

УДК 621.391.8

ПОВЫШЕНИЕ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СЕТЯХ UMTS/HSPA+ НА ОСНОВЕ МИНИМИЗАЦИИ ВНУТРИСИСТЕМНЫХ ПОМЕХ

В.Г. Скрынников, эксперт ОАО «Мобильные ТелеСистемы», к.т.н.; skvg@mts.ru

Ключевые слова: внутрисистемные помехи, помехи от смежных сот, агрегирование несущих частот DC/DB (Dual Carrier/Dual Band), нетрадиционный метод частотно-го планирования, электромагнитная совместимость (ЭМС), UMTS/HSPA+.

Введение. Подобная задача – повышение скорости передачи данных в сетях UMTS/HSPA+ на основе минимизации внутрисистемных помех – была рассмотрена в [1] применительно к обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС) сетей UMTS/HSPA+ с другими радиоэлектронными средствами (РЭС). В основе ее решения лежал некий нетрадиционный метод мультичастотного (Dual Carrier/Dual Band, DC/DB) планирования, позволяющий в каждом секторе базовой станции выбирать разные несущие частоты, обеспечивая таким образом электромагнитную совместимость в направлении на соответствующее потенциально несовместимое РЭС. Такое решение позволяет снизить уровень внутрисистемных помех, создаваемых смежными сотами сети, и одновременно за счет этого повысить скорость передачи данных. В настоящей статье развита теоретическая составляющая решения, объясняющая возможность повышения скорости передачи данных в сети UMTS/HSPA+ при нетрадиционном частотном планировании.

Говоря о скорости, с которой передаются данные в системе, часто употребляют понятие потенциальной или теоретической скорости, значение которой для HSPA+ может составлять 21 или 42 Мбит/с. Эти значения определяются главным образом сигнально-кодowymi конструкциями в радиointерфейсе, т.е. типом модуляции, количеством доступных ортогональных каналообразующих кодов, схемами помехоустойчивого кодирования и др. (табл. 1).

Однако известно, что в системах с кодовым разделением каналов реальная скорость передачи данных весьма далека от потенциальных значений, поскольку существенно зависит от уровня внутрисистемных помех, возникающих в собственной соте и создаваемых смежными сотами. Первый тип помех обусловлен совокупной мощностью всех пользовательских каналов собственной соты, излучаемой в общей полосе частот. Помехи от смежных сот аналогичны по происхождению, но вызваны отсутствием повторного использо-

вания частот в сетях UMTS. При увеличении их уровня падает отношение сигнал/шум (SIR) в радиоканале, что и приводит к резкому снижению скорости передачи данных из-за целого ряда причин (переход на модуляцию более низкого порядка и схемы с низкими скоростями помехоустойчивого кодирования, снижение эффективности MIMO и др.). Здесь важно подчеркнуть, что уровень внутрисистемных помех зависит в основном от степени загрузки радиосети UMTS.

Поясним, что представляет собой загрузка радиосети и как она может влиять на скорость передачи данных.

Коэффициент загрузки радиосети UMTS. Загрузка радиосети UMTS характеризуется прежде всего создаваемой в ней энергетикой, поскольку чем больше активных пользователей, тем больший энергетический ресурс создается в радиосети, и он же является источником внутрисистемных помех. Уровень этих помех зависит от нескольких параметров.

В качестве количественного показателя загрузки радиосети UMTS используют так называемый коэффициент загрузки η , который имеет вид [2, 3]:

- для нисходящего (DL) канала

$$\eta_{DL} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b/N_0)_j R_j v_j}} (1 - \alpha_j + i_j); \quad (1)$$

- для восходящего (UL) канала

$$\eta_{UL} = (1 + i) \sum_{j=1}^N \frac{1}{1 + \frac{W}{(E_b/N_0)_j R_j v_j}}, \quad (2)$$

где N – число пользователей в ячейке; W – ширина спектра сигнала (чиповая скорость); E_b/N_0 – отношение энергии бита к спектральной плотности шума; R_j – скорость передачи бит j -го абонента; v_j – коэффициент активности j -го абонента; α_j – коэффициент ортогональности кода j -го канала (абонента); i_j – отношение мощности излучения БС соседних сот к мощности излучения БС собственной соты на входе приемника j -го абонента.

Коэффициент η отражает не столько показатели производительности (пропускной способности) сети, сколько энергетические показатели, и физически характеризует степень превышения внутрисистемными помехами теплового шума в приемнике. Степень такого превышения, т.е. увеличения помех, определяется отношением полной принимаемой мощности к мощности внутреннего шума в приемнике:

$$\Delta I = \frac{I_{\text{полн}}}{P_N} = \frac{1}{1 - \eta}. \quad (3)$$

Следовательно, использование коэффициента загрузки η позволяет оценить уровень превышения шума в приемнике помехами, создаваемыми в собственной и соседних ячейках, в виде зависимости $\Delta I = -10 \log_{10}(1 - \eta)$. График этой зависимости для $0 \leq \eta < 1$ приведен на рис. 1 [3].

Из выражений (1) и (2) следует, что коэффициент η зависит от внутрисистемных помех, создаваемых соседними

Таблица 1. Значения суммарных потенциальных скоростей передачи данных в UMTS при HSDPA (R'5)

| Модуляция | Скорость кода | Суммарная скорость передачи данных, Мбит/с | | |
|-----------|---------------|--|--------------|--------------|
| | | при 5 кодах | при 10 кодах | при 15 кодах |
| QPSK | 1/4 | 0,6 | 1,2 | 1,8 |
| | 2/4 | 1,2 | 2,4 | 3,6 |
| | 3/4 | 1,8 | 3,6 | 5,4 |
| 16QAM | 2/4 | 2,4 | 4,8 | 7,2 |
| | 3/4 | 3,6 | 7,2 | 10,7 |
| | 4/4 | 4,8 | 9,6 | 14,4 |

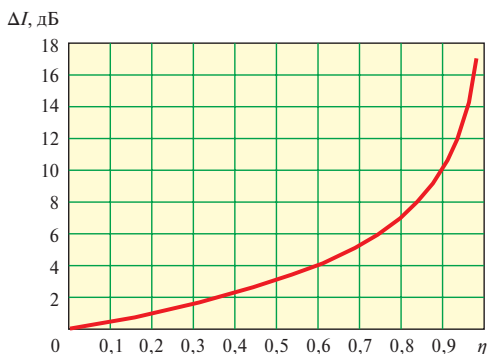


Рис. 1. Рост внутрисистемных помех в радиосети UMTS при разных коэффициентах η

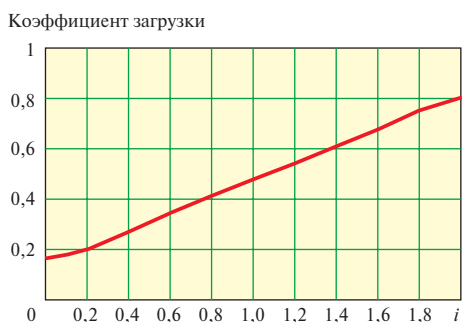


Рис. 2. Зависимость коэффициента загрузки ячейки UMTS от параметра i

сотаи, уровень которых характеризуется неким параметром *i* (будет рассмотрен ниже). Эта зависимость приведена на рис. 2 для случая передачи данных в нисходящем канале сети UMTS со скоростью 384 кбит/с [2].

Внутрисистемные помехи от смежных сот в сети UMTS. Упомянутый выше параметр *i* указывает на отношение мощностей в точке приема (рис. 3):

$$i = \frac{P_{inter}}{P_{intra}}, \quad P_{inter} = \sum_{k=1}^n P_{kinter},$$

где P_{intra} – полная мощность излучения в собственной соте; P_{kinter} – полная мощность излучения от *k*-й смежной соты.

Уровень помех от смежных сот зависит от целого ряда факторов. Главными из них являются удаление от базовой станции (приближение к границе смежных сот), количество

Таблица 2. Значения параметра *i* в зависимости от удаления от БС

| Удаление от БС, м | Среднее значение <i>i</i> | Среднеквадратическое отклонение |
|-------------------|---------------------------|---------------------------------|
| 150 | 0,31 | 1,09 |
| 300 | 0,78 | 1,87 |
| 500 | 1,31 | 2,39 |

Таблица 3. Значения параметра *i* в зависимости от типа и наклона антенн

| Антенна БС | | Значение <i>i</i> |
|--------------------|--------|-------------------|
| ДН на уровне -3 дБ | Наклон | |
| Оmnі | 0° | 0,79 |
| 3-секторная, 120° | 0° | 1,33 |
| 90° | 0° | 1,19 |
| 65° | 0° | 0,88 |
| | 7° | 0,59 |

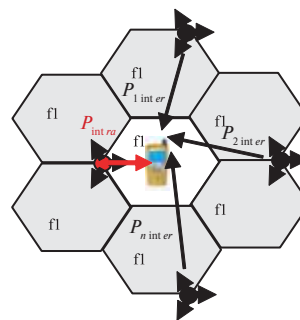


Рис. 3. Соотношение мощностей в точке приема

секторов в сотах и наклон антенн БС. Значения параметра *i* для перечисленных условий приведены в табл. 2 и 3.

Снижение влияния смежных сот на показатели сети UMTS. Теоретической основой для снижения уровня помех от смежных сот являются зависимости (1) и (2). Опираясь на них, можно получить два базовых соотношения, которые будут показывать степень уменьшения коэффициента загрузки сети η и требуемой мощности передачи БС при снижении уровня помех от смежных сот, т.е. при уменьшении параметра *i*. Оба показателя являются доминирующими, поскольку снижение требуемой мощности передачи базовой станции уменьшает уровень внутрисистемных помех в собственной соте, а уменьшение коэффициента загрузки сети приводит к снижению общего уровня внутрисистемных помех, создавая благоприятные энергетические условия для увеличения скорости передачи данных в сети UMTS.

Приведем выражение, описывающее изменение требуемой мощности базовой станции сети UMTS при уменьшении коэффициента загрузки η за счет снижения уровня помех от смежных сот (параметр *i*) [2]:

$$\Delta P = \frac{P_{\Sigma}(\eta_2)}{P_{\Sigma}(\eta_1)} = \frac{1-\eta_1}{1-\eta_2} = \frac{\frac{1}{\eta_1}-1}{\frac{1}{\eta_2}-1}, \quad (4)$$

где η = 0,8 – исходное (максимальное) значение коэффициента загрузки, которое желательно снизить; η₂/η₁ – отношение, показывающее, во сколько раз изменяется значение η₂ относительно η₁ при уменьшении параметра *i*.

С учетом (4) и зависимости на рис. 2 мощность базовой станции, необходимую для поддержания одной и той же пропускной способности в соте, можно уменьшить примерно настолько, насколько снизится уровень внутрисистемных помех, как показано на рис. 4 для загрузки сектора сети UMTS, соответствующей 80% (η₁ = 0,8).

Из графика на рис. 4 видно, что за счет снижения уровня влияния соседних сот можно компенсировать наложенные

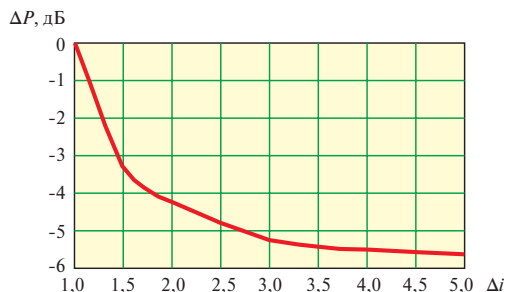


Рис. 4. Уменьшение требуемой мощности БС при снижении помех от смежных сот

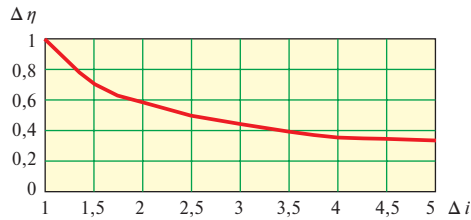


Рис. 5. Уменьшение коэффициента загрузки сети при снижении влияния соседних сот

ограничения по мощности излучения базовой станции до 5 дБ, причем эффективным является снижение уровня помех от соседних сот до 2,5–3 раз.

На рис. 5 приведена зависимость, показывающая уменьшение коэффициента загрузки сети $\Delta \eta = \eta_2 / \eta_1$ при снижении уровня влияния соседних сот ($\Delta i = i_1 / i_2$), полученная в соответствии с рис. 2 и выражением (1) при $i_1 = 2,0$.

Основываясь на приведенных теоретических результатах и учитывая особенности радиоинтерфейса UMTS [2, 3], можно предложить несколько способов снижения уровня помех от соседних сот:

- выбор рациональной конфигурации секторов в сети UMTS;
- применение специальных адаптивных антенн;
- специальное нетрадиционное частотное планирование.

На рис. 6 и 7 представлены результаты расчетов, позволяющие оценить изменение помехового влияния соседних сот (параметр i) при изменении количества секторов в соте, изменении их размера и наклона антенн [2].

Приведенные зависимости показывают, что для снижения влияния соседних сот целесообразно использовать следующие размеры секторов: 65° для 3-секторной соты и 33° для 4- и 6-секторных сот. При этом предпочтительными являются углы наклона антенн в пределах от 7 до 14°.

Нетрадиционный метод мультичастотного (Dual Carrier/Dual Band) планирования. Основная идея такого планирования, подробно рассмотренная в [1], поясняется ниже.

Метод планирования базируется на стандартизованных решениях по агрегированию несущих частот в UMTS/HSPA+. Эти решения дают возможность одновременного использования нескольких несущих частот из одной или разных полос (DC/DB). Для агрегирования DC/DB в Районе 1 МСЭ определены два частотных диапазона: 900 МГц и 2,1 ГГц. Стоит заметить, что при традиционном частотном планировании в сети UMTS в каждом секторе назначаются одинаковые несущие частоты (частотные каналы).

Суть нового подхода иллюстрируется на рис. 8, где в каждом секторе в режиме DC используются две несущие частоты (к примеру, f_1 и f_4). Причем на первичных (основных) частотах f_1, f_2 и f_3 обеспечивается полное покрытие соты, при котором из-за различия частот взаимодействие смежных сот на границах отсутствует, т.е. устраняется их помеховое влияние в сети. Вторичная частота f_4 при этом является общей во всех секторах, что позволяет реализовать мягкий хендовер и макроразнесение, но не способствует появлению помех от смежных сот, поскольку для f_4 обеспечивается покрытие лишь в ближней и средней зонах соты, не достигая приграничной области. Последнее условие может выполняться за счет уменьшенной мощности передатчика БС, наклона антенн и др. Возможность применения нескольких несущих частот в каждом секторе сети UMTS/HSPA+ дает возможность комбинировать их так,

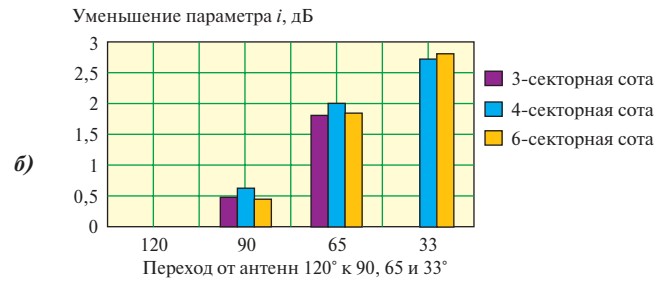
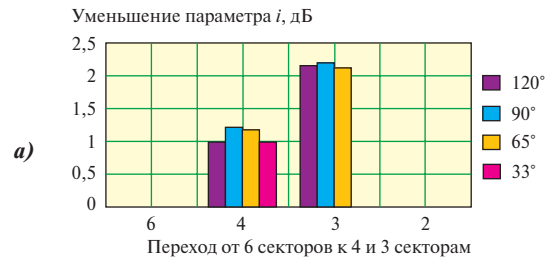


Рис. 6. Изменение помехового влияния соседних сот при изменении количества секторов (а) и размера (ширины) секторов (б) в соте

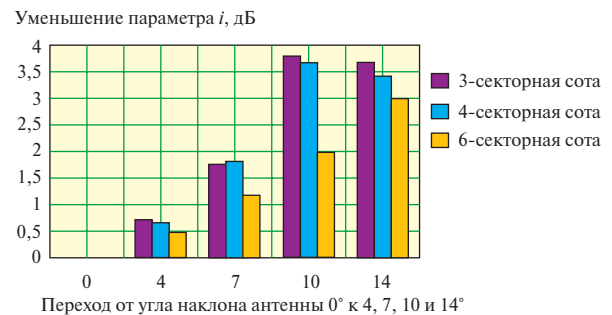


Рис. 7. Изменение помехового влияния соседних сот при изменении наклона антенн

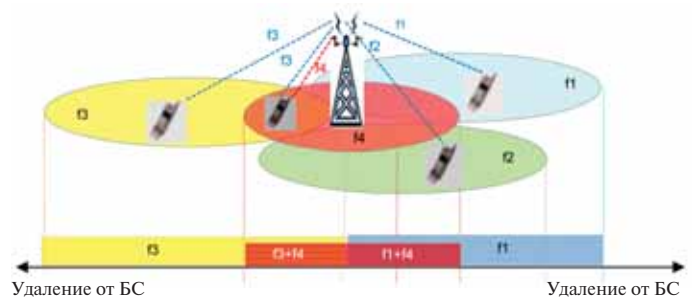


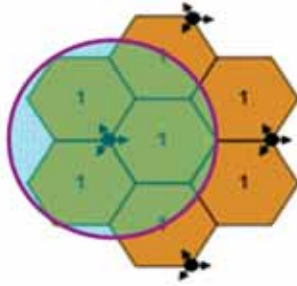
Рис. 8. Предлагаемый метод мультичастотного планирования

чтобы для минимизации взаимных помех излучение на границе смежных сот осуществлялось на разных несущих частотах (рис. 9).

Как показано на рис. 9, при традиционном планировании энергетические потери в радиолинии на краю соты могут составлять от 2 дБ (передача речи) до 5 дБ (высокоскоростная передача данных) из-за высокого уровня внутрисистемных помех. Рост потерь при передаче данных объясняется отсутствием энергетического выигрыша от мягкого хендовера и макроразнесений при HSPA+ (режим HSDPA).

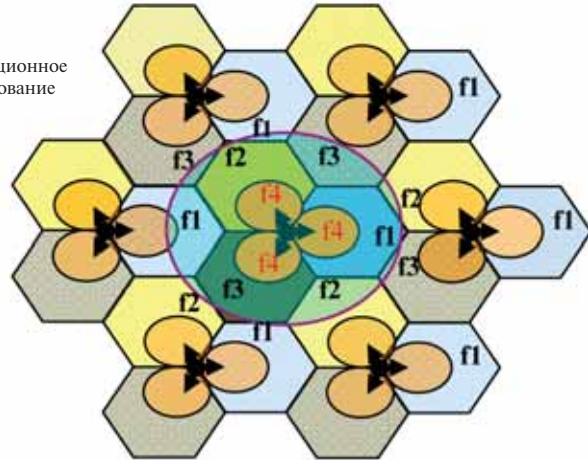
В случае нетрадиционного частотного планирования из-за отсутствия помех от смежных сот потери на краю рассматриваемой соты также отсутствуют, а в ближней зоне (f_4)

Традиционное планирование



Повтор частоты = 1

Нетрадиционное планирование



Повтор частоты = 3+1

| Показатели | Параметр | Формат R'99 (речь) | | HSPA |
|------------------------------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|
| | | в средней зоне | на краю соты | |
| Мягкий хендовер (макросреднесение) | Выигрыш | До 3 дБ | До 3 дБ | Нет |
| Помехи от соседних сот | Средние потери | До 3 дБ | До 5 дБ | |
| Общий показатель | Выигрыш | Нет | Потери до 2 дБ | Потери до 5 дБ |

| Показатели | Параметр | Формат R'99 (речь) | | HSPA |
|------------------------|----------------|--------------------|--------------|------|
| | | в зоне f4 | на краю соты | |
| Макросреднесение | Выигрыш | До 3 дБ | Нет | Нет |
| Помехи от соседних сот | Средние потери | <1 дБ | Нет | |
| Общий показатель | Выигрыш | >2 дБ | 0 дБ | |

Рис. 9. Сравнение методов частотного планирования в радиосети UMTS

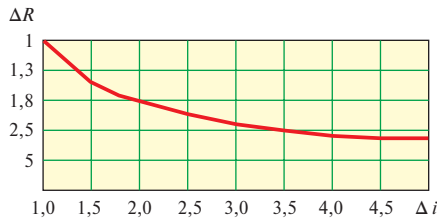


Рис. 10. Увеличение скорости передачи данных при снижении влияния соседних сот

вместо потерь наблюдается энергетический выигрыш свыше 2 дБ за счет макросреднесений.

Основываясь на результатах, приведенных выше (зависимость на рис. 5 и данные таблиц на рис. 9), можно оценить степень увеличения скорости передачи данных при снижении уровня помех от смежных сот. Результат такой оценки представлен в виде зависимости на рис. 10.

Используя данные рис. 10, можно определить, что уменьшение параметра i ($\Delta i = i_1/i_2$) в 4–5 раз приводит к увеличению скорости передачи данных ($\Delta R = R_2/R_1$) примерно в три раза. Этот результат схож с традиционным случаем, когда имеет место разница скоростей передачи данных на краю соты и вблизи БС. Это позволяет сделать важный вывод о том, что за счет минимизации помех от смежных сот при не-

традиционном мультичастотном планировании скорость передачи данных можно повысить примерно в три раза.

Заключение. Сравнительные показатели двух методов частотного планирования в виде экономической эффективности и суммарной скорости передачи данных в секторе приведены в [1]. Из них следует, что, хотя при традиционном планировании в каждом секторе доступны четыре несущие частоты (4 DC/DB-HSPA+), а при предлагаемом методе планирования используются лишь две частоты (2 DC/DB-HSPA+), поскольку в имеющемся сегодня частотном ресурсе их больше просто нет, суммарная скорость передачи данных во втором случае выше. Тем самым акцентируется эффект минимизации внутрисистемных помех от смежных сот, и это же одновременно дает ясное представление о том, насколько нежелательны такие помехи и насколько важно принимать меры для их снижения в сетях UMTS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скрынников В.Г. Нетрадиционное частотное планирование в сетях UMTS/HSPA+ //Радиочастотный спектр. – 2012. – № 6.
2. Скрынников В.Г. Радиоподсистемы UMTS/LTE. Теория и практика. – М.: Спорт и культура-2000, 2012.
3. Скрынников В.Г. Предварительная оценка параметров сети UMTS/HSDPA //Электросвязь. – 2008. – № 3.

Получено 29.03.13