) постоянной величины не обеспечивает достаточную гибкость работы с широким диапазоном скоростей передачи. Малые PDU ведут к чрезмерной надстройке заголовков (header overhead), а большие PDU вносят чрезмерное дополнение (padding) надстройки для малых пакетов (например, в случае VoIP фреймов или TCP подтверждений). Поэтому предлагается инкапсулирование каждой полезной информации или IP пакета в RLC PDU изменяемой величины. Наряду с надстройкой и дополнением пакетных единиц, увеличивается и спектральная эффективность системы.

3.4 Физический уровень и управление радио ресурсами

Важными целями долгосрочной эволюции 3G систем является поддержка больших скоростей передачи и способность работы в различных закрепленных частотных диапазонах. Адаптивное многоуровневое мультиплексирование с ортогональным частотным разделением AML-OFDM (Adaptive MultiLayer Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) это привлекательный выбор технологий для предоставления требуемых высоких скоростей передачи (если сопровождается и большей шириной полосы передачи) и гибкого выделения частотного спектра. Кроме того, эта технология позволяет приспособление параметров передачи системы в частотном домене, удовлетворяя требованиям, связанным с эффективностью спектра. Технология также пригодна для ненаправленной, широковещательной передачи (broadcast).

OFDM это модуляционная техника, устойчивая на частотное выборочное затухание сигнала (fading). Основывается на передаче с множественными носителями, где совокупный поток данных разделяется между несколькими потоками с меньшей скоростью, которые затем передаются отдельными носителями.

Реализация техники OFDM сравнительно простой процесс. OFDM передатчик обычно выполняется с помощью инверсного быстрого преобразования Фурье (IFFT), не отличающегося большой сложностью. Каждому символу перед передачей добавляется циклический префикс. Используя инверсное быстрое преобразование Фурье приемник может полностью опознать переданный сигнал, если максимальное рассеяние запаздывания (delay spread) в радио канале короче длины добавленного циклического префикса. Адаптивный многоуровневый AML-OFDM основан на OFDM технике, которой добавлена поддержка для многопоточковой (multistream) передачи и адаптации параметров передачи к условиям радио канала.

Переменной числа AML-OFDM носителей, обеспечивается поддержка для выделенных частотных полос различной ширины, от 1,25 МГц до 20 МГц. Мелкая зернистость частоты, которую обеспечивает AML-OFDM, облегчает гладкую миграцию (переход), например, с 2G частотного спектра. Оператор сети GSM может перемещать частотную полосу на уровне отдельного 200 кГц носителя, таким образом, используя только часть доступных OFDM под-носителей. Кроме того, возможна работа в спаренных полосах и в не спаренных частотных полосах, т.к. техника AML-OFDM поддерживает двухстороннюю работу и с временным, и с частотным распределением.

3.4.1. Нисходящая линия связи – OFDM с адаптацией частотного домена

Основное устройство нисходящей линии связи AML-OFDM с частотно-временной структурой представлено на Рис. 9. Выбор 15 кГц расстояния между под-носителями, обеспечивает возможность работы в широком диапазоне среды, отличающейся различными характеристиками распространения. Одновременно это позволяет точное приспособление скорости такта системы WCDMA, что значительно упрощает реализацию устройства с поддержкой для систем UTRA и E-UTRA. Ради уменьшения времени ожидания выбрана краткая длительность фрейма (0,5 мс). Циклический префикс продолжительности 4,7 мс достаточен для управления рассеянием запаздывания для большинства сценариев одноадресной пе-

Ширина полосы передачи	1,25 МГц	2,5 МГц	5 МГц	10 МГц	15 МГц	20 МГц	
Длительность под-фрейма	0,5 мс						
Расстояние под-носителей	15 кГц						
Частота выборки	1,92 МГц (1/2 × 3,84 МГц)	3,84 МГц	7,68 МГц (2 × 3,84 МГц)	15,36 МГц (4 × 3,84 МГц)	23,04 МГц (6 × 3,84 МГц)	30,72 МГц (8 × 3,84 МГц)	
Величина FFT окна	128	256	512	1024	1536	2048	
Число занятых под-несущих	76	151	301	601	901	1201	
Число OFDM символов по под-фрейму (краткий/длинный циклический префикс)	7/6						
Длительность циклического префикса (μс/образец)	краткий	(4,69/9) × 6, (5,21/10) × 1*	(4,69/18) × 6, (5,21/20) × 1	(4,69/36) × 6, (5,21/40) × 1	(4,69/72) × 6, (5,21/80) × 1	(4,69/108) × 6, (5,21/120) × 1	(4,69/144) × 6, (5,21/160) × 1
	длинный	(16,67/32)	(16,67/64)	(16,67/128)	(16,67/256)	(16,67/384)	(16,67/512)

Таблица 1. Параметры схемы передачи в нисходящей линии связи

редачи (unicast), т.к. только незначительно удлинит заглавие. Уменьшая число OFDM символов под-фрейма, можно продлить циклический префикс на 16,7 мс для очень больших ячеек с диаметром, превышающим 120 км, которые имеют большое рассеяние во времени. Услуги широкополосной передачи посылают одинаковую информацию из многократных (синхронизированных) базовых радио станций и также используют продленный циклический префикс для устранения проблемы несинхронизированности. При этом терминал пользователя сигнал, принятый от множества базовых радио станций, видит как многолучевое распространение, которое использует OFDMA приемник. Основные параметры схемы передачи в нисходящей линии связи даны в таблице 1.

Подобно системам WCDMA/HSDPA, изменения в радио канале в домене времени используются в приспособляемости связи и распределении (scheduling) в зависимости от состояния канала, а в результате значительно увеличивается спектральная эффективность. Дальнейшая эволюция радио доступа позволит сделать еще один шаг – адаптация параметров передачи будет возможна не только в домене времени, но и в домене частоты. OFDM техники могут осуществлять большие преимущества в характеристиках системы в случае большой изменчивости канала вдоль целой ширины полосы. Поэтому с ростом требований к ширине полосы какой-то системы, приспособляемость в частотном домене становится все более важной. Информация о качестве канала нисходящей линии связи поступает посредством ответной информации, посылаемой терминалами. Узел-В резервирует временные и частотные ресурсы в нисходящей линии связи в направлении отдельного пользователя, и динамически выбирает соответствующую скорость передачи, меняя уровень выходной мощности, соотношение канального кодирования и схему модуляции. В нисходящей линии связи поддерживаются техники модуляции QPSK, 16 QAM и 64 QAM.

3.4.2. Восходящая линия связи – FDMA с одной несущей и переменной шириной полосы

Для передачи в восходящей линии связи требуется осуществить эффективную передачу мощности терминалов пользователей для реализации максимального охвата (Рис. 10.). Поэтому преимущество дано использованию множественно-

го доступа с разделением частот на одной несущей (SC-FDMA – Single Carrier FDMA) с переменной шириной полосы. В течение каждого временного интервала базовая радио станция присваивает терминалу единственную частоту для передачи пользовательских данных и обеспечения ортогональности внутри ячейки. Таким образом, избегается интерференция внутри ячейки. В большинстве случаев распределение в домене времени используется для разграничения пользователей. Распределение в частотном домене также можно использовать для терминалов с ограниченной мощностью или количеством данных для передачи. Приспособление в частотном домене в случае восходящей линии связи, в основном, используется из-за недостатка информации о состоянии канала – терминал не может постоянно посылать пилот-сигнал, который охватывает целый частотный домен. Медленный контроль мощности применяется для компенсации потерь распространения и затухания вследствие затенения. Так как передача в восходящей линии связи ортогональная, нет необходимости в быстром контроле мощности, который служит для решения т.н. “близко-далеко” проблем (near-far).

Интерференция вследствие многолучевого распространения решается на базовой радио станции, с помощью внесения циклического префикса в передаваемый сигнал. Параметры передачи, кодирование и модуляция подобны применяемым параметрам в нисходящей линии связи.

3.5. Многоантенные решения

Схемы, в которых используется много антенн, независимо от того идет ли речь о формировании диаграммы направленности, или о многоуровневой передаче, играют значительную роль в увеличении скорости передачи данных, охвата и емкости. Достаточно большой потенциал, обеспечивающий возможность использования пространственного домена, в настоящее время еще не полностью использован.

Многоуровневая передача, известная и как многократный вход – многократный выход (MIMO - Multiple Input, Multiple Output), может использоваться для увеличения скорости передачи. В этом случае отдельному пользователю посылаются параллельные потоки данных. Такие техники, которые, в основном, применимы в сценариях с высоким отношением между сигналом и шумом (SNR - Signal to Noise Ratio), и где радио канал содержит высокое рассеяние (например, малые ячейки

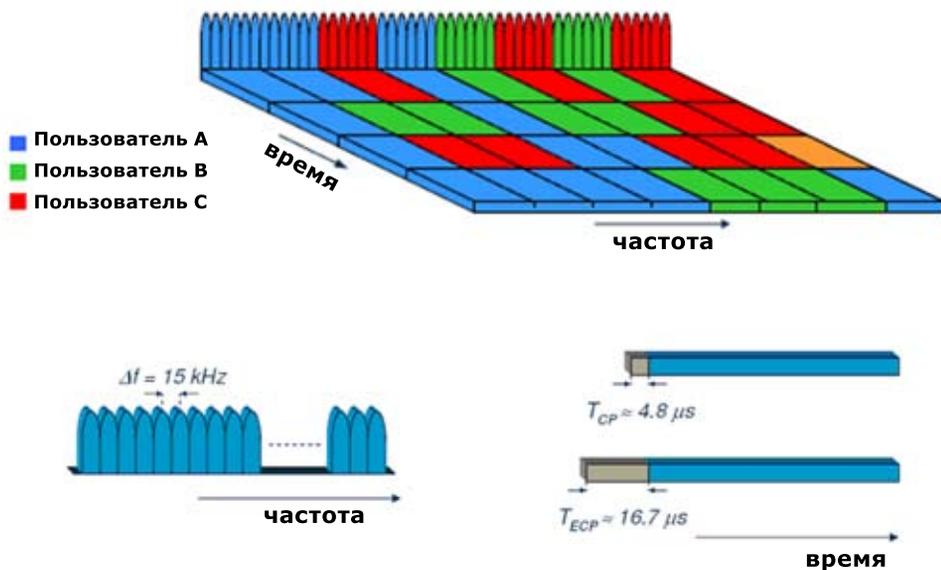


Рис. 9. OFDM частотно-временная структура в нисходящей линии связи

или системы внутри зданий), в первую очередь используются в нисходящей линии связи. Терминал разделяет потоки данных, используя для этого характеристики каналов, а также знание о кодовой схеме, которую использовала базовая радиостанция. Многоуровневые схемы передачи в случае долгосрочной эволюции должны быть стандартизованы. Одним из многообещающих подходов является выборочный контроль скорости по антенне (S-PARC – Selective Per-Antenna Rate Control), который приспособливает число уровней и скорость передачи по отдельному уровню в соответствии с текущими условиями радиоканала.

Формирование диаграммы направленности (beamforming) или использование множества антенн (Рис. 11.) для формирования, увеличивает отношение сигнал/шум в приемнике. Эта техника может быть использована для увеличения охвата определенной скорости передачи или спектральной эффективности системы. Увеличенное отношение между сигналом

и шумом появляется вследствие улучшенной направленности к пользователю, а также лучшего управления распределением пространственной интерференции внутри ячейки. Формирование диаграммы направленности можно применить и для нисходящей и для восходящей линий связи. Появляется потребность в стандарте, с помощью которого такое формирование для терминала стало бы прозрачным. Для приспособления определенным потребностям можно постепенно развивать алгоритмы.

Обе техники можно комбинировать – два потока данных можно посылать по двум группам антенн, а внутри каждой группы применять формирование диаграммы направленности. При этом формирование диаграммы направленности обеспечивает большее отношение сигнал/шум, т.е. многоуровневая передача может быть использована для осуществления больших скоростей передачи.

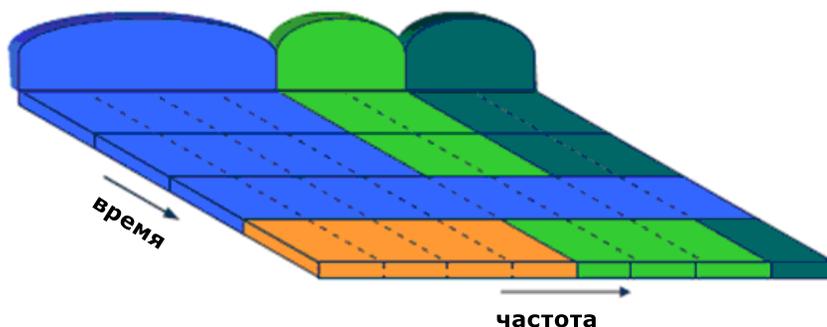


Рис. 10. SC-FDMA частотно-временная структура в восходящей линии связи

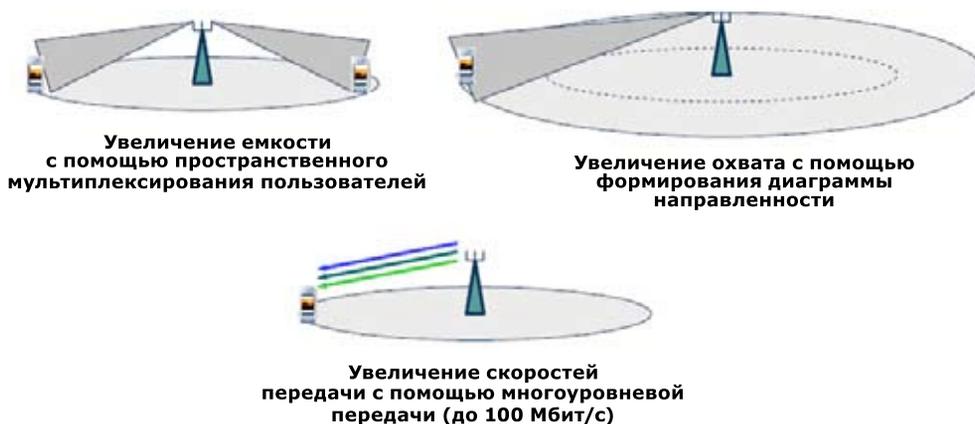


Рис. 11. Передовые антенные решения

4. Оценка характеристик

Характеристики эволюционированной системы можно оценивать с помощью измерения скорости передачи активной радио связи (скорость, которую принимает распределенный пользователь) при различных нагрузках. Если несколько пользователей совместно используют один канал, тогда осуществляемая ими скорость (над уровнем MAC) будет ниже.

Таковыми измерениями можно оценить качество, емкость и охват. Исходной точкой для всех сравнений является система WCDMA, базирующаяся на 3GPP версии 6, с использованием одинарной передачи и одной приемной антенны. Концепты эволюционированной радиосети доступа предполагают использование решения MIMO с двумя антеннами на приеме и передаче, с непрерывными подавителями интерференции в приемнике, но без применения адаптации в частотном домене. При сравнении LTE и эволюционированной системы HSPA предполагается занятие спектра в 5 МГц, а исключены многочисленные аспекты протоколов над физическим уровнем (что ведет к оптимистическим результатам). Это позволяет оценить сравнительные преимущества использования OFDM и MIMO техник.

На Рис. 12. для различных систем представлено сравнение средней пользовательской скорости и скорости на границе ячейки с обслуживаемой нагрузкой для нисходящей линии связи и радио канала с типичными характеристиками городской зоны (с удаленностью 500 м и потерями проникновения сигнала в 20 дБ). Обслуживаемая нагрузка определена как сумма скоростей активных пользователей, которые равномерно распределены для передачи.

Оценка характеристик показывает, что концептом эволюционированной радиосети доступа можно добиться и более чем в три раза больших скоростей (выигрыш в отношении на средние скорости передачи, Gr). Сравнение емкости (выигрыш вследствие увеличенной спектральной эффективности, Gef) и охвата (выигрыш в отношении на скорости передачи на границе ячейки, Gr) показывают идентичные результаты. Из представленных результатов, очевидно, что и эволюционированная система HSPA по своим характеристикам приближается к требованиям, поставленным перед долгосрочной эволюци-

ей (рассматривая внутри полосы ширины 5 МГц).

Хотя эти результаты предварительные, они все-таки показывают, что существует потенциал для улучшения качества, емкости и охвата для отдельного пользователя, или для уменьшения совокупных затрат на инфраструктуру для осуществления определенных требований, связанных с охватом и емкостью.

5. Взгляды компании Эрикссон

Компания Эрикссон рассматривает технологию HSDPA как очень важную функциональную возможность, которая уже сейчас WCDMA радиосети доступа обеспечивает большую емкость, лучшую пропускную способность передачи данных, сокращенное время ожидания и увеличенные пиковые скорости для услуг с негарантированным качеством. Спектрально эффективная поддержка высших скоростей передачи сама по себе обеспечивает использование будущих услуг с повышенными запросами к ширине полосы.

Самые высшие характеристики радио оборудования компании Эрикссон (имеющаяся в распоряжении выходная мощность и высокая чувствительность приемника), гибкий портфель базовых радио станций, приспособляемая радиосеть доступа большой емкости и эффективные транспортные решения, обеспечивают очень качественный и экономически выгодный 3G охват.

В настоящий момент компания Эрикссон очень активно участвует в программах по стандартизации организации 3GPP, с целью обеспечения эффективного введения системы LTE в версии 8 спецификаций 3GPP. Уже сейчас компания Эрикссон насчитывает свыше 460 соавторских вкладов в разработку 3GPP LTE или SAE (следующий в списке разработчиков насчитывает 310 вкладов), Рис. 13.

Последняя генерация базовых радио станций (RBS 3106 и RBS 3206) уже заранее подготовлена для введения решения LTE. В эти станции LTE вводится на существующие аппаратные средства, которые незначительно наращиваются новыми радио единицами и дополнительной процессной единицей в основной полосе (baseband). В случае такого решения в RNC потребуется лишь наращивание программных средств для поддержки новой технологии доступа.

Можно ожидать, что до 2010 года технология HSPA будет применяться в целой сети WCDMA. Дальнейшая эволюция HSPA в первую очередь предусмотрена для городских и деловых

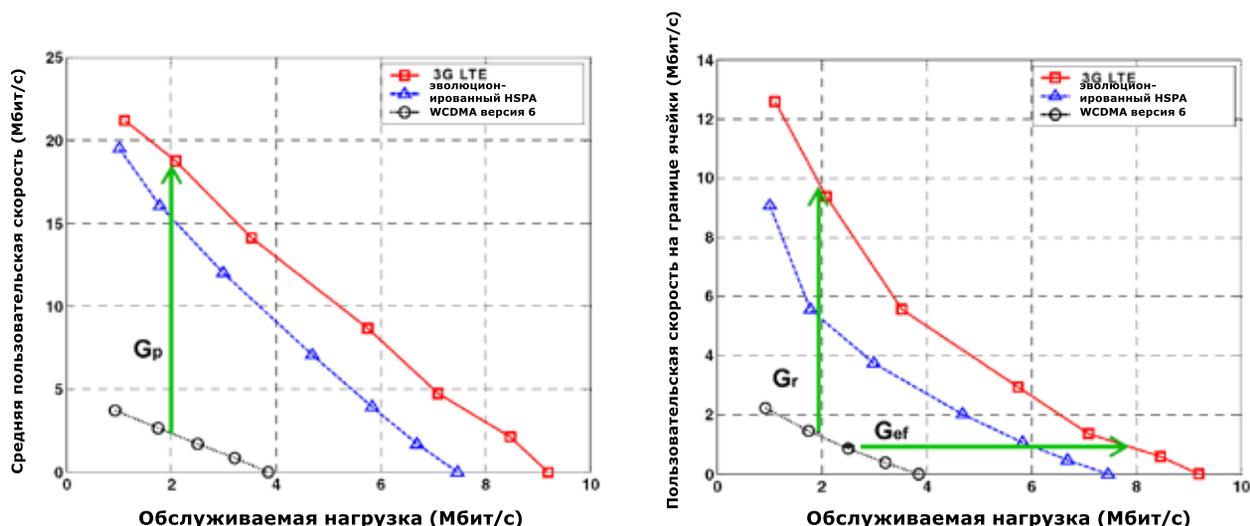


Рис. 12. Сравнение характеристик 3G LTE и эволюционированной HSPA систем с WCDMA системой версии 6

зона, с характеристиками идентичным тем, которые будет предоставлять LTE внутри 5МГц. Такой охват дополнит и OFDM, обеспечивая очень высокие скорости передачи в выбранных областях. При этом введение LTE может быть обеспечено и посредством экономически эффективного наращивания базовых станций, и их постепенной реализацией. Для обеспечения охвата и непрерывности услуг, потребуется также введение эффективного механизма взаимодействия HSPA с 3G LTE системой.

6. Вывод

Для увеличения конкурентоспособности технологии третьей генерации, 3G, в долгосрочной перспективе существующие стандарты должны эволюционировать. Развитие технологии HSPA и функций MBMS лишь первый шаг в этом направлении. Конечной целью является то, что 3GPP называет долгосрочной эволюцией систем 3G (3G LTE).

Основная цель эволюции это уменьшение затрат пользовате-

лей и операторов, а также улучшение предоставления услуг. Многообещающие технологии для осуществления заданных целей включают эволюцию архитектуры и концепта качества услуг. В результате, сокращается время ожидания и время установления вызова, а также снижаются расходы. Эволюционированный уровень соединения и физический уровень, базирующийся на OFDM технике, которая поддерживает решения с множеством антенн, обеспечат высшие скорости передачи и улучшат охват и емкость системы. Оценка характеристик говорит о том, что предлагаемые технологии могут удовлетворить цели, поставленные перед беспроводными коммуникациями на следующее десятилетие, и далее.

Число соавторских вкладов

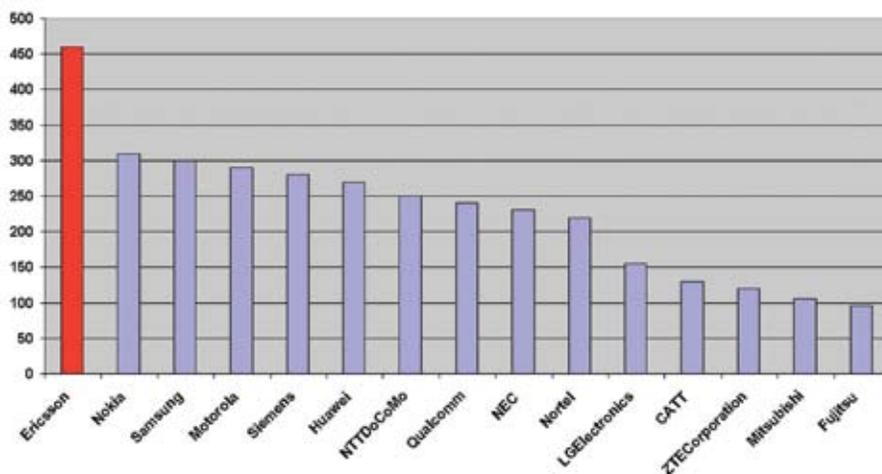


Рис. 13. 3GPP LTE / SAE вклады - RAN1, RAN2, RAN3, RAN4, SA2 и SA3 (01-06 2006)

7. Список сокращений

3G -	Third Generation Третья генерация	MAC -	Medium Access Control Управление доступом к среде передачи
3GPP -	Third Generation Partnership Project Проект сотрудничества в создании сетей третьей генерации	MBMS -	Multimedia Broadcast and Multicast Services Мультимедийные услуги широковещательной и групповой передачи
AGW -	Access Gateway Шлюз доступа	MCCH -	MBMS Point-to-multipoint Control Channel MBMS Управляющий канал для соединений точка-многоточка
AML-OFDM -	Adaptive MultiLayer Orthogonal Frequency-Division Multiplexing Адаптивное многоуровневое мультиплексирование с ортогональным частотным разделением	MICH -	MBMS Notification Indicator Channel MBMS канал индикатора сообщения
ARPU -	Average Revenue per User Средний доход с абонента	MIMO -	Multiple Input, Multiple Output Многократный вход – многократный выход
ARQ -	Automatic Repeat Request Автоматический запрос повторной передачи	MME -	Mobility Management Entity Объект управления мобильностью
DL -	Downlink Нисходящая линия связи	MSCH -	MBMS Point-to-multipoint Scheduling Channel MBMS канал распределения точка-многоточка
ECP -	Evolved Packet Core Эволюционированная пакетная опорная сеть	MTCH -	MBMS Point-to-multipoint Traffic Channel MBMS канал нагрузки точка-многоточка
eHSPA -	Evolved HSPA Эволюционированный высокоскоростной пакетный доступ	OFDM -	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing Мультиплексирование с ортогональным частотным разделением
E-UL -	Enhanced Uplink Улучшенная восходящая линия связи	PDU -	Packet Data Unit / Protocol Data Units Единица пакетных данных / Протоколная единица обмена
FFT -	Finite Fourier Transform Быстрое преобразование Фурье	PHY -	Физический уровень
GGSN -	Gateway GPRS Support Node Шлюзовой GPRS узел поддержки	QAM -	Quadrature Amplitude Modulation Квадратурная амплитудная модуляция
GPRS -	General Packet radio Service Пакетная радиосвязь общего назначения	QoS -	Quality of Service Качество услуги
G-RAKE -	Generalized Rake Receiver Обобщенный Rake-приемник	QPSK -	Quadrature Phase Shift Keying Фазовая модуляция с четвертичными (фазовыми) сигналами
HARQ -	Hybrid Automatic Repeat Request Гибридный автоматический запрос повторной передачи	RAB -	Radio Access Bearer Радио канал доступа
HSDPA -	High Speed Downlink Packet Data Access Высокоскоростной пакетный доступ нисходящей линией связи	RAN -	Radio Access Network Радиосеть доступа
HSPA -	High Speed Packet Access Высокоскоростной пакетный доступ	RLC -	Radio Link Control Управление линией радиосвязи
HSUPA -	High Speed Uplink Packet Access Высокоскоростной пакетный доступ восходящей линией связи	RNC -	Radio Network Controller Модуль управления радиосетью
IFFT -	Inverse Finite Fourier Transform Инверсное быстрое преобразование Фурье	RRC -	Radio Resource Control Модуль управления радио ресурсами
IP -	Internet Protocol Протокол Интернет	SAE -	System Architecture Evolution Эволюция архитектуры системы
LTE -	Long-Term Evolution Долгосрочная эволюция	SC-FDMA -	Single Carrier - Frequency Division Multiple Access Множественный доступ с разделением частот на одной несущей
		SGSN -	Serving GPRS Support Node Обслуживающий GPRS узел поддержки
		SNR -	Signal to Noise Ratio Отношением между сигналом и шумом

S-PARC -

Selective Per-Antenna Rate Control
Выборочный контроль скорости по антенне

TCP - *Transmission Control Protocol*
Протокол управления передачей

TTI - *Time Transmission Interval*
Промежуток времени передачи

UE - *User Equipment*
Оборудование пользователя

UL - *Uplink*
Восходящая линия связи

UMTS - *Universal Mobile Telecommunication System*
Универсальная система мобильной связи

UPE - *User Plane Entity*
Объект плоскости пользователя

UTRA - *UMTS Terrestrial Radio Access*
UMTS наземный радио доступ

UTRAN - *UMTS Terrestrial Radio Access Network*
UMTS наземная радиосеть доступа

VDSL - *Very high bit rate Digital Subscriber Line*
Высокоскоростная цифровая абонентская линия

VoIP - *Voice over IP*
Передача речи по IP-сетям

WCDMA - *Wideband Code Division Multiple Access*
Широкополосный множественный доступ с кодовым разделением каналов

WLAN - *Wireless Local Area Network*
Беспроводная вычислительная локальная сеть

8. Литература

- [1] E. Dahlaman и другие "The long-term evolution of 3G", Ericsson Review 2/2005.
- [2] Informa "3G LTE conference", документация, октябрь 2006.
- [3] 3GPP TR 25.814 (V7.0.0) "Physical layer aspects for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA)", май 2006.
- [4] 3GPP TR 25.913 (V7.3.0) "Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN)", март 2006.
- [5] 3GPP TR 23.882 (V1.3.0) "3GPP System Architecture Evolution: report on Technical Options and Conclusions", июль 2006.
- [6] Т. Блаич, М. Дружжанич, З. Чимиц "Prospects of MIMO Techniques for Broadband Wireless Systems", Mipro CTI, май 2006.
- [7] D. Noguļić, M. Gađže, A. Janković "Multicarrier Modulation in Advanced Communication Systems" Elmar, июль 2006.
- [8] E. Dahlaman и другие "The 3G Long-Term Evolution – Radio Interface Concepts and Performance Evaluation", IEE VTC, весна 2006.
- [9] Внутренняя документация компании Эрикссон

Адрес автора:

Томислав Блаич

e-mail: tomislav.blajic@ericsson.com

Ericsson Nikola Tesla d.d.

Krapinska 45

р.р. 93

HR-10002 Zagreb

Хорватия

Редакция приняла рукопись 29 ноября 2006.

Перевод: Надежда Племеннич