

# ФЕМТОСОТЫ – «ПОСЛЕДНЯЯ МИЛЯ» БЕСПРОВОДНОЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Н.Елисеев

В последние несколько лет в сфере телекоммуникаций все чаще говорят о фемтосотах. Так называют ячейки («соты») мобильных сетей размером до нескольких десятков метров, обслуживаемые специальными маломощными базовыми станциями. Чем хороши фемтосоты, как они работают, из чего их изготавливают и где используют? Расскажем обо всем по порядку.

## ПРЕИМУЩЕСТВА ФЕМТОСОТ

В последние годы мобильная связь все чаще используется в помещениях – дома или в офисе. Так, на помещения приходится 2/3 голосового трафика и 90% трафика данных [1]. Достаточно плотная сеть мобильных станций и способность GSM-сигналов проникать сквозь многие стены позволяет в большинстве случаев делать это успешно. Но все-таки не все стены прозрачны для сигнала, и не всегда базовая станция обеспечивает достаточную его мощность. Поэтому периодически приходится сталкиваться с ситуацией, когда связь в помещении плохая или вовсе отсутствует.

С появлением технологий сотовой связи третьего поколения (3G) положение значительно ухудшилось. Дело в том, что при передаче сигналов 3G используются более высокие частоты (в UMTS это примерно 2000 МГц, а в GSM может быть как 1800, так и 900 МГц), на которых затухание сигнала при прохождении через стены существенно увеличивается. Пользователи коммуникаторов с поддержкой 3G часто сталкиваются с тем, что внутри помещений

их аппараты автоматически переключаются на связь по каналам EDGE или GPRS, лучше «проникающим» сквозь стены, но менее скоростным.

Еще хуже обстоит дело с технологиями следующего поколения (HSPA, WiMAX, LTE). В них используется в основном квадратурная модуляция высоких порядков (например, QAM-16 и QAM-64), при которой влияние стен зданий на качество сигнала усиливается [2].

В то же время у многих (а в крупных городах уже, наверное, у большинства) пользователей мобильной связи дома есть доступ в Интернет по широкополосному проводному каналу – кабельному или ADSL. Так почему бы не использовать этот канал и для доступа к сотовой сети мобильного оператора через специальное устройство – подобно подсоединению через Wi-Fi-роутер? Именно таким устройством и является фемтосотовая станция. Она переключает телефон абонента на себя при попадании в зону ее действия, и его дальнейшее взаимодействие с сетью оператора происходит уже через нее (рис.1) [3].

Отметим, что сама идея использования одного аппарата для связи вне дома и внутри него не нова. В свое время предпринимались попытки внедрения DECT/GSM-телефонов, правда, широкого распространения такие аппараты по ряду причин не получили. Сегодня можно пользоваться дома беспроводным широкополосным доступом (ШПД) с помощью телефонов и коммуникаторов, оснащенных модулями Wi-Fi. Например, коммуникатор Google Nexus, работающий на платформе Android, позволяет автоматически переключаться на связь по каналу Wi-Fi внутри помещения и задействовать для передачи голоса средства IP-телефонии.

Принципиальная разница в том, что в случае фемтосот подключение к базовой станции происходит через тот же канал связи и с помощью того же аппаратного обеспечения, что и в случае, когда абонент находится в зоне действия макросотовой станции. Поэтому для пользования мобильной связью через фемтосоты не нужен новый телефон или коммуникатор – достаточно установить в помещении фемтосотовую стан-

цию. Отличие от Wi-Fi также в том, что фемтосотовая станция должна быть не просто подключена к домашнему проводному каналу, но и интегрирована в опорную сеть оператора мобильной связи.

Использование фемтосот дает ряд преимуществ как операторам мобильной сотовой связи, так и их абонентам. Операторам фемтосоты позволяют существенно увеличить число абонентов без дополнительных макросотовых базовых станций. Такой путь не требует дополнительных затрат на строительство, энергоснабжение, аренду и др., поэтому экономически он более выгоден [3].

Выигрыш от применения фемтосот особенно очевиден при передаче данных – где, собственно, и нужны в первую очередь 3G и более «скоростные» технологии. Преимущества использования фемтосотовых станций наглядно иллюстрируются исследованиями, проведенными в работе [4]. Было выполнено сравнение качества связи внутри помещений при использовании фемтосотовых и макросотовых станций. Анализ проводился для технологий CDMA2000/1xEVDO и UMTS/HSDPA. Эксперименты охватывали множество домовладений различного типа, принадлежащих инженерам – участникам тестирования. В каждом из домовладений проводилось много измерений уровня сигнала, отношения сигнал/шум и других параметров в различных точках помещения. В тестировании для технологии EVDO участвовали 17 домовладений. Исследования проводились в пригородах Бостона в индивидуальных домах и квартирах многоэтажных зданий. Тестирования для технологии HSDPA выполнялись в различных местах в Северной Америке, в Европе, на Ближнем Востоке и в Азии – в общей сложности в 12 местах (в основном в многоквартирных домах). При анализе сигналов с макросотовой станции исследовались сети различных операторов, доступных обычным абонентам в данном месте. Фемтосоты каждый участник тестирования располагал там, где ему удобно, не пытаясь оптимизировать место исходя из качества радиосигнала. В общей сложности было проведено несколько тысяч измерений.

Данные проведенных измерений обрабатывались с помощью специальных статистических методов.

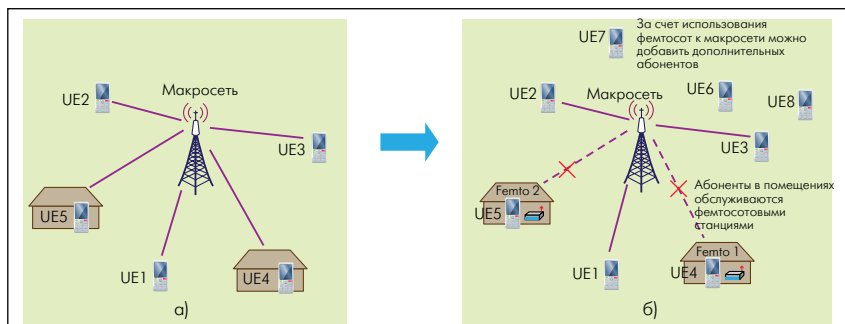


Рис.1. **Фемтосотовые станции в сети мобильной связи: а – традиционная макросеть; б – объединенная макрофемтосеть. UE (user equipment) – оборудование абонента, femto – фемтосотовая станция**

Обобщенные результаты показали, что фемтосоты обеспечивают в среднем в пять раз более высокие скорости передачи данных в помещении, чем реально доступные абонентам макросотовые сети (см. табл.). Причем, несмотря на разброс результатов, значительное увеличение скорости передачи данных в случае использования фемтосотовых станций наблюдалось во всех помещениях – как для EV-DO-, так

и для HSDPA-сигналов (рис.2) [4]. Еще более наглядный результат заключается в том, что вероятность достижения достаточно высокой скорости передачи данных внутри помещения, где работает фемтосота, оказалась гораздо выше, чем в случае макросот (рис.3) [4].

Таким образом, при передаче данных фемтосоты дают весьма ощутимые преимущества, а во многих случаях оказываются единствен-

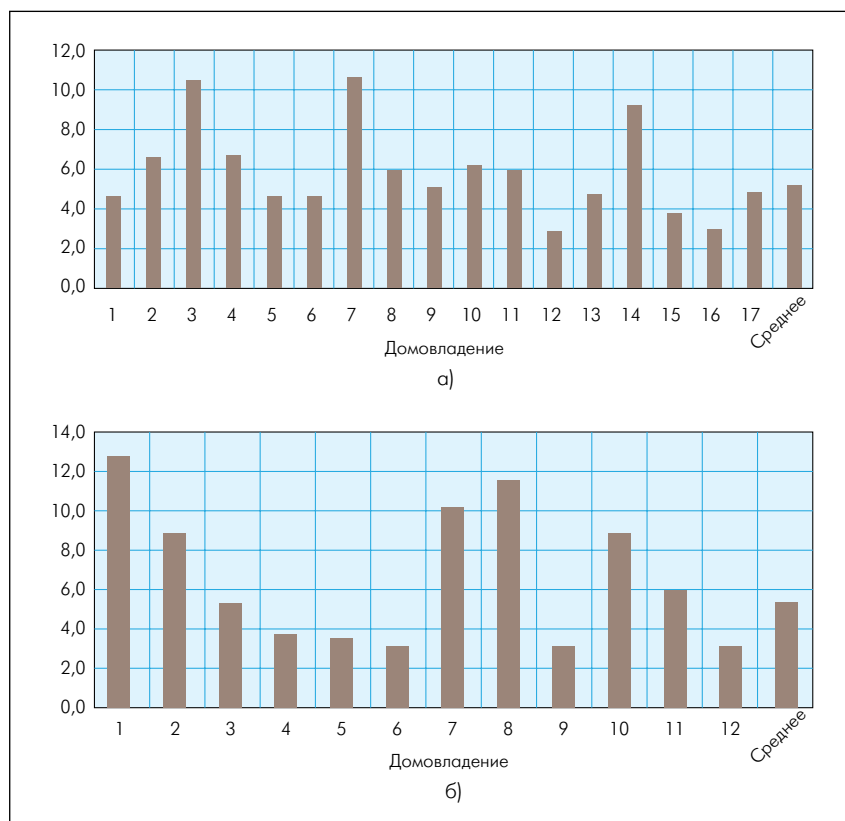
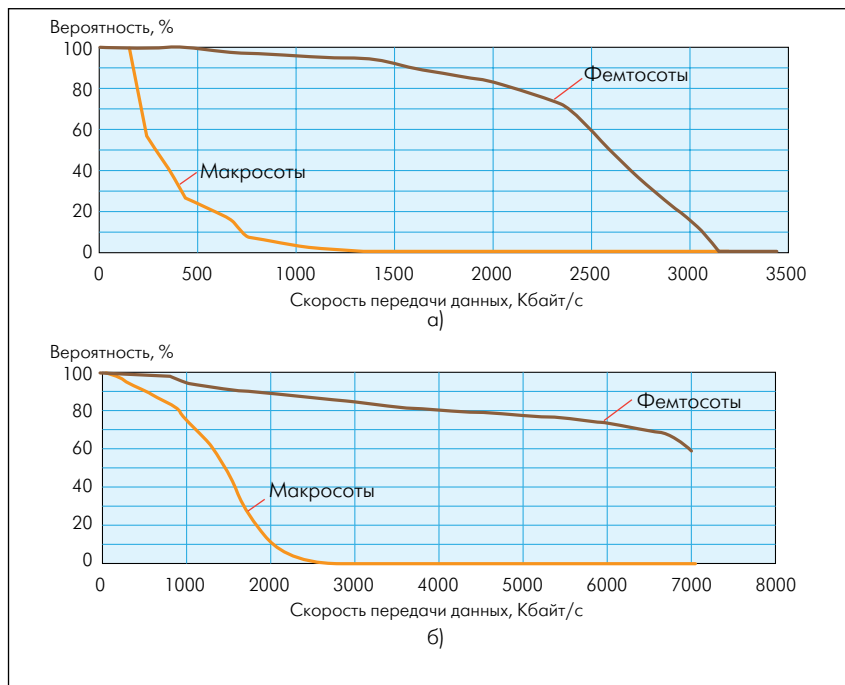


Рис.2. **Отношение средних скоростей передачи данных, достигаемых при использовании фемтосот и макросот: а – для технологии EVDO, б – для технологии HSDPA**



**Рис.3. Вероятность достижения заданной скорости передачи данных внутри помещения для фемтосот и макросот: а – для технологии EVDO, б – для технологии HSDPA**

ным возможным решением – сигнал от макросотовой станции просто не достигает необходимого уровня.

За счет фемтосот операторы мобильной связи могут также успешно конкурировать с поставщиками услуг IP-телефонии, получая дополнительный доход. Кроме того, благодаря высоким скоростям передачи данных и интеграции с традиционными проводными каналами доступа в Интернет фемтосоты предоставляют мобильным операторам возможность «захватить» дополнительное время и при пользовании различными мультимедийными сервисами. Наконец, фемтосоты сокращают трафик в макросотовой сети, тем самым повышая качество услуг для других пользователей и увеличивая их число [3, 5].

Абонентам применение фемтосот дает свои выгоды [5]. Благодаря фемтосотам они могут получать доступ к мобильной связи в помещении по более низким тарифам. При этом

используется обычный телефон, а не двухрежимный аппарат, как, например, в случае подключения через Wi-Fi. Да и переключение на фемтосотовую станцию происходит автоматически – ничего перенастраивать не нужно. Важно, что одной фемтосотой могут пользоваться одновременно несколько человек, например, все члены семьи. Упрощается и процедура расчетов за услуги (так называемый биллинг) – один оператор, один телефон, один счет.

Отметим, что фемтосотовые станции применимы не только в домах и квартирах, но и в корпоративном секторе. Обычно корпоративные решения для фемтосотовых станций обеспечивают большую зону действия и поддерживают большее число абонентов.

### ПОДКЛЮЧЕНИЕ ФЕМТОСОТОВЫХ СТАНЦИЙ

Подключение фемтосоты к опорной сети оператора мобильной связи

включает два сегмента: подсоединение к проводному каналу широкополосного доступа внутри помещения и интеграцию фемтосотовой станции с опорной сетью оператора мобильной связи (рис.4) [3]. К проводному широкополосному каналу фемтосотовая станция может подключаться через домашний роутер, соединенный с ADSL-модемом, вместе с другими сетевыми устройствами (см. рис.4). Возможен и другой вариант – фемтосотовая станция, роутер и модем объединены в одном устройстве [3]. Далее сигнал от каждой фемтосотовой станции проходит через сеть интернет-провайдера и затем через специальные шлюзы попадает в опорную сеть мобильного оператора [3, 5]. Конкретных топологий и протоколов в этом сегменте подключения может быть много – они зависят от используемой технологии мобильной связи (GSM, UMTS, WiMAX, LTE), конфигурации сети оператора, сетевого оборудования и др. [5–7].

Возможны также различные схемы взаимодействия интернет-провайдера и оператора мобильной связи [3]. Проводная сеть ШПД может принадлежать как оператору сотовой связи, так и независимому интернет-провайдеру. Но в любом случае должны быть выполнены требования к качеству обслуживания (Quality of Service – QoS) при передаче голоса и данных, предъявляемые к системам мобильной связи.

### ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ДЛЯ ФЕМТОСОТ

Процессоры и другую элементную базу для фемтосотовых станций начали выпускать три–четыре года назад. Если первые устройства предназначались для систем GSM и 3G, то в последнее время к ним добавилась аппаратура для фемтосотовых станций, поддерживающих технологии WiMAX и LTE. Увеличивается и число производителей элементной базы. В частности, среди них появилась такая крупная компания, как Texas Instruments (TI).

Основной продукт TI для построения фемтосот – процессорная система TMS320TCI6489 (рис.5) [8–11]. В ней на одном кристалле собраны вычислительные модули и разнообразная периферия, предназначенные для выполнения различных процедур обработки сигналов в фемтосотовых станциях. Основа

### Скорости передачи данных, усредненные по 70% измерений в домах абонентов [4]

Технология	Фемтосота	Макросотовая сеть
UMTS/ HSDPA	5,4 Мбайт/ с	1014 Кбайт/ с
1xEVDO Rev A	2,1 Мбайт/ с	420 Кбайт/ с

СнК TMS320TCI6489 – три мощных ЦСП-ядра. Каждое ядро работает на частоте 850 МГц и оснащено 1 Мбайт кэш-памяти. В TMS320TCI6489 есть несколько сопроцессоров. Сопроцессоры RAC (receiver accelerator coprocessor) и RSA (rake search accelerator) обеспечивают ускорение обработки сигналов (последовательностей чипов), принимаемых антенной базовой станции. Сопроцессор Виттерби (VCP2) и турбодекодер (TCP2) выполняют алгоритмы декодирования сигналов и коррекции ошибок. Применение этих сопроцессоров существенно разгружает ЦСП и повышает производительность системы.

В процессоре TMS320TCI6489 имеется также двухполосный антенный интерфейс (CPRI/OBSAI) для подключения аналогового радиочастотного оборудования [9, 10].

Такое объединение целого ряда функций в одной СнК упрощает разработку конечных устройств и снижает их стоимость.

По данным компании TI, в процессорах TMS320TCI6489 используется новая архитектура ЦСП, ориентированная на прямое выполнение операций с плавающей запятой (native floating point support) [11]. Это позволяет эффективно выполнять ресурсоемкие алгоритмы обработки сигналов, которые присутствуют в технологиях WiMAX и LTE, в частности, связанные с реализацией механизмов MIMO. Важно и то, что аппаратная поддержка операций с плавающей запятой позволяет легко и быстро переносить программное обеспечение, разработанное, например, в системе MATLAB, непосредственно в ЦСП TI.

Как еще одну выигрышную особенность архитектуры процессоров TMS320TCI6489 компания TI позиционирует так называемый «многоядерный навигатор» (multicore navigator) [11]. Это элемент системы, который, по сведениям TI, обеспечивает бесшовное перемещение данных через СнК. Будучи один раз сконфигурирован, навигатор отвечает за передачу пакетов, распределение памяти, запуск ускорителей и др. – и все это без единого цикла работы ЦСП. Многоядерный навигатор может быть весьма эффективен для управления потоками пакетов данных, присутствующих в системах UMTS, WiMAX и LTE.

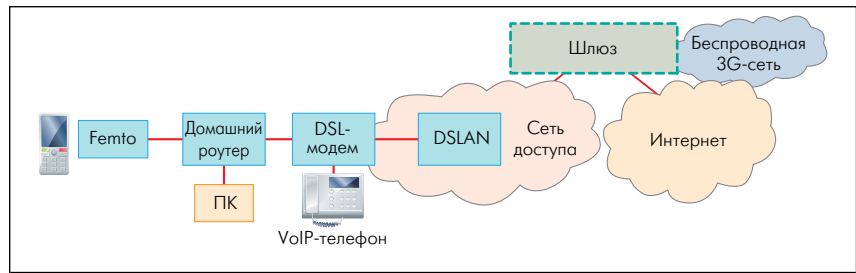


Рис.4. Пример подключения фемтосоты к сети мобильной связи. Femto – фемтосотовая станция

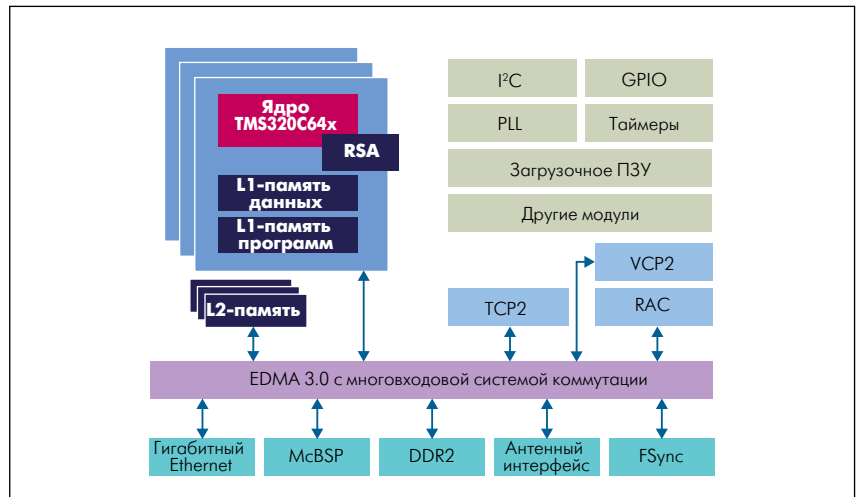


Рис.5. Блок-схема процессора TMS320TCI6489

Компания TI считает, что благодаря заложенным в них возможностям СнК TMS320TCI6489 можно успешно использовать при построении фемтосотовых станций для различных технологий мобильной связи: UMTS, WiMAX, LTE [10].

Системы на основе TMS320TCI6489 ориентированы на корпоративный сектор. Они обладают радиусом

действия до 200 м и способны обслуживать до 32 абонентов. В 2009 году компанией TI был анонсирован также процессор TMS320TCI6485 [9], основанный на двух ЦСП-ядрах и предназначенный для домашнего применения. Однако в настоящее время данные о нем отсутствуют на сайте производителя.

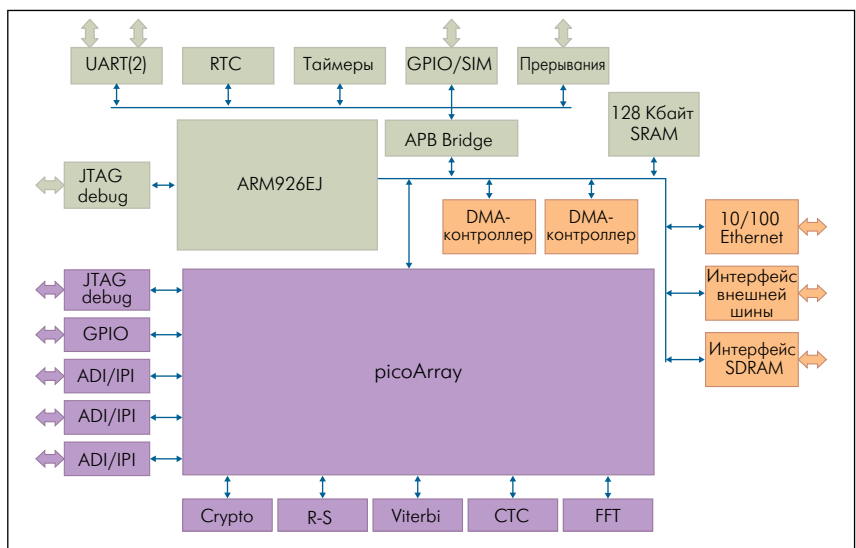


Рис.6. Блок-схема процессора PC205

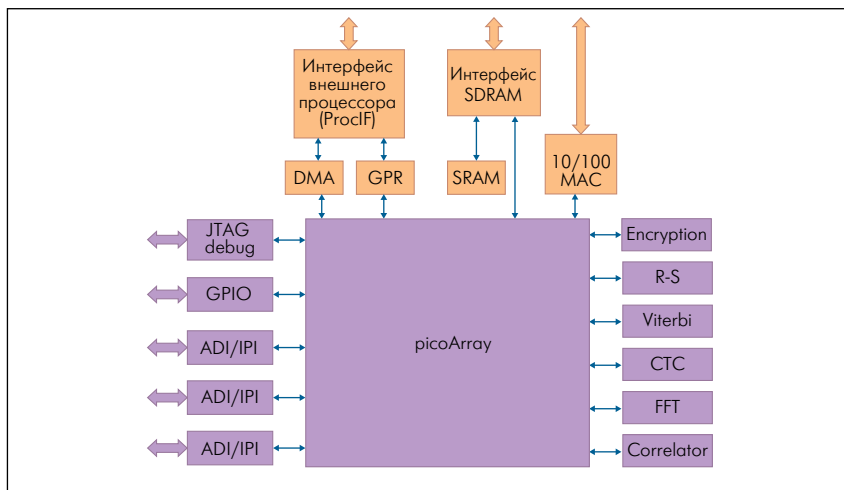


Рис.7. Блок-схема процессора PC203

Помимо процессорной SiK TMS320TC16489 компания TI предлагает различные дополнительные устройства для фемтосотовых станций: радиочастотные модули, средства управления электропитанием, тактовые генераторы и усилители [9]. Таким образом, производители могут создавать готовые решения для фемтосот, используя компоненты одного поставщика.

Другой производитель – компания picoChip – предлагает свой вариант процессоров для фемтосот. Центральная часть в них – многоядерная процессорная платформа picoArray [12].

В арсенале компании picoChip есть процессоры для построения фемтосотовых станций, работающих на основе всех используемых сегодня технологий мобильной связи: GSM, UMTS, WiMAX, LTE, HSPA+.

Например, решение picoChip для WiMAX основано на процессоре

PC205 (рис.6) [13]. В нем используется picoArray из 248 (в расширенной версии – 273) ЦСП, который обеспечивает выполнение вычислительных процедур физического (PHY) уровня. Реализация MAC-уровня в PC205 возложена на ARM9-сопроцессор. В процессоре PC205 присутствуют также модули аппаратного кодера Рид-Соломона (R-S), декодера Виттерби, сверточного турбокодера (СТС), быстрого преобразования Фурье (FFT) и криптозащиты (см. рис.6).

Решения picoChip для технологии LTE основаны на процессоре PC203 (рис.7) [13]. Как и PC205, этот процессор доступен в двух вариантах: стандартном с PicoArray из 248 ЦСП и расширенном (PC203-10), где picoArray включает 273 ЦСП. Основное отличие от PC205 – в отсутствии ARM-сопроцессора. Для обработки процедур MAC-уровня используется внешний процессор (например, Wintegra Winpath или Freescale PowerQUICC). Для взаимодействия с ним в PC203 предусмотрен высокопроизводительный интерфейс.

Для 3G-систем у picoChip есть несколько решений. Одно из них – процессор PC202, аналогичный по архитектуре процессору PC203 [5, 13]. Более новые продукты – SiK PC302, PC312 и PC323. Основные отличия между PC302, PC312 и PC323 – в максимальном числе одновременно обслуживаемых абонентов и скоростях передачи данных по восходящему и нисходящему каналам. Процессор PC302 [13] рассчитан на поддержку четырех абонентов и передачу данных со скоростями до 21 Мбит/с (HSDPA) и 5,7 Мбит/с (HSUPA). Процессор

PC312 обеспечивает те же скорости передачи данных, но может одновременно обслуживать до восьми абонентов. Еще большей мощностью обладает SiK PC323 – до 24 поддерживаемых абонентов на скоростях 42 Мбит/с (HSDPA) и 11,5 Мбит/с (HSUPA).

Совсем недавно picoChip заявила о создании нового процессора – PC500 [13]. Пока на сайте picoChip об этом процессоре есть только краткий пресс-релиз, из которого следует, что PC500 ориентирован в основном на технологию LTE, но совместим также с устройствами для WiMAX и HSPA+. Процессор основан на picoArray и обеспечивает реализацию физического и MAC-уровней, а также криптозащиту. Начало поставок PC500 потребителям намечено на первый квартал 2011 года.

Для всех фемтосотовых процессоров у picoChip есть типовые варианты для разработки систем (reference design), включающие помимо самого процессора необходимую периферию: радиомодули, память, источники питания, физические интерфейсы и др., а также программное обеспечение для управления системой [13].

Элементную базу для фемтосотовых станций выпускают также компании Qualcomm [14] и Percello [15]. Правда, пока она предназначена для работы только в сетях 3G.

**ГОТОВЫЕ РЕШЕНИЯ**

Сегодня фемтосотовые станции выпускают несколько производителей: Alcatel-Lucent, ip.access, Huawei, Ubiquisys, Airvana, NEC. Получить полностью достоверную информацию об их элементной базе трудно – на сайтах производителей эти данные, как правило, отсутствуют, – но некоторые сведения все же есть. По словам представителей компании Picochip, в большинстве фемтосотовых устройств используются их процессоры [16]. Так, элементную базу Picochip задействует в своих фемтосотовых станциях компания Alcatel-Lucent [17]. Эти станции предназначены для сетей 3G (W-CDMA) [18]. Компания производит приборы как для домашнего, так и для корпоративного применений.

Компания Airvana производит фемтосотовые станции HubBub [19]. Судя по имеющейся информации [20], в них используется элементная база компании TI.



Рис.8. Фемтосотовая станция Oyster3G компании ip.access

Компания ip.access выпускает устройства под названием Oyster 3G (рис.8) [21]. Как видно из названия, они предназначены для сетей мобильной связи третьего поколения.

Свою модель фемтосотовой станции выпускает и компания NEC [22]. Этот прибор предназначен для работы в сетях стандарта HSPA.

Недавно появились фемтосотовые станции под брендом Cisco. Их, в частности, предлагает своим абонентам оператор AT&T [23].

По-видимому, пока на рынке отсутствуют фемтосотовые станции для сетей WiMAX и LTE. Во всяком случае, на сайтах основных производителей фемтосотовых станций о них нет никакой информации. Возможно, такая ситуация связана с относительно малой распространенностью этих сетей в настоящее время.

#### **ПРИМЕНЕНИЕ: СЕГОДНЯ И ЗАВТРА**

Сейчас фемтосоты в том или ином масштабе используют несколько крупных операторов в разных странах: Sprint, StarHub, Verizon Wireless, Vodafone Group, AT&T, SoftBank [23–26].

У российских операторов также есть планы относительно фемтосот. Операторы констатируют проблемы со связью 3G в помещениях и рассматривают фемтосоты как эффективный способ решения проблемы. Так, по словам представителей МТС [24], в 3G-макросети лишь около 40% абонентов оказываются в зоне хорошего покрытия. Чтобы увеличить это число до 75%, необходимы инвестиции, которые больше первоначальных в два раза, а чтобы достичь 100%, требуется увеличить финансирование в семь раз. Поэтому для улучшения качества связи в зданиях экономически выгоднее выбрать именно фемтосоты.

Насколько широким станет распространение 3G-фемтосот? Точный прогноз сделать сейчас трудно. Одним из препятствий для продвижения фемтосот является конкуренция со стороны точек доступа Wi-Fi, которые сейчас доминируют на рынке [16, 27]. Они, может быть, не всегда столь удобны, как фемтосотовые станции, но более дешевы и легки в подключении. К тому же Wi-Fi-роутеры обычно все равно присутствуют в

доме, так как к ним, помимо телефонов и коммуникаторов, подключают и другое оборудование, например, ноутбуки и плееры. Существенно и то, что многие телефоны и коммуникаторы с поддежкой 3G оснащены также модулем Wi-Fi. При этом пользование телефоном через Wi-Fi (например, с помощью популярной программы Skype), как правило, бесплатно. А фемтосоты в большинстве случаев требуют дополнительных расходов. Во-первых, нужно купить фемтосотовую станцию. Некоторые операторы предлагают их бесплатно или со скидкой, но обычно лишь тем абонентам, которые подписываются на выгодные оператору тарифные планы. Во-вторых, пользование фемтосотами хотя и дешевле, чем при доступе через макросотовые станции, но все же не бесплатно. Некоторые компании, например Ericsson, в этой ситуации, по-видимому, заняли выжидательную позицию, и пока воздерживаются от выпуска фемтосотовых станций [27].

В определенной мере распространение 3G-фемтосот будет, вероятно, зависеть и от развития самих 3G-

сетей, в том числе с учетом появления и расширения сетей LTE, WiMAX и «наступающего» 4G.

В России внедрение фемтосот сегодня связано и с административными проблемами. Дело в том, что фемтосотовые станции, в отличие от Wi-Fi-устройств, работают в лицензируемом диапазоне частот, и на их использование нужно разрешение. Похоже, недавно дело сдвинулось с мертвой точки: по появившейся в прессе информации, в октябре 2010 года Роскомнадзор впервые зарегистрировал фемтосоты стандарта IMT-2000/UMTS, устанавливаемые компанией МТС [28].

Фемтосоты для сетей WiMAX и LTE пока можно рассматривать только в перспективе. Правда, перспектива эта, скорее всего, недалекая. Элементная база для WiMAX и LTE-фемтосотовых станций, как говорилось, уже есть. Дело за развитием самих сетей и внедрением в них фемтосот. Причем, по мнению компании Picochip, фемтосоты призваны изначально стать важной и неотъемлемой составляющей LTE-сетей [2]. Крупнейший японский оператор сотовой связи NTT DoCoMo летом 2010 года объявил о своих планах начать массовое внедрение LTE-фемтосот в 2011–2012 годах для поддержки развёртывания своих LTE-сетей [29].

Совсем недавно, в конце октября 2010 года, произошло достаточно знаковое для рынка фемтосот событие. Компания Broadcom – один из основных производителей элементной базы для телекоммуникаций – решила приобрести за 86 млн. долл. компанию Percello – разработчика и производителя процессоров для фемтосотовых станций [30]. По мнению аналитиков, это приобретение подтверждает серьезную потребность рынка телекоммуникаций в фемтосотах и открывает качественно иные перспективы их развития и применения. Весьма вероятно, что Broadcom предложит в основном интегрированные решения, где фемтосотовые процессоры будут объединены в одном устройстве с кабельными или ADSL-модемами [30].

Таким образом, фемтосоты являются интересным и эффективным решением, позволяющим во многих случаях улучшить качество беспро-

водной связи, в первую очередь в сетях ШПД. Они уже находят применение у операторов мобильной связи. Насколько массовым станет это применение – покажет будущее.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **De la Roche G., Valcarce A., Lopez-Perez D., Zhang J.** Access Control Mechanisms for Femtocells. – IEEE Communications Magazine, January 2010, v. 48, N°1, p.33–39.
2. LTE Takes Shape: Fine-Grained and Self-Organized. Technical White Paper Version 2.0, October 2008. – www.picochip.com.
3. **Calin D., Claussen H., and Uzunalioglu H.** On Femto Deployment Architectures and Macrocell Offloading Benefits in Joint Macro-Femto Deployments. – IEEE Communications Magazine, January 2010, v. 48, N°1, p.26–32.
4. **Weitzen J., Grosch T.** Comparing Coverage Quality for Femtocell and Macrocell Broadband Data Services. – IEEE Communications Magazine, January 2010, v. 48, N°1, p.40–44.
5. **Елисеев Н.** Фемтосоты в мобильной связи – преимущества и решения. – Первая миля, 2007, N°2, с.12–15.
6. **Kim R.Y., Kwak J. S., Etemad K.** WiMAX Femtocell: Requirements, Challenges, and Solutions. – IEEE Communications Magazine, September 2009, v. 47, N°9, p.84–91.
7. **Golaup A., Mustapha M., Patanapongpibul L.B.** Femtocell Access Control Strategy in UMTS and LTE. – IEEE Communications Magazine, September 2009, v. 47, N°9, p.117–123.
8. TMS320TCI6489 Communications Infrastructure Digital Signal Processor. Datasheet. – focus.ti.com/lit/ds/symlink/tms320tci6489.pdf.
9. Новое семейство сигнальных процессоров для оборудования фемтосот компании Texas Instruments. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2009, N°5, с.78.
10. Innovative DSP technology with RISC virtualization delivers high performance, flexible femtocell design. White paper, 2010 – www.ti.com.
11. Enabling LTE development with TI's new multicore SoC architecture. White paper, 2010 – www.ti.com.
12. Multi-core DSP architecture – picoArray for demanding signal processing applications. – www.picochip.com.
13. www.picochip.com.
14. Femtocell Station Modem (FSM) Platform. – www.qualcomm.com.
15. PRC6000 Digital Baseband Processor for UMTS Femtocells. – www.percello.com/PRC6000.pdf.
16. **Yoshida J.** Femtocells lure embattled net operators. – www.eetimes.com/electronics-news/4208635/Femtocells-lure-embattled-net-operators.
17. Interview with David Swift, Alcatel-Lucent Small Cell Product Marketing. – www.thinkfemtocell.com/Femtocell-Interview/interview-with-david-swift-alcatel-lucent-small-cell-product-marketing.html.
18. Alcatel-Lucent 9360 Small Cell Solution for the Home. – www.alcatel-lucent.com/wireless/femto\_small\_cells.html.
19. Femtocells. – www.airvana.com/products/cdma-femtocell.
20. Airvana. – www.ti.com.
21. Oyster3G. – www.ipaccess.com/femtocells/oyster3G.php.
22. Femtocell access point. – www.nec.com.
23. AT&T 3G MicroCell. – www.wireless.att.com/learn/why/3gmicrocell/.
24. Фемтосоты в России: быть или не быть... – www.spbit.ru/news/n69092.
25. Bad Reception? Sprint May Give You a Free Femtocell to Fix It – www.wired.com/gadgetlab/2010/08/free-sprint-femtocell-airave.
26. Donegan M. Softbank Kicks Off Free Femto Giveaway. – www.lightreading.com/document.asp?doc\_id=193879.
27. Ericsson prepared to wait for femto price to equal Wi-Fi access points. – www.fiercewireless.com/europe/story/ericsson-prepared-wait-femto-price-equal-wi-fi-access-points/2010-02-12.
28. В РФ зарегистрированы первые фемтосоты. – femtosota.blogspot.com/2010/10/blog-post\_13.html.
29. NTT DOCOMO plans LTE femtocell launch in 2011. – Iteworld.org/news/ntt-docomo-plans-lte-femtocell-launch-2011.
30. **Yoshida J.** Will Broadcom buy change the femto market? – www.eetimes.com/electronics-news/4210229/Will-Broadcom-Percello-change-the-femto-market-