

Упражнение по планированию радиосетей LTE, а также о технических предпосылках объединения операторов



Варукина Лидия, к.т.н., менеджер по оборудованию мобильного широкополосного доступа компании Nokia Siemens Networks

Планирование радиосетей LTE имеет некоторые отличия от аналогичного процесса для других технологий. Отличия обусловлены типом многостанционного доступа на базе OFDM, наличием двух типов дуплекса - частотного (FDD) и временного (TDD), а при планировании сетей с временным дуплексом приходится искать компромисс между радиопокрытием и емкостью сети. Проиллюстрируем возможности сетей LTE с различными типами дуплекса и в различных диапазонах частот, оценив их радиопокрытие и емкость.

Несколько месяцев назад в нашей стране было создано первое объединение операторов для построения совместной сети LTE на базе сети «Скартел». В альянсе со «Скартелом» в него вошли операторы «Большой Тройки» и Ростелеком. В печати муссировались все возможные экономические и политические причины этого события. Не отмечая их важности, рассмотрим технические предпосылки объединения операторов. Также опишем решение компании Nokia Siemens Networks по поддержке радиосетей, совместно используемых несколькими операторами.

Процесс планирования радиосетей

Существуют два основных варианта планирования сетей: с целью формирования максимальной площади покрытия или с целью обеспечения требуемой емкости. Эти задачи порой противоречат друг другу. Например, в городских условиях при высокой плотности абонентов зоны обслуживания базовых станций (БС) по площади гораздо меньше максимально возможной, но оптимизированы по пропускной способности. В сельской местности зачастую ситуация – противоположная, плотность абонентов – невысокая, и базовые станции устанавливаются на максимальном удалении друг от друга так, чтобы закрыть каждой БС максимальную территорию. Но и в том и другом случае оценивают как радиопокрытие, так и емкость сети для того, чтобы выявить в проекте сети факторы, ограничивающие ее характеристики.

Энергетический бюджет

Анализ радиопокрытия начинают с вычисления энергетического бюджета, или максимально допустимых потерь на линии (МДП). Принцип расчета иллюстрируется Рис. 1, МДП рассчитывается как разность между эквивалентной изотропной излучаемой

мощностью (ЭИИМ) передатчика и минимально необходимой мощностью сигнала на входе приемника сопряженной стороны, при которой с учетом всех потерь в канале связи обеспечивается нормальная демодуляция сигнала в приемнике.

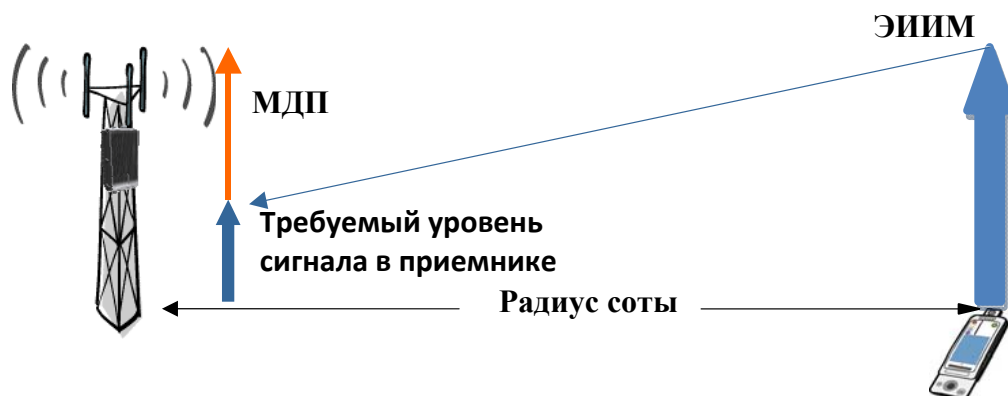


Рис. 1 Принцип расчета энергетического бюджета

Рассмотрим примеры расчета энергетического бюджета для систем LTE с частотным и временным дуплексом, работающих в диапазоне 2600 МГц. Причем для системы с временным дуплексом рассмотрим два варианта конфигураций кадра 1 и 2, формат специального субкадра – 7. Системная полоса для всех систем рассматривается равной 20 МГц, т.е. в случае FDD системная полоса будет разделяться на два канала по 10 МГц для линии вверх (UL) и линии вниз (DL), а в случае TDD вся полоса 20 МГц будет использоваться как на UL, так и на DL.

Рассмотрим БС, РЧ-блок каждого сектора которой оснащен двумя приемопередатчиками, выходная мощность передатчиков 20 Вт (43 дБм). РЧ-блок устанавливается в непосредственной близости от антенны. Базовая станция работает на линии вниз в режиме MIMO 2x2 с использованием кросс-поляризованной антенны. Поскольку энергетический бюджет рассчитывается для абонентской станции (АС) на краю соты, т.е. принимающей сигналы от БС с низким отношением сигнал/шум (ОСШ), то БС передает сигналы на эту АС в режиме разнесенной передачи. За счет сложения мощностей сигналов двух передатчиков в пространстве можно получить энергетический выигрыш (3 дБ). В качестве АС рассматриваем USB-модем, класс 3 – ЭИИМ 23 дБм.

Результаты расчета энергетического бюджета¹ сведены в Табл. 1.

Табл. 1. Энергетический бюджет для условий средней городской застройки

| Параметр | FDD 10+10 МГц | | TDD 20 МГц (конф. кадра 1) | | TDD 20 МГц (конф. кадра 2) | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------|------|----------------------------|------|----------------------------|------|------|------|
| | DL | UL | DL | UL | DL | UL | | |
| Антенная система | 2x2 | 1x2 | 2x2 | 1x2 | 2x2 | 1x2 | | |
| Соотношение длительности кадров DL/UL | 100% | 100% | 54% | 42% | 74% | 23% | | |
| Передатчик | | | | | | | | |
| P_{Tx} | Выходная мощность передатчика, дБм | | 43.0 | 23.0 | 43.0 | 23.0 | 43.0 | 23.0 |
| G_{TxDiv} | Выигрыш от сложения мощности передатчиков, дБ | | 3.0 | - | 3.0 | - | 3.0 | - |

¹ Подробное описание расчета энергетического бюджета включено в готовящуюся к печати книгу: Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Варукина Л.А., Высочин В.П. "Сети LTE и LTE Advanced: Архитектура, технологии и регулирование"

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------|---------------|--|--------------|---------------|--|--------------|---------------|
| G_{TxA} | Коэффициент усиления антенны, дБи | 18.0 | 0.0 | | 18.0 | 0.0 | | 18.0 | 0.0 |
| L_{TxF} | Потери в фидерном тракте, дБ | 0.4 | - | | 0.4 | - | | 0.4 | - |
| P_{EIRP} | ЭИИМ, дБм $P_{EIRP} = P_{Tx} + G_{TxDiv} + G_{TxA} - L_{TxF}$ | 63.6 | 23.0 | | 63.6 | 23.0 | | 63.6 | 23.0 |
| Приемник | | | | | | | | | |
| | Скорость передачи данных на краю соты, кбит/с | 4210 | 128 | | 4510 | 128 | | 5910 | 128 |
| N_{PRB} | Число ресурсных блоков | 45 | 2 | | 86 | 4 | | 98 | 20 |
| | Схема модуляции и кодирования | 6-QPSK | 5-QPSK | | 6-QPSK | 6-QPSK | | 5-QPSK | 1-QPSK |
| | Эффективная скорость кодирования | 0.45 | 0.28 | | 0.46 | 0.38 | | 0.38 | 0.14 |
| P_N | Мощность теплового шума, дБм | -104.4 | -118.4 | | -101.4 | -115.4 | | -101.4 | -108.4 |
| M_{SNR} | Требуемое ОСШ, дБ | -0.24 | 0.61 | | -0.23 | 0.01 | | 0.03 | -4.35 |
| L_N | Коэффициент шума приемника, дБ | 7.0 | 2.5 | | 7.0 | 2.5 | | 7.0 | 2.5 |
| S_{Rx} | Чувствительность приемника, дБм $S_{Rx} = P_N + M_{SNR} + L_N$ | -97.6 | -115.3 | | -94.6 | -112.8 | | -94.3 | -110.2 |
| G_{RxA} | Коэффициент усиления антенны, дБи | 0.0 | 18.0 | | 0.0 | 18.0 | | 0.0 | 18.0 |
| L_{RxF} | Потери в фидерном тракте, дБ | - | 0.4 | | - | 0.4 | | - | 0.4 |
| Прочие запасы/выигрыши | | | | | | | | | |
| M_{Int} | Запас на помехи, дБ | 8.51 | 3.8 | | 8.53 | 3.8 | | 10.65 | 3.8 |
| M_{Build} | Запас на проникновение в помещение, дБ | 17.0 | | | 17.0 | | | 17.0 | |
| M_{Shade} | Запас на затенение, дБ | 8.7 | | | 8.7 | | | 8.7 | |
| G_{HO} | Выигрыш от хэндовера, дБ | 2.5 | | | 2.5 | | | 2.5 | |
| Максимально допустимые потери $L_{MAPL} = P_{EIRP} - S_{Rx} + G_{RxA} - L_{RxF} - M_{Build} - M_{Int} - M_{Shade} + G_{HO}$ | | | | | | | | | |
| L_{MAPL} | МДП, дБ | 129.5 | 128.9 | | 126.5 | 126.5 | | 124.2 | 123.9 |
| Радиус соты в условиях средней городской застройки | | | | | | | | | |
| d | Радиус соты, км | 0.53 | | | 0.45 | | | 0.38 | |
| S_{BS} | Площадь покрытия трехсекторного сайта, кв. км, $S_{BS} = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} d^2$ | 0.54 | | | 0.40 | | | 0.28 | |

Энергетический бюджет в значительной степени зависит от соотношения длительности кадров на UL и DL. Если в системе FDD конфигурация кадров одинакова для линий вверх и вниз: кадр включает в себя 10 субкадров по 1 мс, то в системе TDD используется ассиметричная структура кадра для линий вверх и вниз.

На Рис.2 изображено 7 конфигураций кадра в системе TDD² (пронумерованы по вертикали), состоящего также из 10 субкадров по 1 мс (субкадры пронумерованы по

² В сети TDD конфигурации кадров всех БС должны совпадать.

горизонтали). Буквой «S» обозначены специальные субкадры, включающие 3 поля, см. Рис. 3: DwPTS – поле для передачи управляющей информации и пользовательских данных на линии вниз; GP – защитный интервал для переключения с линии вниз на линию вверх; UpPTS – поле для передачи на линии вверх управляющей информации, в основном канала доступа. Обратите внимание, что специальный субкадр позволяет переносить пользовательскую информацию только на линии вниз.

| | | | | | | | | | | |
|---|----|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | DL | S | UL | UL | UL | DL | S | UL | UL | UL |
| 1 | DL | S | UL | UL | DL | DL | S | UL | UL | DL |
| 2 | DL | S | UL | DL | DL | DL | S | UL | DL | DL |
| 3 | DL | S | UL | UL | UL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 4 | DL | S | UL | UL | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 5 | DL | S | UL | DL | DL | DL | DL | DL | DL | DL |
| 6 | DL | S | UL | UL | UL | DL | S | UL | UL | DL |
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Рис.2 Конфигурации кадров в системе TDD

В рассматриваемых примерах системы TDD используется специальный субкадр формата 7 с длительностью полей: DwPTS – 10 символов OFDM, GP – 2 символа OFDM, – 2 символа OFDM.

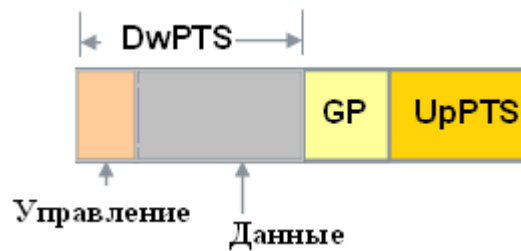


Рис. 3 Структура специального субкадра

В системах с адаптивными схемами MCS дальность связи зависит от гарантируемой скорости передачи данных для пользователя на краю соты. В указанных примерах на линии вверх для пользователя на краю соты гарантируется скорость 128 кбит/с. В зависимости от типа дуплекса и соотношения длительностей кадра UL/DL, для переноса этого потока данных, требуется выделить разное количество ресурсных блоков (1 ресурсный блок = 180кГц x 1 мс). Выбор оптимального числа ресурсных блоков N_{PRB} и схемы MCS осуществляются по результатам моделирования канального уровня, исходя из заданного качества услуг с минимизацией ОСШ M_{SNR} . Указанные в Табл. 1 значения M_{SNR} получены для модели канала «Enhanced Pedestrian A 5» [2].

Запас на помехи M_{Int} определяется по результатам моделирования системного уровня в зависимости от нагрузки в соседних сотах. Указанные в Табл. 1 значения M_{Int} соответствуют нагрузке в соседних сотах 90%.

Для того, чтобы обеспечить связь в помещении, необходимо добавить в энергетический бюджет запас на проникновение радиоволн в помещение M_{Ind} . Для диапазона 2600 МГц могут использоваться следующие типовые значения запаса на проникновение:

- 22 дБ в условиях плотной городской застройки;
- 17 дБ в условиях средней городской застройки;
- 12 дБ в условиях редкой застройки (в пригороде);
- 8 дБ в сельской местности (на открытой местности в автомобиле).

Поскольку зоны радиопокрытия соседних сот, как правило, перекрываются, то при возникновении глубоких замираний в обслуживающей соте АС может осуществить хэндовер в соту с лучшими характеристиками приема. Этот эффект можно интерпретировать как выигрыш от хэндовера G_{HO} .

Из двух значений МДП, полученных для UL и DL, выбирают минимальное, по которому производят дальнейший расчет радиуса соты. Ограничивающей линией по дальности связи, как правило, является линия вверх.

Обратите внимание, что в Табл. 1 максимально допустимые потери на линиях вверх и вниз примерно одинаковые, с разницей меньше 1 дБ. В этих примерах скорости передачи на линии вверх были зафиксированы, а на линии вниз для каждого случая скорость подбиралась так, чтобы сбалансировать максимально допустимые потери для обеих линий.

В Табл. 1 указаны радиусы сот для ограничивающей линии с наименьшим МДП, для линии вверх, в условиях средней городской застройки. Для расчета дальности связи в данном случае используется модель распространения радиоволн COST231-Hata [3], высота подвеса антенн БС принята равной 30 м.

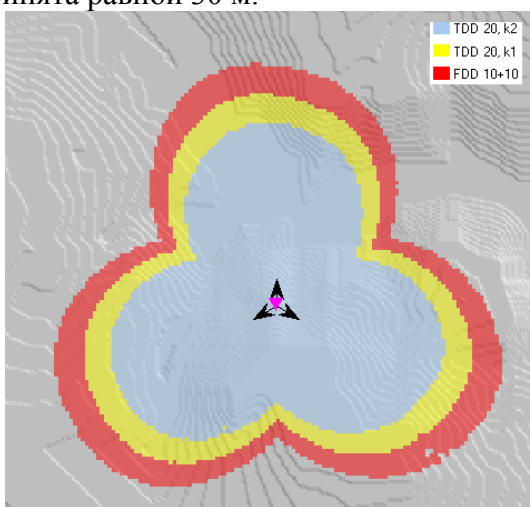


Рис.4 Сравнение радиопокрытия трехсекторной БС FDD и TDD

Наилучшим радиопокрытием при одной и той же гарантированной скорости передачи данных на линии вверх обладает система FDD. Для того, чтобы передать один и тот же поток данных в трех рассмотренных системах, на линии вверх приходится выделять разное количество частотных ресурсов (в обратной зависимости от длительности кадра), поскольку длительности кадров на линии вверх различаются: 10 мс – в случае FDD; 4 мс – в случае TDD, конф.1; 2 мс – в случае TDD, конф.2. Но чем больше частотных ресурсов выделяется пользователю, тем выше мощность тепловых шумов во входных цепях приемника, и хуже его чувствительность.

Однако, в рассмотренных случаях в системе TDD можно гарантировать более высокую пропускную способность на линии вниз по сравнению с системой FDD, благодаря асимметрии кадров DL и UL, см. Табл. 1.

Оценка емкости

Емкость, или пропускную способность, сети оценивают, базирясь на средних значениях спектральной эффективности соты в определенных условиях. В Табл. 2 приведены значения средней спектральной эффективности соты LTE FDD в макросети для двух случаев, специфицированных 3GPP как сценарий 1 (расстояние между сайтами

500 м), и сценарий 3 (расстояние между сайтами 1732 м) [1]. В обоих случаях характеристики оценивались для диапазона 2 ГГц, полосы канала 10 МГц (10 + 10 МГц в дуплексе), при потерях на проникновение в здание 20 дБ, в среднем при 10 активных пользователях в соте.

Табл. 2. Средняя спектральная эффективность в макросети

| Линия | Схема MIMO | Средняя спектральная эффективность (бит/с/Гц) | |
|-------|------------|-----------------------------------------------|------------|
| | | Сценарий 1 | Сценарий 3 |
| UL | 1 x 2 | 0,735 | 0,681 |
| | 1 x 4 | 1,103 | 1,038 |
| DL | 2 x 2 | 1,69 | 1,56 |
| | 4 x 2 | 1,87 | 1,85 |
| | 4 x 4 | 2,67 | 2,41 |

Приведем пример расчета пропускной способности для сетей 3 конфигураций, рассмотренных в предыдущем разделе, причем пользоваться будем значениями спектральной эффективности для сценария 1 (расстояние между сайтами 500 м), как наиболее близкого по размерам сот, полученным в предыдущем разделе.

Для системы FDD средняя пропускная способность соты может быть получена путем прямого умножения ширины канала на спектральную эффективность.

Для системы TDD можно принять спектральную эффективность равной аналогичным значениям для системы FDD, а при расчете пропускной способности учитывать долю длительности кадра на линии вверх или вниз. Например, рассчитаем среднюю пропускную способность соты на линии вниз при конфигурации кадра 1:

$$R_{TDD} = S_{FDDaverage} \cdot W \cdot T_{\%} = 1,69 \cdot 20000 \cdot 0,54 = 18,25 \text{ Мбит/с},$$

где $S_{FDDaverage}$ - средняя спектральная эффективность, W - ширина канала, $T_{\%}$ - доля длительности кадра на линии вверх или вниз.

Результаты расчета пропускной способности трехсекторных базовых станций приведены в Табл. 3.

Табл. 3. Средняя пропускная способность трехсекторной БС

| Конфигурация системы | FDD 10+10 МГц | | TDD 20 МГц (конф. кадра 1) | | TDD 20 МГц (конф. кадра 2) | |
|---------------------------------------------|---------------|-------|----------------------------|-------|----------------------------|-------|
| | DL | UL | DL | UL | DL | UL |
| Соотношение длительности кадров | 100% | 100% | 54% | 42% | 74% | 23% |
| Спектральная эффективность, бит/с/Гц | 1,69 | 0,735 | 1,69 | 0,735 | 1,69 | 0,735 |
| Средняя пропускная способность соты, Мбит/с | 16,9 | 7,35 | 18,25 | 6,32 | 25,01 | 3,38 |
| Средняя пропускная способность БС, Мбит/с | 50,7 | 22,05 | 54,75 | 18,96 | 75,04 | 10,14 |

Сравнивая типы дуплекса...

По диаграммам на Рис. 5 можно сравнить среднюю пропускную способность и площадь покрытия трехсекторного сайта для 3 рассмотренных конфигураций системы LTE (по данным из Табл. 1 и Табл. 3). Если пропускная способность на линии вниз в системах FDD и TDD с конфигурацией кадра 1 примерно одинаковая, то радиопокрытие различается уже заметно.

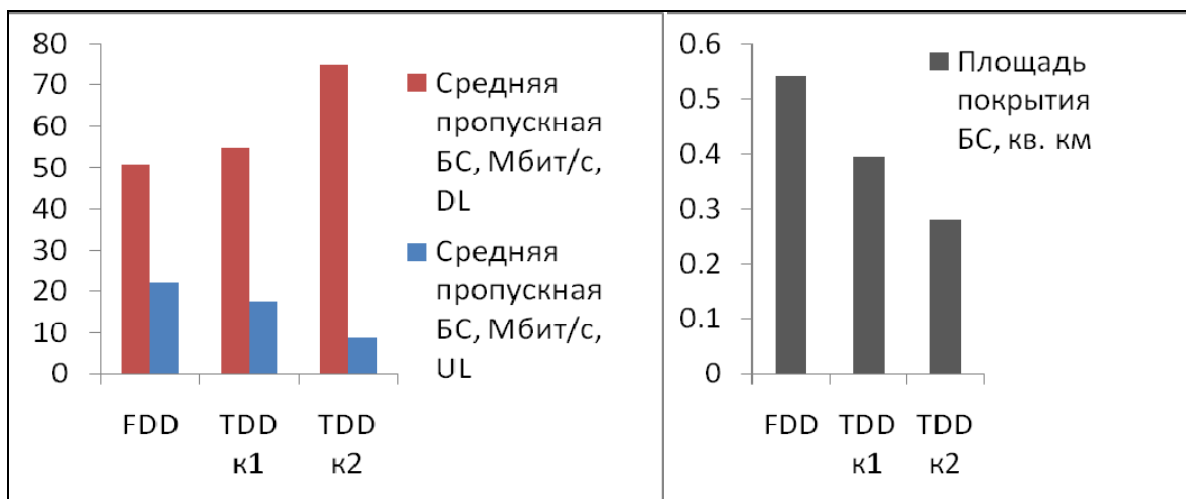


Рис. 5 Сравнение пропускной способности и площади покрытия трехсекторной БС при разных конфигурациях системы LTE

Универсального рецепта по выбору конфигурации системы LTE не существует. Если тип дуплекса определяется отсутствием или наличием парного спектра у оператора, то на выбор конфигурации кадра в TDD могут повлиять требования как к радиопокрытию, так и к пропускной способности.

Чем больше асимметрия кадра TDD и больше длительность кадра на линии вниз, тем, к сожалению, больше ограничения по площади радиопокрытия.

Можно посоветовать операторам на начальном этапе развития сети при малом трафике использовать конфигурацию кадра 1 и ориентироваться на неглубокое/уличное покрытие (гарантировать доступ к услугам в зданиях только у окна или из автомобилей), затем по мере роста трафика и уплотнения сайтов переходить к другим конфигурациям кадра с большей асимметрией.

О частотных диапазонах

Для 3 рассмотренных конфигураций системы диапазона 2600 МГц рассчитаем требуемое количество трехсекторных сайтов для обслуживания некоторого мегаполиса площадью 880 кв. км. В Табл. 4. указаны результаты расчета, а также распределение классов застройки/местности, определяющих условия распространения радиоволн.

Табл. 4. Расчет числа БС³ диапазона 2600 МГц для обслуживания мегаполиса

| Класс местности | Плотная застройка | Средняя застройка | Редкая застройка | Открытая местность, парки | Итого |
|------------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------------------|------------|
| % местности | 20% | 45% | 15% | 20% | 100% |
| Площадь города по классам, кв. км | 176 | 396 | 132 | 176 | 880 |
| Потери на проникновение в помещение | 20 | 17 | 12 | 8 | |
| FDD 10+10 МГц | | | | | |
| МДП, дБ | 123.9 | 128.9 | 133.9 | 137.9 | |
| Радиус соты, км | 0.31 | 0.53 | 1.32 | 4.00 | |

³ Более точное оценивание радиопокрытия обычно производят с помощью специальных программных средств радиопланирования, учитывающих рельеф местности и тип застройки.

| | | | | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| Число сайтов | 926 | 732 | 39 | 6 | 1703 |
| TDD 20 МГц (конф. кадра 1) | | | | | |
| МДП, дБ | 121.5 | 126.5 | 131.5 | 135.5 | |
| Радиус соты, км | 0.27 | 0.45 | 1.12 | 3.41 | |
| Число сайтов | 1268 | 1002 | 54 | 8 | 2332 |
| TDD 20 МГц (конф. кадра 2) | | | | | |
| МДП, дБ | 118.9 | 123.9 | 128.9 | 132.9 | |
| Радиус соты, км | 0.23 | 0.38 | 0.95 | 2.9 | |
| Число сайтов | 1781 | 1408 | 75 | 11 | 3275 |

Полученное число базовых станций должно впечатлить даже неспециалистов. Опыт показывает, что в городе аналогичной площади у сотового оператора имеется 1500-2000 площадок с БС. Ограничения по числу сайтов вызваны не только финансовыми возможностями сотовых компаний, но и отсутствием подходящих площадок для установки БС.

А теперь взглянем на оценку числа базовых станций в сети LTE FDD диапазона 800 МГц, см. Табл. 5. Энергетический бюджет рассчитывается также, как для диапазона 2600 МГц. Отличия для диапазона 800 МГц заключаются в меньшем коэффициенте усиления антенны БС (15 дБ вместо 18 дБ) и в меньших потерях на проникновение в здание (в среднем их принимают на 3 дБ меньше).

Табл. 5. Расчет числа БС диапазона 800 МГц для обслуживания мегаполиса

| Класс местности | Плотная застройка | Средняя застройка | Редкая застройка | Открытая местность, парки | Итого |
|------------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|---------------------------|------------|
| Площадь города по классам, кв. км | 176 | 396 | 132 | 176 | 880 |
| МДП, дБ | 123.9 | 128.9 | 133.9 | 137.9 | |
| Радиус соты, км | 0.93 | 1.56 | 3.91 | 11.87 | |
| Число сайтов | 106 | 84 | 5 | 1 | 196 |

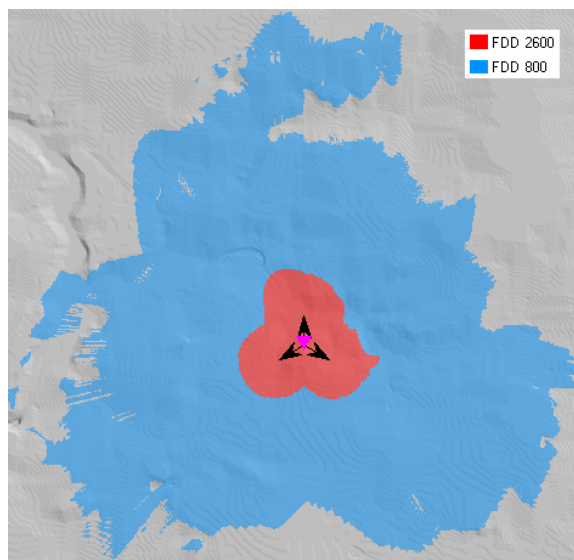


Рис. 6 Сравнение радиопокрытия трехсекторной БС в диапазонах 2600 и 800 МГц

Благодаря лучшим свойствам распространения радиоволн в низкочастотном диапазоне 800 МГц площадь сайта увеличивается примерно на порядок по сравнению с диапазоном 2600 МГц, соответственно, при использовании диапазона 800 МГц сайтов требуется на порядок меньше для закрытия той же территории.

Если строить сеть только в низкочастотном диапазоне, то для достижения требуемой емкости сети при высокой плотности абонентов придется устанавливать сайты близко друг к другу. При очень плотной расстановке сайтов их зоны радиопокрытия неизбежно перекрываются (для сети LTE, работающей с коэффициентом переиспользования частот 1, это очень критично), увеличивается уровень внутрисистемных помех и ухудшается пропускная способность. И, наоборот, если работать только в высокочастотном диапазоне, то неизбежно возникают проблемы с радиопокрытием.

Идея иерархической сети не нова. Для достижения баланса между покрытием и емкостью целесообразно использовать не менее двух иерархических уровней, работающих в высоком и низком диапазонах частот, причем на разных уровнях могут использоваться разные радиотехнологии.

К вопросу об объединении операторов

Итак, мы показали, что разворачивать макро-сеть только в высокочастотном диапазоне – задача неблагоприятная, поскольку обеспечить нормальное радиопокрытие в этом случае затруднительно. А «дырявое» или недостаточно глубокое радиопокрытие воспринимается абонентами как низкое качество предоставляемых оператором услуг.

Операторам беспроводного широкополосного доступа, не имеющим сотовых активов, приходится строить инфраструктуру радиодоступа практически с нуля, вкладывая в развитие сети огромные средства. А в густонаселенных районах эти проблемы еще усугубляются недостаточным количеством площадок, пригодных для установки БС. Все потенциальные сайты уже заняты сотовыми операторами, арендодатели с большим скрипом идут на установку нового оборудования и новых антенн.

Все мы видим ежедневно, перемещаясь по городам и весям, вышки и крыши домов, увешанные множеством «железок». Обилие антенн, выставленных на всеобщее обозрение, не добавляет красоты нашим каменным джунглям.



Естественный выход из этой ситуации – совместное использование существующей инфраструктуры несколькими операторами, а также ее расширение. Объединение операторов может мотивироваться также возможностью объединения их частотных ресурсов, что мы, вероятнее всего, будем наблюдать в случае консорциума операторов на базе «Скартел».

Оценим емкость сети LTE FDD в мегаполисе при наличии пары полос 10+10 МГц и при переиспользовании 1500 сотовых площадок. Исходя из Табл. 3, суммарная пропускная способность такой сети в направлении к абоненту составит $R_{NW} = 50,7$ х

1500=76000 Мбит/с. При расчете числа абонентов будем ориентироваться на тарифы сети LTE Telia Sonera (Швеция): максимальный объем трафика абонента в месяц – 30 Гбайт.

Табл. 6. Оценка емкости сети LTE в мегаполисе

| | | |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------|
| Трафик абонента, Гбайт/месяц | T_m | 30 |
| Число ЧНН ⁴ в день | N_{BH} | 17 |
| Число дней в месяце | N_{Days} | 30 |
| Усредненный трафик абонента в ЧНН, Мбит/с | $R_{BH} = \frac{T_m \cdot 8}{N_{BH} \cdot N_{Days}}$ | 0.131 |
| Доля трафика на DL | S_{DL} | 80% |
| Усредненный трафик абонента на DL в ЧНН, Мбит/с | $R_{DL} = R_{BH} \cdot S_{DL}$ | 0.105 |
| Общий трафик в сети, Гбит/с | R_{NW} | 76 |
| Число абонентов, тысяч | $N_{Sub} = \frac{R_{NW}}{R_{DL}}$ | 726 |

Примерно такой сценарий использования сети LTE можно предположить для Москвы. Полученная расчетная емкость в 726 тыс. абонентов явно недостаточна для сети широкополосного доступа в мегаполисе с населением более 12 млн. человек. Для того, чтобы удовлетворить ожидания всех пяти операторов, входящих в консорциум, требуется большая емкость, а, значит, больший частотный ресурс.

Вероятно, что для других перспективных операторов LTE, нацеленных на применение TDD-версии (в диапазонах выше 2 ГГц), также придется подумать об альянсах с сотовыми операторами. И для них это даже более актуально ввиду технологических ограничений LTE TDD по дальности связи по сравнению с LTE FDD.

Еще один момент, на который хотелось бы обратить внимание: так ли необходимо создавать «ковровое» покрытие в сети в высокочастотном диапазоне. При наличии у оператора (или у союза операторов) нескольких диапазонов частот, гораздо разумнее полагаться на ковровое покрытие, например, с использованием 3G в диапазонах 900 или 2100 МГц, а LTE в более высоких диапазонах разворачивать точно в зонах с высокой плотностью абонентов, используя не макро-, а микро- и пико- базовые станции.

Решение компании Nokia Siemens Networks

Компанией разработаны и успешно эксплуатируются решения по поддержке сетей, совместно используемых несколькими операторами (Network Sharing), с разделением ресурсов между операторами на нескольких уровнях:

- на уровне транспорта (при пассивном переиспользовании площадки несколькими БС),
- на уровне подсистемы радиодоступа (при активном переиспользовании ресурсов БС для поддержки разных операторов, каждого в своей полосе частот),
- на уровне ядра сети (при полном переиспользовании полос частот, базовых станций, транспорта и при разделении ресурсов ядра между операторами).

Для подсистемы радиодоступа компании Nokia Siemens Networks, выполненной по технологии Single RAN, возможен также ряд вариантов переиспользования ресурсов БС разными операторами, как иллюстрирует Рис. 7.

⁴ ЧНН – час наибольшей нагрузки



Рис. 7 Переиспользование сайта с совместным использованием спектра и с разделением по частотам

Базовая станция Flexi Multiradio состоит из двух основных элементов: системный модуль для цифровой обработки сигналов и радиомодуль с тремя приемопередатчиками. В минимальной конфигурации трехсекторная базовая станция выполняется из этих двух модулей, см. Рис. 8.



Рис. 8 Базовая станция Flexi Multiradio

Радиомодуль с 3 приемопередатчиками, изображенный на Рис. 9, может обслуживать три сектора с поддержкой в каждом секторе 6 несущих GSM, 4 несущих WCDMA, или нескольких каналов LTE с суммарной шириной 20 МГц. Радиомодуль может работать в смешанном режиме GSM/WCDMA/LTE. Кроме того, радиомодуль может поддерживать радиоканалы, принадлежащие разным операторам, реализуя концепцию «Network Sharing».

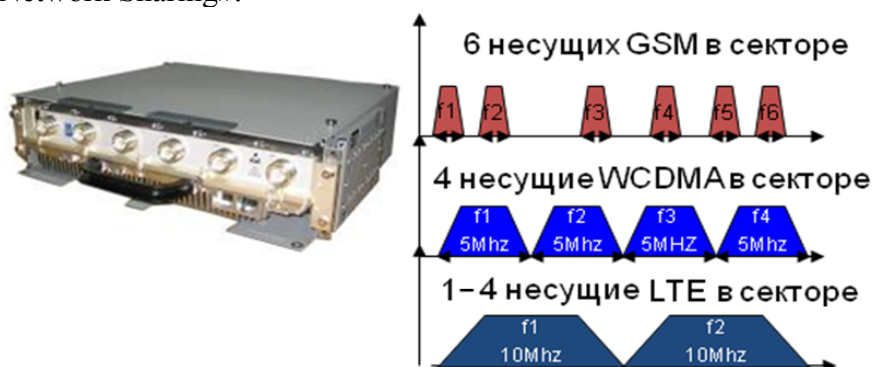


Рис. 9 Радиомодуль Flexi Multiradio

Системный модуль Flexi Multiradio обеспечивает поддержку до 6 радиомодулей, частотные каналы которых могут принадлежать разным операторам.

Таким образом, БС Flexi Multiradio являются идеальным решением для сетей, совместно используемых несколькими операторами, с реализацией технологий GSM/WCDMA/ LTE FDD/ LTE TDD.

Литература

1. Farooq Khan. LTE for 4G Mobile Broadband. Air Interface Technologies and Performance. - Cambridge University Press, 2009 – 492 с.

2. 3GPP TS 36 104: "E-UTRA Base Station (BS) radio transmission and reception" (Release 9). April 2011.
3. 3GPP TS 25.996: "Spatial channel model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) simulations" (Release 9). December 2009.