

**ОЦЕНКА СНИЖЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ
В УСЛОВИЯХ ЭСТАФЕТНОЙ ПЕРЕДАЧИ**

**ОЦІНКА ЗНИЖЕННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ
ЗА УМОВ ЕСТАФЕТНОЇ ПЕРЕДАЧІ**

**ESTIMATION OF REDUCING CAPASITY OF BASE STATION
IN THE CONDITIONS OF HENDOVER**

Аннотация. В статье проводится оценка снижения пропускной способности базовых станций при организации эстафетной передачи (handover) для различных систем сотовой связи. Рассматривается модель переходной (приграничной) зоны сотовой сети для двух вариантов: секторизированных и несекторизированных сот и обсуждаются полученные результаты.

Анотація. У статті провадиться оцінка зниження пропускної здатності базових станцій за організації естафетної передачі (handover) задля різноманітних систем стільникового зв'язку. Розглядається модель перехідної (приграничної) зони стільникової мережі для двох варіантів: секторизованих і несекторизованих стільників та обговорюються здобуті результати.

Summary. In the article is conducted the estimation of reducing capacity of base station during organization of handover for different cellular communication networks. The model of transitional border – line are of cellular network is considered for two variants: sectoring and no sectoring cells and obtained results are discussed.

В сотовых системах связи эстафетная передача (handover) возможна при условии наличия свободных каналов в смежных ячейках (сотах) сети, т. е. при неполной загрузке базовых станций (БС). Это условие обязательно для любых стандартов: МДЧР (FDMA), МДВР (TDMA), МДКР (CDMA).

Таким образом, обеспечение эстафетной передачи (ЭП) приводит к появлению проблемы снижения пропускной способности БС. Следует отметить, что процесс (алгоритм) ЭП в системах с МДЧР и МДВР отличается от алгоритма в системах с МДКР. В этих системах инициатором ЭП является центр коммутации сотовой сети (ЦКСС), который оценивает отношение сигнал/шум (ОСШ) по сигналу от мобильных станций (МС). Размерность кластера в системах с МДЧР и МДВР $k > 1$ (обычно $k = 3 \dots 7$), поэтому

во-первых, для ЭП необходимо резервировать частотные или частотно-временные каналы на смежных БС;

во-вторых, ЭП осуществляется преимущественно однократно (нет нескольких переходов – переключений между БС «туда – обратно»).

При этом ЭП производится в режиме: вначале разрыв связи со «старой» БС, а затем установление связи с «новой» БС, условно – «жесткая» ЭП (Hard handover – ННО).

В системах с МДКР ситуация иная.

Размерность кластера составляет зачастую $k = 1$, т. е. частотные каналы в смежныхсотах совпадают. В результате можно обеспечить «мягкую» ЭП (Soft Handover – SHO) без изменения частотного канала, т. е. осуществляется режим: вначале установление связи с «новой» БС, а затем разрыв связи со «старой» БС. Такой процесс состоит в следующем [1]:

МС постоянно принимает пилот-сигнал (ПС) от нескольких БС, работающих на одной несущей частоте. Находясь на границе соты (в переходной зоне), МС выбирает для связи БС с наибольшей мощностью ПС ($P_{ПС}$) на входе РПр, т. е. инициатором ЭП является МС.

Ввиду случайного характера изменения $P_{ПС}$ в переходной зоне может происходить многократное переключение (переход) МС между двумя или тремя БС, пока уровень ПС от одной из БС не окажется стабильно наибольшим.

Таким образом, для обеспечения «мягкой» эстафетной передачи необходимо резервировать кодовые каналы на каждой из БС. Причем эти каналы должны быть теми же, что предоставленные МС для связи в смежныхсотах. Этот процесс должен оперативно управляться ЦКСС.

В системах с МДКР вероятность многократного перехода МС между БС при ЭП велика. Поэтому до завершения стабильного установления связи с одной из «новых» БС каналы на смежных

БС не могут быть использованы для связи с другими МС, т.е. время, в течение которого используются несколько (два или более) каналов до завершения ЭП оказывается значительным. Этот факт приводит к увеличению (в среднем) количества резервных каналов, что снижает пропускную способность БС.

В этом направлении работали такие учёные, как Н.И. Смирнов, Ю.А. Караваев, В.А. Сивов, которые проводили оценку пропускной способности базовых станций систем МДКР при изменении плотности их расположения [2].

Однако в литературе не обнаружено изучения вопроса оценки пропускной способности базовых станций в условиях эстафетной передачи (handover) для различных систем сотовой связи.

Поэтому целью данной статьи является проведение оценки снижения пропускной способности и получения рекомендаций по обоснованию выбора количества реального использования каналов на БС. Эти данные могут быть использованы при проектировании сотовых сетей мобильной связи.

Для получения оценки пропускной способности рассмотрены два варианта: секторизированные и несекторизированные соты.

1. Несекторизированные соты. (Круговая диаграмма направленности антенн БС).

Размерность частотного кластера $Kf=1$, т. е. частотные каналы в смежных сотах совпадают.

Анализ снижения пропускной способности ЭП проводился на модели переходной (приграничной) зоны сотовой сети, представленный рис. 1, на котором: $R_0 = R_i$ – радиусы нулевой и смежных сот; МС – мобильная станция; БС – базовая станция; ΔR – размер переходной зоны в радиальном направлении; ΔS_i – площадь переходной зоны в одной соте; S_0, S_i – площадь нулевой и i -й сот.

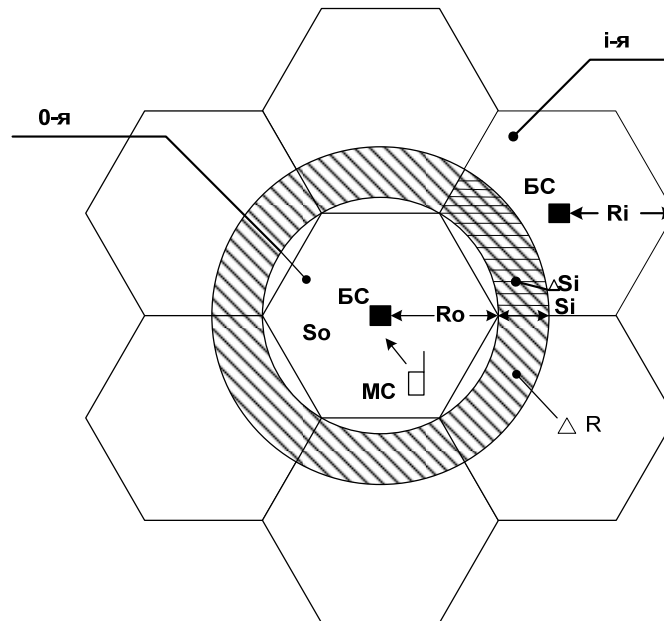


Рисунок 1 – Приграничная зона смежных ячеек

Обозначим P_2 – вероятность использования двух «новых» БС (т. е. более одного канала) в процессе ЭП, тогда дополнительное количество резервных каналов Δn_{PE3} может быть представлено как

$$\Delta n_{PE3} = n_{PE3} P_2, \quad (1)$$

считая, что n_{PE3} – требуемое количество резервных каналов при однократной ЭП (использование одного канала).

Наиболее вероятно, что эстафетная передача может потребоваться МС, находящимся на периферии сот с радиальными размерами ΔR (площадью S_i) – приграничная зона.

Если принять условие, что плотность активных МС во всех сотах одинакова и равна N_S – плотности на единицу площади в 1 м^2 , а радиусы сот равны $R_0 = R_i = R$, то можно записать, что

количество МС, которым потребуется эстафетная передача (Δn_i) из смежных сот в нулевую соту составляет

$$\Delta n_i = N_s S_i = N_s \left(\pi (R + \Delta R)^2 - \pi R^2 \right) = N_s \pi \left((R + \Delta R)^2 - R^2 \right). \quad (2)$$

Следовательно, количество резервных каналов n_{PE3} в нулевой соте должно быть таким же, т. е. $n_{PE3} = \Delta n_i$.

Максимальное число кодовых каналов n_0 , которое может предоставить БС для использования мобильными станциями соты, составляет

$$n_0 = N_s S_0 = N_s \pi R^2. \quad (3)$$

С учетом (1) полное количество резервных каналов будет составлять

$$\begin{aligned} n_{PE3.P} &= n_{PE3} + \Delta n_{PE3} = N_s \pi \left((R + \Delta R)^2 - R^2 \right) + N_s \pi \left((R + \Delta R)^2 - R^2 \right) P_2 = \\ &= N_s \pi \left((R + \Delta R)^2 - R^2 \right) (1 + P_2). \end{aligned} \quad (4)$$

Тогда относительное количество резервных каналов составит

$$\frac{n_{PE3.P}}{n_0} = \frac{(R + \Delta R)^2 - R^2 (1 + P_2)}{R^2} = ((1 + \delta R)^2 - 1)(1 + P_2); \quad (5)$$

где $\delta R = \frac{\Delta R}{R}$ – относительный размер переходной (приграничной) зоны в смежных сотах.

Следовательно, относительная пропускная способность БС при организации ЭП составит [2]

$$C_{ЭП} = \frac{n}{n_0},$$

где $n = n_0 - n_{PE3.P}$ – допустимое количество используемых каналов в нулевой соте.

$$C_{ЭП} = \frac{n_0 - n_{PE3.P}}{n_0} = 1 - \frac{n_{PE3.P}}{n_0},$$

т. е. $C_{ЭП} = (1 - ((1 + \delta R)^2 - 1))(1 + P_2) = (2 - (1 + \delta R)^2)(1 + P_2). \quad (6)$

2. Секторизированные соты (3 сектора по 120°). На рис. 2 представлен пример построения секторной сотовой структуры.

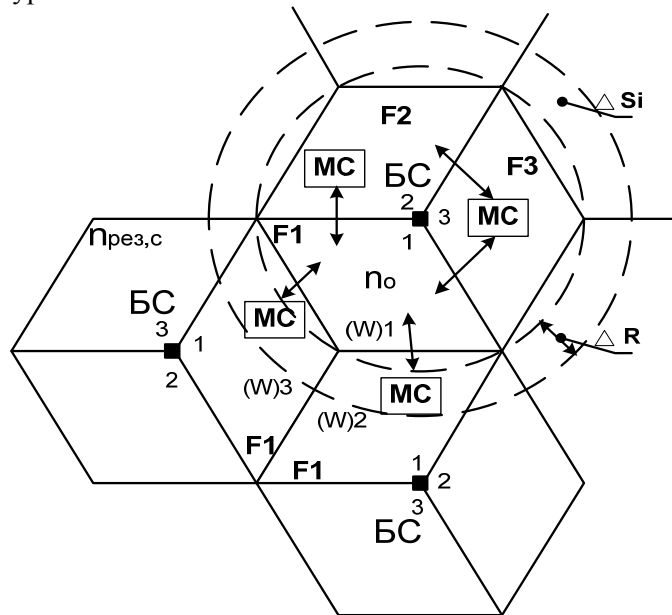


Рисунок 2 – Сотовая структура МДКР с секторизацией сот

На рисунке обозначены: 1, 2, 3 – секторы ячеек по 120° ; F1, F2, F3 – наборы радиоканалов; (W)1, (W)2, (W)3 – набор кодовых каналов (функций Уолша); МС – мобильная станция; БС – базовая станция; ΔR – размер переходной зоны в радиальном направлении; ΔS_i – площадь переходной зоны в одной соте.

При такой структуре сети мягкая ЭП (SHO) возможна при перемещении МС в секторах с номером 1, трех смежных сот. При перемещении МС между секторами одной соты возможна только жесткая ЭП (ННО). Следовательно в секторах с номером 1 создается ситуация, аналогичная ситуации в несекторизированных сотах (рассмотрено ранее), т. е. пропускная способность по кодовым каналам снижается. Это эквивалентно появлению секторного "кодowego кластера" с размерностью $K_K = 3$. В таком варианте сети каждый сектор граничит только с двумя смежными секторами с совпадающими частотами, а не с шестью сотами как в варианте несекторизированных сот. Поэтому количество МС, которым может потребоваться ЭП, а значит и количество резервных кодовых каналов $n_{PE3,C}$, будет в три раза меньше относительно (5), т. е. выражение для оценки количества резервных МС ($\Delta n_{PE3,C}$) и соответственно пропускная способность по каждому сектору составят:

$$\frac{n_{PE3,C}}{n_0} = \frac{1}{3}((1 + \delta R)^2 - 1)(1 + P_2); \quad (7)$$

$$C_{ЭП,C} = 1 - \frac{n_{PE3,C}}{n_0} = 1 - 0,33((1 + \delta R)^2 - 1) = 1,33 - 0,33(1 + \delta R)^2. \quad (8)$$

При организации SHO снижение пропускной способности в сотовой сети можно оценить следующим образом:

$$n_{0,e} = \prod_{i=0}^{N_{BC}} n_{0,i} - \text{общее количество каналов в сети из } N_{BC}, \text{ где } N_{BC} - \text{количество БС в сети.}$$

С учетом (4):

$$n_{PE3,e} = \prod_{i=0}^{N_{BC}} (n_{PE3,i} + P_2 n_{PE3,i}) = \prod_{i=0}^{N_{BC}} n_{PE3,i} (1 + P_2) - \text{общее количество резервных каналов в}$$

сети, P_2 – вероятность использования двух «новых» БС.

Учитывая (6), общая пропускная способность сети $C_{ЭП,C}$ будет

$$C_{ЭП,C} = 1 - \frac{n_{PE3,e}}{n_{0,e}} = 1 - \frac{\prod_{i=0}^{N_{BC}} n_{PE3,i} (1 + P_2)}{\prod_{i=0}^{N_{BC}} n_{0,i}}. \quad (9)$$

Если считать, что $n_{PE3,i} = n_{PE3} = const$ и $n_{0,i} = n_0 = const$ для всех БС, можно записать:

$$C_{ЭП,e} = 1 - \frac{N_{BC} n_{PE3} (1 + P_2)}{N_{BC} n_0} = 1 - \frac{n_{PE3} (1 + P_2)}{n_0}. \quad (10)$$

Используя (5), получим

$$C_{ЭП,e} = 1 - ((1 + \delta R)^2 - 1)(1 + P_2) - \text{для несекторизированных (круговых) сот;} \quad (11)$$

$$C_{ЭП,e} = 1 - 0,33((1 + \delta R)^2 - 1)(1 + P_2) - \text{для секторизированных сот.}$$

По выражениям (6) и (11) построены графики зависимости $C_{ЭП}$ от δR для различных P_2 (рис. 3).

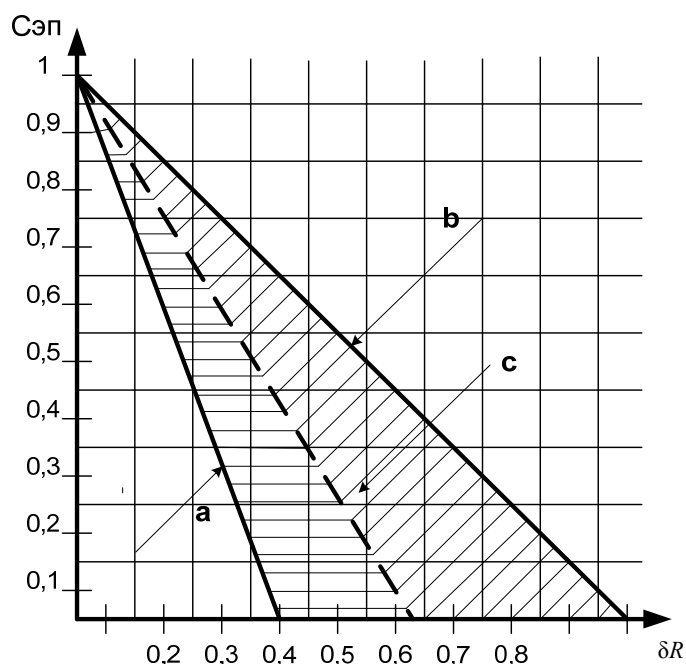


Рисунок 3 – Залежність пропускної спроможності БС від відносної величини (δR) пригранничної зони естафетної передачі МС:

- a – для кругових сот $P_2 = 0$; b – для секторизованих сот $P_2 = 0$;
 c – для секторизованих сот (використовується 3 БС) $P_2 = 1$

Із отриманих результатів аналізу можна зробити наступні висновки:

1. Співпадіння пропускної спроможності при організації естафетної передачі залежить від розміру пригранничної зони сот (зони, в якій відбувається застосування кодів каналів сусідніх сот). Так, при відносному розмірі пригранничної зони, рівному $\delta R = 0,2$, пропускна спроможність може знизитися до величини $C_{сп} = 0,7 \dots 0,85$.

2. Секторизація сот підвищує пропускну спроможність БС за використання кодів каналів.

3. Для зменшення ефекта «дыхание соты» (зміни радіуса соти R, при якому забезпечується прийнятна по якості зв'язку з МС) приграннична зона при SHO може бути ширше (δR), ніж при ННО. Отже, зменшення пропускної спроможності при SHO більше, ніж при ННО.

4. При організації SHO за рахунок можливого використання кодів каналів від трьох БС загальна пропускна спроможність мережі також зменшується.

Шляхи підвищення пропускної спроможності базових станцій при організації естафетної передачі (handover):

- при пікових навантаженнях заборонити soft handover(SHO);
- ввести режим динамічного частотного «кодового кластеру», т. є. кількість активних каналів в секторах і сотах перерозподіляти в залежності від густоти активних МС (запитів на зв'язок).

Література

1. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами: учеб. пособ. – Одесса: УГАС, 1996. – 82 с.
2. Смирнов Н.И. Оценка пропускной способности базовых станций систем с МДКР при изменении плотности их расположения / Н.И. Смирнов, Ю. А. Караваев, В. А. Сивов // Электросвязь. – 2001.– № 10. – С. 30-33.