

AN ALGORITHMIC APPROACH TO OPTIMIZING THE LOCATION OF BASE STATIONS IN THE GENERATION 3G NETWORKS

Logvinov A.V.

We consider the possibility of automated solution of EMC RES for 3G networks in terms of optimal placement of base stations (BS). The work is a software product «Optimizing placement of base stations in networks generation 3G».

Keywords: network of generation 3G; criterion electromagnetic compatibly; model Hata.

Логвинов Александр Владимирович, заместитель директора по учебно-воспитательной работе колледжа связи Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики. Тел. (8-846) 926-14-40. E-mail: ks_logvinov@mail.ru

УДК 338.24

ЗАДАЧА СИНТЕЗА ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ СЕТИ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ

Конторович Т.А., Осьмакова А.Г.

Дается содержательная постановка задачи синтеза оптимальной структуры сети базовых станций, формулируется определение оптимальной структуры сотовой сети. Предлагаются критерии оптимальности, ограничения и условия, при которых решается поставленная задача, и математическая модель задачи синтеза оптимальной структуры сети. Предлагается формально-эвристический метод синтеза оптимальной структуры сотовой сети GSM нового поколения. Результаты проведенной экспериментальной проверки подтвердили предположение о том, что планирование вариантов структуры сотовой сети с использованием предложенного метода синтеза способствует построению вариантов, требующих меньших затрат.

Ключевые слова: сотовая связь, базовая станция, зона обслуживания, качество сотовой связи, чистый дисконтированный доход, индекс доходности дисконтированный, внутренняя норма доходности дисконтированная, срок окупаемости дисконтированный, оптимальная структура сети, согласованная система.

Постановка задачи

Свое название сотовые сети (сети) связи получили в соответствии с сотовым принципом организации связи, согласно которому зона обслуживания (территория города или региона) делится на большое число малых рабочих зон, или сот [1]. В центре каждой соты расположена базовая приемопередающая станция (BTS), осуществляющая связь по радиоканалам с подвижными абонентами мобильных радиостанций (MS), находящимися в ее рабочей зоне.

В состав базовой станции (БС) входит несколько приемопередатчиков, цифровые процессоры, размещаемые в составе устройств базовой станции, коммутационные шины различного назначения.

Для сот используют три геометрические фигуры: треугольник, квадрат и правильный шестиугольник.

При разделении территории на соты измеряются или рассчитываются параметры сотовой системы для определения минимального числа БС, обеспечивающих удовлетворительное обслуживание абонентов по всей территории.

Наиболее высокое качество обслуживания достигается в зоне, границы которой определяются исходя из превышения уровнем принимаемого сигнала чувствительности приемника в 99% мест и в 99% времени.

Однако с практической точки зрения при планировании зоны обслуживания следует руководствоваться следующими рекомендациями:

1. Отличное качество связи будет в зоне, границы которой определяются исходя из ожидаемого превышения сигналом уровня чувствительности приемника в 95% мест и 95% времени (вероятность устойчивой двусторонней связи 0,9);

2. Хорошее качество связи будет в зоне, границы которой определяются исходя из ожидаемого превышения сигналом уровня чувствительности приемника в 90% мест и 90% времени (вероятность устойчивой двусторонней связи 0,8).

Для каждой заданной территории можно получить много вариантов структуры сети, отвечающих требуемому качеству.

Эти варианты будут отличаться друг от друга числом и местами расположения БС, их параметрами и затратами на строительство и эксплуатацию БС.

Для синтеза оптимальной структуры сети необходимо выбрать критерий оптимальности, ограничения и условия, при которых решается задача.

Критерий оптимальности должен отвечать следующим основным требованиям: он должен быть

представительным, то есть давать оценку основной задачи операции, критичным к исследуемым параметрам, то есть сравнительно малые изменения исследуемых параметров должны приводить к значительным изменениям числового значения критерия, и по возможности простым.

Согласно теории исследования операций при решении прямой задачи оптимальным решением является такое, которое обеспечивает выполнение поставленной задачи при минимуме материальных затрат.

В качестве критериев сравнения и выбора лучшего из проектов (или вариантов проекта) рекомендуются [2-3]:

- чистый дисконтированный доход (ЧДД);
- индекс доходности дисконтированный (ИДД);
- внутренняя норма доходности (ВНД);
- срок окупаемости с учетом дисконтирования ($T_{окд}$).

Требуется выбрать такой (i -ый) вариант проекта, при котором:

$$\text{ЧДД}_i = \sum_{t=0}^T \Phi_t \alpha_t(E) \rightarrow \max,$$

где T – горизонт расчета; Φ_t – денежный поток; α_t – коэффициент дисконтирования; E – норма дисконта. При этом $\text{ЧДД}_i > 0$; $\text{ИДД}_i > 1$; ЧДД_i и $\text{ИДД}_i > 1$; $\text{ВНД}_i \geq E$; $T_{окд} = \min_{1 < i \leq n} \{ \tau_{окд} \}$, где $\tau_{окд}$ – множество сроков окупаемости проекта).

Условия сопоставимости вариантов проекта:

- рекомендации 1 и 2 выполняются;
- заданная территория имеет коэффициент неровности местности порядка 50 м;
- сопряжение с частотным планом сети обеспечено.

Структура сети, обеспечивающая максимальное значение ЧДД и удовлетворяющая ограничениям и условиям 1-3, называется оптимальной структурой сети, а сеть, имеющая такую структуру, называется сетью оптимальной структуры.

Для решения задачи синтеза оптимальной структуры сети необходимо для каждой территории с заданным числом и взаимным расположением пунктов иметь возможность построить большое число вариантов структуры сети и выбрать из них вариант оптимальной структуры. Очевидно, что число возможных вариантов конечно. Каждый из этих вариантов требует больших затрат на его реализацию.

В связи с этим требуется разработать метод синтеза оптимальной структуры сети, являю-

щийся элементом САПР сети. При этом возможны два случая: расширение существующей сети БС и построение сети вновь.

Исходные данные для решения задачи синтеза

При решении задачи синтеза оптимальной структуры сети используются следующие исходные данные.

1. Планируемый период, T .
2. Характеристика пунктов, расположенных на заданной территории.
3. При решении задачи синтеза оптимальной структуры сети так же, как и при традиционных методах планирования сети, характеристика пунктов должна включать в себя: географические координаты (широта и долгота), плотность населения пункта на начало и конец планируемого периода.
4. Характеристика существующей сети БС на заданной территории на начало планируемого периода.
5. Частотный план.
6. Процент времени, в течение которого напряженность поля, создаваемая БС; и процент точек приема, в которых напряженность поля, создаваемая БС, обеспечивает прием сигналов.
7. Основные параметры сети.
8. Зависимость напряженности поля от расстояния в пригородной и сельских зонах.

Математическая модель задачи синтеза оптимальной структуры сети

Задана территория, на которой расположено некоторое число пунктов возможной установки БС. Требуется построить сеть, обеспечивающую всю территорию связью заданного качества. Если на заданной территории уже имеется некоторая сеть БС, обеспечивающая часть пунктов связью, то задача сводится к ее модернизации.

Заданы исходные данные, необходимые для синтеза оптимальной структуры сети.

Необходимо найти оптимальную структуру сети.

Пусть имеется непустое множество $C = \{c_k\}$ пунктов c_k , подлежащих обслуживанию сотовой связью ($k = 1, n$). Пусть, кроме того, C_0 – непустое подмножество из m пунктов c_{oi} множества C_0 ($i = 1, m; m \leq n$), в которых возможна установка БС. Очевидно, что $C_0 \subset C$.

Будем считать, что установка БС в пункте c_{oi} создает зону обслуживания – непустое континуальное точечное множество D_i . В D_i входят все точки местности, в которых обеспечивается тре-

буемое качество связи от БС, установленной в пункте c_{oi} . Очевидно, что если каждый пункт c_k идентифицировать с упорядоченной двойкой чисел (δ_k, φ_k) , δ_k и φ_k – географические координаты (широта и долгота) пункта c_k , то $c_{oi} \in D_i$, но, кроме того, в D_i могут входить и другие пункты из C . Это пункты, попавшие в зону обслуживания станции, установленной в пункте c_{oi} .

Пусть l_i – натуральное число, удовлетворяющее условиям: $1 \leq l_i \leq m$; $l_i \neq l_j$, если $i \neq j$. Тогда систему $\{D_{l_i}^{(i)}\}_{S_j}$ множеств $D_{l_i}^{(i)}$ ($i = \overline{1, S_j}$) будем называть согласованной, если БС, установленные в пунктах $c_{oi}^{(i)}$, не создают взаимных помех и согласуются с частотным планом существующей сети (ограничения и условия, указанные в 1) и 2), выполняются).

Очевидно, что в рассматриваемых условиях возможно лишь конечное число M согласованных систем $\{D_{l_i}^{(j)}\}_{(j = \overline{1, M})}$. Объединение множеств согласованной системы $\{D_{l_i}^{(j)}\}$, то есть

$$\text{ЧДД} \left[\left(W_{\text{opt}}, T_{\text{opt}} \right) \right] = \sum_{i=1}^{S_{\text{opt}}} \text{ЧДД}_i = \sum_{i=1}^{S_{\text{opt}}} \sum_{t=0}^T \Phi_t \alpha_t(E) \rightarrow \max,$$

где $\text{ЧДД}[(W, T)]$ – ЧДД при варианте структуры полной сети (W, T) ; $\text{ЧДД}[(W_{\text{opt}}, T_{\text{opt}})]$ – ЧДД при варианте оптимальной структуры $i = \overline{1, S_{\text{opt}}}$ (S_{opt} – число БС в варианте оптимальной структуры); при выполнении условий 1 и 2.

Таким образом, при заданном множестве C пунктов задача планирования сети сводится к задаче синтеза оптимальной структуры сети.

Поставленная задача синтеза оптимальной структуры сети относится к задачам оптимизации структуры обслуживающей системы.

Теоретические исследования показали, что существующие методы решения задачи оптимизации обслуживающей системы не учитывают особенности структуры сети и, в первую очередь, вопросы электромагнитной совместимости БС. Поэтому использование этих методов для решения поставленной задачи приводит к практически неприемлемым результатам. Для решения задачи синтеза оптимальной структуры сети необходимо разработать новый метод. Как показал анализ методов оптимизации, метод синтеза оптимальной структуры сети должен быть основан на случайном поиске.

множество $T_j = \bigcup_{i=1}^{S_j} D_{l_i}^{(j)}$ (S_j – число множеств,

входящих в систему множеств $\{D_{l_i}^{(j)}\}$), будем называть сопряженным с некоторой полной сетью, которую обозначим (W_j, T_j) (W_j – набор БС, установленных в пунктах, принадлежащих T_j), если из $c \in C$ следует, что $c \in T_j$, то есть $C \subset T_j$. Очевидно, что не каждое из M множеств T_j окажется сопряженным с некоторой полной сетью, а лишь те $M^0 \leq M$ из них, для которых W_{jk} ($k = \overline{1, M^0}$) обеспечивает обслуживание всех пунктов $c \in C$. Такую (W_{jk}, T_{jk}) впредь будем называть вариантом структуры полной сети. Таким образом, будем считать, что возможно получить M^0 вариантов структуры полной сети, которые после перенумерации будем обозначать (W_k, T_k) ($k = \overline{1, M^0}$).

Необходимо из всех M^0 возможных вариантов структуры полной сети найти вариант оптимальной структуры, при котором:

Предлагается один из возможных методов решения поставленной задачи – формально-эвристический метод синтеза оптимальной структуры сотовой сети GSM нового поколения, который обеспечивает планирование вариантов структуры, требующих меньших затрат, и сокращение среднего времени оптимизации структуры сотовой сети по сравнению с имеющимися методами. Этот эффект достигается за счет введения набора эвристик, учитывающих топологическую структуру заданной территории и технические возможности БС.

В рамках экспериментальной проверки данного метода была смоделирована территория населенного пункта среднего города до 100 тыс. человек населения. Площадь территории 178,37 км². Заданы координаты возможных точек установки БС и возможное количество точек установки. На заданной территории построено 2500 различных независимых вариантов структуры сотовых сетей. Получены результаты построения 2500 независимых вариантов структуры сотовой сети и их статистический ряд.

Минимальное значение затрат руб. Среднее квадратическое отклонение затрат $X_{\min} = 27316,37$ тыс. руб. Максимальное значение затрат $X_{\max} = 39762,50$ тыс. руб. Математическое ожидание затрат $m = 33539,43$ тыс. $\sigma = 1880,25$ тыс. руб. Коэффициент $k_1 = 3,7512$. Коэффициент $k_2 = 3,7485$. Аппроксимирующая плотность распределения затрат имеет вид:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{P1} \cdot \frac{1}{P2} \cdot e^{P3}; \\ m - k_1\sigma < x < m + k_2; \\ 0; \end{cases}$$

$$\text{где } P1 = \Phi\left(\frac{39443,64 - 33539,43}{1880,25}\right) - \Phi\left(\frac{27316,37 - 33539,43}{1880,25}\right),$$

$$P2 = 2 \cdot \pi \cdot 1880,25, \quad P3 = \frac{(x - 33539,43)^2}{2 \cdot 1880,25^2}.$$

В результате проверки гипотезы о распределении затрат по вышеописанному закону по критерию Колмогорова определено максимальное значение модуля разности D между статистической функцией распределения $F_X^*(x)$ и соответствующей теоретической функцией распределения $F_X(x)$:

$$D = \max |F_X^*(x) - F_X(x)| = 0,01028.$$

Значение величины $\lambda = D\sqrt{2500} = 0,5143$. Вероятность того, что (если величина затрат распределена по закону $F_X(x)$) за счет чисто случайных причин максимальное расхождение между $F_X^*(x)$ и $F_X(x)$ будет не меньше, чем фактически наблюденное, равна 0,95. Эта вероятность является сравнительно большой, ее можно считать совместной с опытными данными. Поэтому гипотезу о распределении затрат по усеченному нормальному закону можно считать правдоподобной.

Задавшись надежностью $P = 0,998$; из 2500 построенных вариантов структур сотовых сетей получили, что наибольшее возможное отклонение затрат от оценочного минимума не превзойдет $\delta_0 = 5,1$ тыс. руб.

Результаты проведенной экспериментальной проверки подтвердили предположение о том, что

планирование вариантов структуры сотовой сети с использованием предложенного метода синтеза способствует построению оптимального варианта сотовой сети.

Результаты, полученные в ходе эксперимента по практическому применению разработанного математического обеспечения, указывают на эффективность использования предложенного метода для синтеза оптимальной структуры вновь планируемой сотовой сети.

Литература

1. Макаров С.Б., Певцов Н.В., Попов Е.А., Сиверс М.А. Телекоммуникационные технологии: введение в технологии GSM. М.: ИЦ «Академия», 2006. – 256 с.
2. Косов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция). Министерство экономики РФ, Министерство финансов РФ; ГК РФ по строительству, архитектуре и жилищной политике. М.: Экономика, 2000. – 422 с.
3. Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика. М.: Дело, 2004. – 888 с.

THE PROBLEM OF THE SYNTHESIS OF OPTIMUM BASIC STATIONS NETWORK STRUCTURE

Kontorovich T.A., Osmakova A.G.

Hereby substantial statement of a problem of synthesis of optimum network structure is given and a definition of optimum network structure is formulated. Criteria of an optimality, restrictions and conditions at which the solution of the stated problem and mathematical model of the problem of the synthesis of optimum network structure are possible are also offered. Formal-heuristic method of the optimum network structure synthesis of the GSM of new generation is offered as well. Results of the

latest experimental check confirmed the assumption that the planning of variants of structure of a cellular network with use of the offered method of the synthesis promotes construction of the variants demanding smaller expenses.

Keywords: cellular communication, basic station (BS), service area, cellular communication quality, pure discounted income, discounted profitableness index, discounted internal norm of profitableness, discounted recoument time, optimum network structure, coordinated system.

Конторович Татьяна Александровна, к.т.н., доцент Кафедры «Экономика и организация производства» (Э и ОП) Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики (ПГУТИ). Тел.: (8-846) 309-08-91; 8-927-687-93-59. E-mail: konta@mail.ru

Осьмакова Александра Геннадьевна, аспирант Кафедры Э и ОП ПГУТИ. Тел.: (8-846) 9962021; 8-909-801-23-33. E-mail: aosmakova@yandex.ru

УДК 65.021.56

ПРИМЕНЕНИЕ ШУМОПОДОБНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ УПРАВЛЕНИИ РАДИОСТАНЦИЕЙ ПО КАНАЛАМ ДАЛЬНОЙ СВЯЗИ

Назаров С.Н., Пятаков А.И.

В работе проанализированы пути решения проблемы нехватки пропускной способности в радиосетях декаметрового диапазона, в том числе и военного назначения. Настоящая работа посвящена разработке алгоритма функционирования адаптивных систем радиосвязи с одновременной передачей в одном канале информационных сообщений и команд управления режимами работы радиостанции, а также методике оценки параметров шумоподобных сигналов, используемых для переноса команд управления.

Предлагается для увеличения пропускной способности канала служебную информацию, управляющую режимами работы радиостанции, передавать не попеременно с информационными блоками, а одновременно, в общей полосе канала. Для переноса служебной информации использовать шумоподобные широкополосные сигналы.

Ключевые слова: команда управления, спектральная плотность сигнала, уровень шума.

Введение

При использовании радиостанции в режиме приема и передачи информации от ПЭВМ возникает необходимость дистанционного управления ее режимами работы, скоростью передачи, мощностью излучения, что требует принятия определенных технических решений по разработке специальных алгоритмов управления как сопрягаемой, так и удаленной радиостанцией.

Предложено несколько способов дистанционного управления радиостанцией, однако все они требуют использования дополнительных канальных или временных ресурсов, так как передача команд управления ведется либо по отдельной выделенной линии дистанционного

управления, либо в составе информационного канала, но при этом связана с прерыванием обмена оперативной информацией между корреспондентами, а следовательно, с неминуемыми перерывами связи [1].

В работе предлагается один из путей решения проблемы, основанный на передаче в общей полосе полезного сигнала и команд управления. Это возможно, если в качестве команд управления использовать шумоподобные сигналы. Корреляционная функция и спектр плотности этих сигналов близки к аналогичным характеристикам квазиглобального шума. Шумоподобные сигналы относятся к классу сложных сигналов, база которых $B = 2FT \gg 1$.

Анализ использования шумоподобных сигналов в технике радиосвязи

В работе [1] предлагается передавать в общей полосе канала связи информационные сигналы и синхронизирующую последовательность. Можно развить эту идею и передавать вместо синхронизирующей последовательности смысловую информацию, в частности, команды управления режимами работы радиостанции.

Для получения шумоподобных сигналов предлагается использовать технологию уширения спектра (Spread Spectrum, SS) [2]. Данная технология подразумевает, что первоначально узкополосный (в смысле ширины спектра) служебный сигнал при передаче преобразуется таким образом, что его спектр оказывается значительно шире спектра первоначального сигнала, то есть спектр сигнала как бы «размазывается» по частотному диапазону (см. рис. 1).