

ОПТИМИЗАЦИЯ UTRA АЛГОРИТМА МЯГКОГО ХЭНДОВЕРА СЕТИ WCDMA

Бабин А.И.

Национальный институт радио и инфокоммуникационных технологий (НИРИТ)

Москва, Россия

Модель радиоканала

В мобильных сетях радиосвязи предсказать изменение характеристик сигнала гораздо труднее, чем в сетях фиксированной радиосвязи. Обычно радиоканал моделируется на основе статистических данных, полученных в процессе измерений. Характеризуя компоненты ослабления сигнала, можно выделить три группы: затухание на трассе; медленные замирания (также называемые рэлеевскими), имеющие логнормальное распределение; быстрые замирания, называемые райсовскими. Распределения последних двух групп зависят от наличия или отсутствия прямой видимости между приемником и передатчиком радиосигналов. Потери на трассе – это явление уменьшения принимаемой мощности сигнала с увеличением расстояния. Причиной медленных замираний являются предметы (здания, холмы, деревья, их листва и пр.), находящиеся на пути распространения радиосигнала. Быстрые замирания связаны с многолучевостью – явлением приема множества сигналов от одного источника, пришедших на приемник разными путями и с разными фазами (задержками) вследствие отражения от предметов. В результате наложения нескольких сигналов, прошедших разные пути до приемника, могут появляться провалы уровня принимаемого сигнала. Кратковременные флуктуации сигнала возможно отфильтровать и компенсировать при помощи специальных технологий, например, RAKE-приемником, разнесением приема, кодированием с перемежением. Полагая, что с быстрыми замираниями можно успешно бороться в приемнике, примем, что затухание с увеличением расстояния r от обслуживающей базовой станции (БС) моделируется возведением r в степень α ; медленные замирания моделируются логнормальной компонентой. В результате получаем, что ослабление сигнала на трассе пропорционально величине

$$L(r, \zeta) = r^{-\alpha} 10^{\zeta/10}, \quad (1)$$

где α – показатель затухания, $10^{\zeta/10}$ – величина, имеющая логнормальное распределение и моделирующая медленные замирания, а ζ – величина, имеющая нормальное распределение с нулевым средним и дисперсией σ . Дисперсия может иметь значения от 5 до 12 дБ с типичным диапазоном 8-10 дБ для макросот.

Анализ интерференции в нисходящем направлении

Емкость системы и качество предоставляемых услуг зависят от уровня помех в соте. При моделировании тепловые шумы учитывать не будем, т.е. рассмотрим только интерференционную составляющую помех. Пусть мобильная станция (МС) расположена в зоне обслуживания базовой станции (БС1). Она находится на расстоянии r_1 от БС1 и угол θ_1 отсчитывается от линии, соединяющей БС1 с БС2, по ходу движения часовой стрелки. Интерференционную составляющую в нисходящем направлении, в свою очередь, можно разделить еще на две: интерференция внутри соты (intra-cell) и интерференция между сотами (inter-cell). Интерференция внутри соты возникает из-за потери ортогональности с сигналами, излучаемыми БС для других абонентов данной соты. Ортогональность теряется вследствие эффекта многолучевого распространения, а при его отсутствии она сохраняется, т.е. интерференция внутри соты в нисходящем направлении в таком случае равна нулю. С эффектом многолучевого распространения интерференционная составляющая внутри соты фактически складывается из мощности общих сигнальных каналов и суммарной мощности каналов всех остальных абонентов в соте. Получим выражение для уровня интерференции внутри соты:

$$I_{intra-cell} = P_{T1}(1 - \alpha) r_1^{-\alpha} 10^{\zeta_1/10} \quad (2)$$

где P_{T1} – суммарная мощность, излучаемая обслуживающей БС1, α – коэффициент ортогональности (1 – идеальная ортогональность, 0 – ортогональность отсутствует). Интерференция между сотами возникает в том случае, если соседние БС используют одну частоту несущей. WCDMA является асинхронной системой, поэтому сигналы, излучаемые разными БС, не являются ортогональными, что приводит к появлению интерференции от всех БС, кроме обслуживающей. Получим выражение для уровня интерференции между сотами: где P_{Ti} – суммарная мощность, излучаемая i -й БС, r_i – расстояние между МС и i -й БС, M – количество БС, являющихся источниками интерференции между сотами.

$$I_{inter-cell} = \sum_{i=2}^M P_{Ti} r_i^{-\alpha} 10^{\zeta_i/10}, \quad (3)$$

где P_{Ti} – суммарная мощность, излучаемая i -й БС, r_i – расстояние между МС и i -й БС, M – количество БС, являющихся источниками интерференции между сотами.

Теоретически источниками интерференции между сотами являются все БС, находящиеся вокруг обслуживаемой. В моделируемой системе рассматриваются только БС, попавшие в первый и второй ряды окружения, так как принимаемая энергия от БС, находящихся далее второго ряда окружения, пренебрежимо мала. В первый и второй ряд окружения входят 18 БС.

Из выражения (2) видно, что интерференция внутри соты зависит от расстояния до обслуживаемой БС – r_1 , но не зависит от θ_1 . Интерференция между сотами зависит не только от r_1 , но и от θ_1 , т.к. расстояние от МС до БС (например, БС _{i}) – r_i является функцией r_1 и θ_1 (4).

$$r_i = \begin{cases} \sqrt{r_1^2 + (\sqrt{3}R)^2 - 2r_1\sqrt{3}R \cos[\theta_1 + (i-2)\pi/3]}, & 2 \leq i \leq 7; \\ \sqrt{r_1^2 + (2\sqrt{3}R)^2 - 2r_1 2\sqrt{3}R \cos[\theta_1 + (i-8)\pi/6]}, & i = 8, 10, \dots, 18; \\ \sqrt{r_1^2 + (3R)^2 - 2r_1 3R \cos[\theta_1 + (i-8)\pi/6]}, & i = 9, 11, \dots, 19, \end{cases} \quad (4)$$

где R – радиус соты.

Очевидно, что интерференция в нисходящем направлении тесно связана с местоположением МС. Предполагая, что загруженность системы постоянна во времени и общая излучаемая мощность всех БС одинакова и равна P_T , выражение (3) можно записать в следующем виде:

$$I_{inter-cell} = P_T \sum_{i=2}^M r_i^{-\alpha} 10^{\zeta_i/10} = P_T \cdot \chi, \quad \chi = \frac{I_{inter-cell}}{P_T}, \quad (5)$$

где величина χ показывает отношение inter-cell интерференции к общей излучаемой энергии БС. Очевидно, что χ зависит от положения МС. Для выбора траекторий движения МС при моделировании построим распределение χ в зависимости от местоположения МС внутри шестиугольной соты. По осям x , y указывается местоположение МС, по оси z – распределены значения χ . Этот график поможет определить наиболее характерные точки на границах соты, через которые должна проходить МС при исследовании. Так как абсолютные значения интерференции между сотами для дальнейшего моделирования не нужны, то примем, что $P_T = 1$ Вт и нормализуем радиус соты $R = 1$. Построение будет осуществляться при параметрах: коэффициента ортогональности $\alpha = 4$ и дисперсии $\sigma = 0$, а также $\alpha = 4$ и $\sigma = 8$. При сравнении этих двух графиков видно, что интерференция между сотами зависит не только от дистанции r_1 и угла θ_1 , и что увеличение дисперсии нормального распределения медленных замираний увеличивает относительное значение интерференции между сотами. Для исследования мягкого хэндовера наиболее интересны точки на границе соты, где интерференция между сотами достигает своего максимума. Как видно, этими точками являются вершины соты и середины сторон.

Модель системы и движения МС

Для упрощения моделирования системы возьмем идеальную структуру сети. Ею является WCDMA система из 19 макросот, размерностью кластера один и одинаковой мощностью всех БС. Такая система представлена. Соты условно изображены в виде шестиугольников. Считаем, что мощность всех БС одинакова и равна максимальной для WCDMA $P_T = 20$ Вт. Зададим также радиус соты равным $R = 3000$ м, скорость движения МС $V = 20$ м/с.

Осуществим имитационное моделирование трех траекторий движения МС: проходящую через вершину соты, проходящую через середину стороны соты, проходящую через несколько сот. Примем условие, что на всем протяжении движения есть активное соединение с какой-либо БС. Построим при помощи системы компьютерной математики (СКМ) MATLAB графики движения МС по всем трем маршрутам a - b . СКМ содержит как огромное число математических функций, так и множество специализированных пакетов расширения для решения прикладных задач, а также Simulink – среду для визуального проектирования моделей. Моделирование процедуры мягкого хэндовера производилось на основе алгоритма и процедур измерений. В качестве измеряемой

величины для проверки выполнения условий хэндовера использовалось отношение E_b/N_0 канала CPICH i -й БС на входе приемника МС без учета тепловых шумов в дБ:

$$\frac{E_b}{N_{0CPICH}}(i) = 10 \log 10 \left(\frac{SF}{v} \frac{P_{CPICH} r_i^{-\alpha} 10^{\zeta_i/10}}{P_T(1-a)r_i^{-\alpha} 10^{\zeta_i/10} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{19} P_T r_j^{-\alpha} 10^{\zeta_j/10}} \right), \quad (6)$$

где P_{CPICH} – мощность канала CPICH в Вт, SF – коэффициент расширения спектра, v – коэффициент активности. Для канала CPICH можно взять следующие исходные данные: $P_{CPICH} = 2$ Вт (при условии, что $P_T = 20$ Вт), $SF = 256$, $v=1$, так как поскольку этот канал является общим сигнальным, то он все время активен.

Приведем результаты однократного моделирования процедуры мягкого хэндовера на всех трех маршрутах при следующих исходных данных: $AS_Th = 5$ дБ, $AS_Th_Hyst = 2$ дБ, $AS_Rep_Hyst = 2$ дБ, $AS_Max_Size=3$, $\alpha = 4$, $\sigma = 6$ дБ, $a = 0,6$, $k = 3$, тип услуги – передача речи со скоростью 8 кбит/с. Рассмотрим графики изменения E_b/N_0 каналов CPICH для БС, участвующих в мягком хэндовере, в зависимости от расстояния d [м], пройденного МС по маршруту. Черными вертикальными линиями показаны события мягкого хэндовера – добавление, удаление или замена БС в активном ряду. Из приведенных графиков можно сделать нижеследующие выводы. Процедура мягкого хэндовера произошла один раз только на втором маршруте, во всех остальных случаях события хэндовера выполнялись по нескольку раз. Это говорит о том, что процесс наиболее детерминирован при прохождении МС через середину стороны соты, так как сигналы от других БС, кроме двух, участвующих в процессе хэндовера, недостаточно сильны, чтобы повлиять на выполнение условий хэндовера. Также можно видеть, что при мягком хэндовере присутствует в незначительной мере эффект пинг-понга, но он гораздо менее выражен, чем в случае жесткого хэндовера. События хэндовера можно определить по степени наполненности активного набора во время продвижения МС по маршруту. Эти зависимости также отражены на $(a-e)$. Процедура хэндовера может быть достаточно длительной, но следует учитывать, что при моделировании были заданы сравнительно большие значения параметров хэндовера поэтому процедура стала более инерционной. Также можно увидеть, что хэндовер никогда не становится сразу трехсторонним, это хорошо видно на графиках. Вначале МС переходит в двусторонний хэндовер, а только затем – в трехсторонний.

Взяв за основу вышеописанную модель системы и траектории движения МС, произведем моделирование необходимой мощности выделенного канала данных вниз. Без мягкого хэндовера в каждый момент времени МС соединена только с одной i -й БС. Поэтому при приеме на МС величина E_b/N_0 определяется выражением:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{W}{\nu R} \frac{P_s r_i^{-\alpha} 10^{\zeta_i/10}}{P_T(1-a)r_i^{-\alpha} 10^{\zeta_i/10} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{19} P_T r_j^{-\alpha} 10^{\zeta_j/10}}, \quad (7)$$

где W – чиповая скорость, R – скорость передачи информационных бит, ν – коэффициент (доля времени) активности для данного типа услуги. Таким образом, для поддержания требуемого качества обслуживания необходима мощность P_s [Вт] исходящего канала в соответствии с формулой:

$$P_s = \frac{\nu R}{W} \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_t \left[P_T(1-a) + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{19} P_T \left(\frac{r_j}{r_i} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_j - \zeta_i)/10} \right], \quad (8)$$

где $(E_b/N_0)_t$ – опорное значение (E_b/N_0) , устанавливаемое контроллером радиосети (КР) в соответствии со значениями BER (Bit Error Rate – количество ошибочно принятых бит к общему числу переданных). Типовые значения $(E_b/N_0)_t$ составляют: 5 дБ для речи, 1,5 дБ для услуг реального времени со скоростью 144 кбит/с, 1 дБ для услуг передачи данных со скоростью 384 кбит/с.

Рассмотрим отдельно случай хэндовера в двух и трех направлениях. Предположим, что БС1 и БС2 являются обслуживающими, тогда на МС полезный сигнал от этих двух станций складывается. При этом могут использоваться различные схемы сложения сигналов, однако, проанализировав результаты предыдущих работ, широко описанных в литературе, применим схему оптимального сложения сигналов. На приеме МС в этом случае величина E_b/N_0 вычисляется,

$$\frac{E_b}{N_0} = \left[\frac{E_b}{N_0} \right]_1 + \left[\frac{E_b}{N_0} \right]_2,$$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{W}{\nu R} \left[\frac{P_{s1} r_1^{-\alpha} 10^{\zeta_1/10}}{P_{T1}(1-a)r_1^{-\alpha} 10^{\zeta_1/10} + \sum_{i=2}^{19} P_{Ti} r_i^{-\alpha} 10^{\zeta_j/10}} + \frac{P_{s2} r_2^{-\alpha} 10^{\zeta_2/10}}{P_{T2}(1-a)r_2^{-\alpha} 10^{\zeta_2/10} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 2}}^{19} P_{Tj} r_j^{-\alpha} 10^{\zeta_j/10}} \right],$$

как:

(9)

где r_1 и r_2 – расстояние от БС1 и БС2 соответственно, P_{s1} и P_{s2} – излучаемые БС1 и БС2 мощности. В процессе мягкого хэндовера активизируются две петли контроля мощности для управления мощностью в процессе передачи – внешняя и внутренняя замкнутая петля. При хэндоверах МС всегда выполняет команды той БС, которая требует снижать мощность ее передатчика. Что касается БС, то КР устанавливает границы возможных изменений мощности отдельных каналов передачи.

Система управления мощностью применяется для уменьшения излучаемой мощности и стабилизации системы в целом. В идеальном случае при двунаправленном хэндовере $P_{s1} = P_{s2}$. Используя это, вычислим передаваемую мощность для каждого

$$P_{S1} = P_{S2} =$$

$$= \frac{\frac{\nu R}{W} \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_t P_T}{1-a + \sum_{i=2}^{19} \left(\frac{r_i}{r_1} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_i - \zeta_j)/10} + \frac{1}{1-a + \sum_{\substack{j=1 \\ (j \neq 2)}}^{19} \left(\frac{r_j}{r_2} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_j - \zeta_2)/10}}.$$

нисходящего канала:

(10)

Таким образом, общая мощность в дБ, необходимая для поддержки этой МС, рассчитывается по следующей формуле:

$$P_{S1} + P_{S2} =$$

$$= 10 \log_{10} \left(\frac{2 \frac{\nu R}{W} \left(\frac{E_b}{N_0} \right)_t P_T}{1-a + \sum_{i=2}^{19} \left(\frac{r_i}{r_1} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_i - \zeta_1)/10} + \sum_{\substack{j=1 \\ (j \neq 2)}}^{19} \left(\frac{r_j}{r_2} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_j - \zeta_2)/10}} \right).$$

(11)