

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПОДСИСТЕМЫ РАДИОДОСТУПА СЕТИ 3G/UMTS/WCDMA НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ МОНОТОННЫХ СИСТЕМ

Бабин А.И.

Национальный институт радио и инфокоммуникационных технологий (НИРИТ)

Москва, Россия

Среди возможных путей совершенствования традиционного подхода к проектированию сетей UMTS/WCDMA отмечена возможность более детального учета территориальной плотности прогнозируемой нагрузки с целью построения оптимальной подсистемы радиодоступа и минимизации ее структурной избыточности при обеспечении заданного качества.

Для реализации указанной возможности развития традиционного подхода к проектированию подсистемы радиодоступа сети WCDMA необходимо:

- выбрать и обосновать критерий оптимальности подсистемы радиодоступа сети WCDMA;
- описать структуру подсистемы радиодоступа сети WCDMA, соответствующую выбранному критерию оптимальности;
- построить конструктивный алгоритм синтеза подсистемы радиодоступа сети WCDMA, соответствующей выбранному критерию оптимальности.

Выбор и обоснование критерия оптимальности

Пусть заданы территория радиопокрытия, частотный ресурс, характеристики оборудования и известна модель нагрузки. Требуется спроектировать сеть сотовой подвижной радиосвязи UMTS на основе технологии WCDMA с оптимальной подсистемой радиодоступа.

Оптимальной подсистемой радиодоступа сети WCDMA будем считать множество минимальной мощности базовых станций (БС) с заданными характеристиками при условии сплошного радиопокрытия территории с предоставлением услуг базового класса в прямом и обратном каналах трафика с требуемым качеством.

Услугами базового класса будем называть услуги, для которых требуется сплошное радиопокрытие (определяются отдельно для прямого и обратного каналов трафика).

Математически критерий оптимальности подсистемы радиодоступа можно выразить следующим функционалом:

$$\Phi = \min_{BC \in W} \left( N_{BC}(\langle x, y \rangle, h_{BC}, \vec{K}_{BC}) \mid \vec{K}_{AC}, F, S, \Theta, Q \right) \quad (1)$$

где:

W – исходное множество БС, расположенных во всех потенциально возможных местах установки;

$N_{BC}$  – число базовых станций в подсистеме радиодоступа сети WCDMA;

$\langle x, y \rangle$  – координаты БС;

$h_{BC}$  – высота подвеса антенны БС;

$\vec{K}_{BC}$  – вектор характеристик типовой базовой станции;

$\vec{K}_{AC}$  – вектор характеристик типовой абонентской станции;

$F = F_{\text{зад}}$  – заданный частот ресурс на уровне макросот, МГц;

$S = S_{\text{зад}}$  – заданная территория радиопокрытия сети, км<sup>2</sup>;

$\Theta = \Theta_{\text{зад}}$  – модель прогнозного трафика в сети;

$Q = Q_{\text{зад}}$  – заданное качество услуг.

Подсистему радиодоступа сети WCDMA, удовлетворяющую введенному критерию, будем считать оптимальной, так как при обеспечении на всей территории радиопокрытия услуг заданного класса с требуемым качеством она будет иметь минимальную структурную избыточность по сравнению с любыми другими подсистемами радиодоступа.

#### Структура оптимальной подсистемы радиодоступа сети WCDMA

При заданных характеристиках БС их минимальное число в подсистеме радиодоступа будет обеспечиваться при условии преимущественного расположения БС в центрах областей высокой нагрузки (в «пиках» нагрузки). Действительно, для обслуживания всей нагрузки в сети в ЧНН требуется определенная суммарная мощность, обеспечиваемая всеми БС сети. Если базовые станции будут располагаться преимущественно в «пиках» нагрузки, то мощность каждой из них будет в максимальной степени использоваться для ее обслуживания, так как в этом случае расстояния между абонентскими станциями (АС) и обслуживающими их базовыми станциями будут в среднем меньше, чем в случае любого другого расположения БС. Очевидно, что при этом общее число БС, обеспечивающих требуемую суммарную мощность для обслуживания всей нагрузки в сети, будет минимально.

Из нескольких подмножеств БС, расположенных преимущественно в «пиках» прогнозной плотности нагрузки и обеспечивающих сплошное радиопокрытие территории с предоставлением базовых типов услуг в прямом и обратном каналах определению оптимальной подсистемы радиодоступа соответствует то, которое имеет минимальную мощность.

Кроме того, в оптимальной подсистеме радиодоступа территория обслуживания каждой отдельно стоящей БС (при отсутствии соседних БС) будет максимально приближена к аналогичной территории обслуживания в окружении соседних БС. Данное свойство следует из того, что БС, находящиеся в «пиках» нагрузки, расходуют всю или большую часть своей пропускной способности и мощности на обслуживание большого количества окружающих их абонентских терминалов, на входе которых эти БС обеспечивают больший по сравнению с другими БС уровень пилот-сигнала. Это обуславливает близость территории обслуживания каждой отдельно стоящей БС к территории ее обслуживания в окружении соседних БС.

Из условия минимально возможного числа БС, входящих в оптимальную подсистему радиодоступа, следует еще одна важная особенность: совокупность образующих оптимальную подсистему радиодоступа базовых станций не является избыточной, т.е. удаление из нее любого элемента приводит к невозможности предоставления базовой услуги в какой-либо точке радиопокрытия в прямом или обратном каналах трафика.

#### Подготовка исходных данных

Для подготовки требуемых исходных данных и непосредственно реализации алгоритма синтеза оптимальной подсистемы радиодоступа необходима геоинформационная система (ГИС) с программной надстройкой, позволяющей на цифровой карте местности задавать территориальную плотность нагрузки в сети и оценивать для заданных характеристик БС и АС и требований к радиоканалу зоны радиопокрытия для услуг разных классов, отдельно для прямого и обратного каналов трафика. Примером такой программной надстройки может служить программная оболочка «Радиозона», разработанная на базе ГИС «Панорама» в Центре анализа электромагнитной совместимости НИИ Радио Мининформсвязи России.

Подготовка требуемых исходных данных заключается в проведении следующих операций:

1) Приведение модели прогнозной территориальной плотности нагрузки в сети к виду, соответствующему выбранной ГИС.

Модель прогнозного трафика в САПР «Радиозона» на базе ГИС «Панорама» задается в виде прямоугольной матрицы прогнозной нагрузки  $\Theta_{\text{мкн}}$ , ячейками которой являются элементарные дискреты территории, с каждым из которых ассоциирована совокупность пар чисел

$$(a_k, b_k)_{i \times j}, k=1 \dots N, i=1 \dots m, j=1 \dots n$$

где:

$k$  – класс услуги, предоставляемой в сети;

$N$  – число классов услуг, предоставляемых в сети, скорость передачи данных у которых меньше или равна скорости передачи данных услуг базового класса;

$(\alpha_k)_{i \times j}$  – число активных абонентов, находящихся в ячейке  $\theta_{i \times j}$  и использующих услугу класса  $k$  в прямом канале трафика (линия БС-АС);

$(\beta_k)_{i \times j}$  – число активных абонентов, находящихся в ячейке  $\theta_{i \times j}$  и использующих услугу класса  $k$  в обратном канале трафика (линия АС-БС).

В модели территориальной плотности нагрузки учитываются только те абоненты, которые используют услуги со скоростями передачи меньше или равными скорости передачи услуг базового класса соответственно по прямому и обратному каналам. Это гарантирует при дальнейшем проектировании обеспечение сплошного радиопокрытия на уровне макросот для указанных классов услуг. Считается, что предоставление более высокоскоростных услуг будет осуществляться на уровне микро- и пикосот.

2) Анализ заданной территории радиопокрытия и определение всех потенциально возможных мест строительства площадок для установки базовых станций.

В результате должно быть сформировано множество пар  $\{<x,y>, h_{\text{БС}}\}$ , где:  $<x,y>$  – координаты потенциальных мест установки БС на цифровой карте;  $h_{\text{БС}}$  – высоты подвеса антенн в потенциальных местах установки БС на цифровой карте.

3) На основе заданных типовой конфигурации БС, характеристик АС и модели нагрузки в сети определение специфичных для каждого потенциального места установки базовой станции характеристик, при которых обеспечиваются максимально возможные равные радиусы связи в прямом и обратном каналах трафика для услуг базовых классов.

Эта операция заключается в выравнивании энергетики указанных каналов, что достигается настройкой ключевых характеристик базовой станции, таких как мощность излучения на канал трафика и чувствительность, в соответствии с

прогнозируемой в соте нагрузкой. В результате формируется множество векторов конфигураций базовых станций  $\{\vec{K}_{BCi}\}$ , находящихся на цифровой карте местности с координатами  $\langle x, y \rangle$  и высотой подвеса антенны  $h_{BCi}$ .

Определение специфичных для каждого потенциального места установки БС характеристик необходимо в дальнейшем для расчета их зон обслуживания при реализации конструктивного алгоритма синтеза оптимальной подсистемы радиодоступа сети WCDMA.

Синтез оптимальной подсистемы радиодоступа сети WCDMA

В соответствии со свойствами оптимальной подсистемы радиодоступа образующее его подмножество БС обладает минимальной мощностью среди всех других возможных подмножеств и не является избыточным. Это означает, что удаление любого элемента из искомого множества приводит к разрушению внутренней организации всех остальных элементов этого множества в систему, выполняющую заданную функцию: обеспечение сплошного радиопокрытия определенной территории с предоставлением услуг базового класса в прямом и обратном каналах с заданным качеством.

Как видно, характеристики совокупности элементов, составляющих искомое подмножество БС, определяют ядро минимальной мощности исходного множества, т.е. совокупность минимального числа максимально связанных элементов относительно исходного множества элементов, в рамках теории монотонных систем. Для построения специальной конструктивной процедуры выделения данного ядра воспользуемся результатами этой теории.

Описание элементов исходного множества БС

Пусть  $W$  – исходное множество БС, расположенных во всех потенциально возможных местах их установки на заданной территории;  $|W| = N$  – мощность этого множества. Элементы множества  $\varphi_i \in W, i=1..N$  характеризуются следующим вектором параметров:

$$\vec{j}_i = (\langle x, y \rangle, h_{BC}, \vec{K}_{BC})_i, \quad (2)$$

где:

$\langle x, y \rangle_i$  - координаты места установки  $i$ -ой БС на цифровой карте;

$h_{BCi}$  – высота подвеса антенны БС;

$\vec{K}_{BCi} = (\Delta F, P_{RPD,max}, L_{RPD}, G_{АНТ}, G_{др}, P_{RPM,min}, n_{сек})_i$  – вектор параметров конфигурации  $i$ -ой БС, где:

$\Delta F_i$  – частотный ресурс  $i$ -ой БС, МГц;

$P_{RPD,max}$  – средняя мощность передатчика на канал трафика  $i$ -ой БС, дБВт;

$L_{RPD}$  – потери в передающей части  $i$ -ой БС, дБ;

$G_{АНТi}$  – коэффициент усиления антенны  $i$ -ой БС, дБ;

$G_{дрi}$  – другие выигрыши за счет разнесенного приема/передачи, использования технологии многопользовательского детектирования MUD и др на  $i$ -ой БС, дБ;

$P_{RPM,mini}$  – чувствительность приемника  $i$ -ой БС, дБВт;

$n_{секi}$  – количество секторов антенной системы  $i$ -ой БС, при OMNI-конфигурации  $n_{секi} = 1$ ; будем считать, что при использовании секторных антенных систем их КУ выбираются исходя из условия обеспечения радиопокрытия, соответствующего радиопокрытию от OMNI-антенны с КУ  $G_{АНТ}$ ; при 3-х секторной конфигурации антенной системы коэффициент увеличения емкости соты будем считать равным 2,5.

Определение начального весового набора

Определим для решаемой задачи начальный весовой набор для каждой БС исходного множества, т.е. для каждого элемента  $\varphi_i \in W$  определим уровень его значимости (вес)  $\pi(\varphi_i)$  (далее, для упрощения,  $\pi_i$ ). Отметим, что в соответствии с положениями теории монотонных систем, веса элементов должны иметь ясный физический смысл и служить определяющими параметрами при выделении из исходной монотонной системы ядер – совокупностей максимально связанных элементов.

В качестве веса  $\pi_i$   $i$ -ой БС из множества  $W$ , характеризующего «оптимальность» ее размещения на цифровой карте местности как с точки зрения эффективности обеспечения радиопокрытия, так и обслуживания прогнозной нагрузки будем использовать относительный запас базовой станции по потенциальной площади обслуживания:

$$p_i = \frac{S_{nomi} - S_{окрi}}{S_{nomi}} = \frac{\Delta S_i}{S_{nomi}}, \quad (3)$$

где:  $S_{потi}$  – потенциальная площадь обслуживания для услуг базового класса отдельно стоящей  $i$ -ой БС, км<sup>2</sup>;

$S_{окрi}$  – площадь обслуживания  $i$ -ой БС для услуг базового класса в окружении соседних БС, км<sup>2</sup>;

$\Delta S_i$  – абсолютный запас  $i$ -ой БС по потенциальной площади обслуживания, км<sup>2</sup>;

Разница между понятиями «площадь обслуживания» БС и «площадь радиопокрытия» БС состоит в том, что площадь обслуживания БС представляет собой часть площади радиопокрытия, на которой рассматриваемая базовая станция создает больший по сравнению с другими БС уровень пилот-сигнала и имеет достаточно ресурсов для обслуживания нагрузки.

Очевидно, что для отдельно стоящей базовой станции площадь обслуживания будет определяться наличием свободных каналов трафика и, в случае их достаточного числа для обслуживания нагрузки, будет эквивалентна площади радиопокрытия. Для

базовой станции, находящейся в окружении других БС, площадь обслуживания будет определяться как наличием свободных каналов трафика, так более высоким по сравнению с другими БС уровнем пилот-сигнала.

В рассматриваемой сети для сот, ограниченных по радиопокрытию, радиус связи по обратному каналу будет меньше аналогичного радиуса связи по прямому каналу, а для сот, ограниченных по емкости, наоборот. Для устранения указанного дисбаланса между прямыми и обратными каналами трафика соответствующие радиусы сот выравниваются.

При задании весов БС как наиболее удачно стоящие (попадающие в «пики» нагрузки) будут иметь наименьшие веса. Это будет справедливо как для сот, ограниченных по радиопокрытию, так и по емкости. Данное утверждение следует из того, что БС, находящиеся в «пиках» нагрузки, будут больше загружены по сравнению с БС, находящимися в любых других местах. Это обусловит большую близость их площади обслуживания в окружении соседних сот  $S_{\text{окр}}$  к потенциальной площади обслуживания отдельной стоящей БС  $S_{\text{пот}}$  по сравнению с базовыми станциями, находящимися в других местах.

Отметим, что вес, заданный с данными параметрами, является безразмерной величиной. Допустимый диапазон изменения значений данного нормированного показателя составляет от некоторого максимального значения, определяемого максимальной разностью  $\Delta S_i$ , до нуля, когда указанная разность в числителе обнуляется. Нулевые значения введенного веса соответствуют предельно допустимым ситуациям, когда БС имеют максимально возможную (потенциальную) площадь обслуживания, соответствующую аналогичной площади обслуживания в случае их одиночного расположения, без окружающих БС.

Возникновение ситуации, при которой значение веса какой-либо БС становится меньше нуля, говорит о том, что площадь обслуживания этой БС оказалась больше потенциально возможной площади обслуживания, что означает появление необслуживаемого участка территории. Это противоречит условию сплошного радиопокрытия, которое должно обеспечиваться оптимальной подсистемой радиодоступа. Следовательно, постановка задачи допускает только положительные значения весов БС, входящих в искомое подмножество.

Определение положительных и отрицательных действий над элементами системы

Задав выражения для веса элементов системы, определим  $\oplus$  и  $\ominus$  действия над элементами исходного множества БС.

Действием типа  $\oplus$  (положительным действием) будем считать включение базовой станции  $\varphi_i \in W$ , определяемой вектором (3), в подсистему базовых станций  $H \subseteq W$ .

Действием типа  $\ominus$  (отрицательным действием) будем считать исключение базовой станции  $\varphi_i \in W$ , определяемой вектором (3), из подсистемы базовых станций  $H \subseteq W$ .

Монотонность исходной системы БС

Для применения методов теории монотонных систем с целью выделения из исходного множества базовых станций  $W$  экстремальной подсистемы, т.е. совокупности БС, образующих оптимальную подсистему радиодоступа сети WCDMA в соответствии с критерием оптимальности (1), необходимо, чтобы исходное множество  $W$  было монотонной системой. В соответствии с теорией монотонных систем, в таких системах действия типа  $\oplus$ , производимые над каким-либо элементом, вызывают увеличение весов всех остальных элементов, а действия типа  $\ominus$  – уменьшение весов элементов.

Приведем содержательную интерпретацию  $\oplus$  и  $\ominus$ -ядер для рассматриваемой задачи. Так,  $\oplus$ -ядром в исходном множестве БС будет являться такое подмножество базовых станций, обеспечивающих радиопокрытие территории с заданным качеством, при котором внутри этого множества базовая станция с наибольшим относительным запасом по потенциальной площади обслуживания будет являться в то же время базовой станцией с наименьшим относительным запасом по потенциальной площади обслуживания, но уже не внутри подмножества, а среди всех возможных подмножеств исходного множества  $W$ .

При введенном определении положительных и отрицательных действий и выражения для весов, система БС  $W$  является монотонной системой. Для доказательства этого факта необходимо показать, что при совершении над любым элементом системы  $\varphi_i \in W$  действия, например, типа  $\ominus$ , т.е. удаления  $j$ -ой БС, веса всех остальных элементов системы  $\pi(\varphi_i)$ ,  $\varphi_i \in W \setminus \{\varphi_j\}$  монотонно уменьшаются. Доказательство здесь опущено