

Харьковский государственный региональный научно-технический центр по вопросам ТЗИ

МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНОГО РЕСУРСА В УСЛОВИЯХ КОНВЕРСИИ РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА

©Коляденко Ю.Ю., Токарь Л.А., 2008

У статті розглянутий один з шляхів рішення задачі електромагнітної сумісності (ЕМС) - метод частотного планування за допомогою мінімізації кількості частотних каналів, що використовуються, для виконання умов забезпечення ЕМС.

One of paths of decision of task of electromagnetic compatibility (EMC) is considered in the article - method of the frequency planning by minimization of amount of the used frequency channels for implementation of terms of the EMC providing.

Введение.

В настоящее время число радиоэлектронных средств (РЭС) различного назначения превышает возможности удовлетворения их частотных потребностей в традиционно используемых полосах радиочастотного спектра. В частности, развертывание в Украине сетей сотовой связи третьего поколения (3G) обусловило актуальность работ по обеспечению их совместного функционирования с сетями радиорелейных станций и средствами авиационной связи в общих полосах частот [1]. Одним из путей решения этой задачи является совершенствование методов частотного планирования данных сетей с целью минимизации количества используемых частотных каналов при выполнении установленных условий обеспечения ЭМС [2].

Исследования показывают, что электромагнитная обстановка (ЭМО) в диапазонах частот, отведенных для работы сотовым системам связи (ССС) и средствам связи военного назначения, отличается существенной динамичностью и неравномерностью распределения параметров. В условиях все увеличивающегося количества РЭС ССС с одной стороны и высоких требований к качеству средств связи военного назначения задача обеспечения ЭМС встает как одно из основных ограничений конверсии РЧС.

Разработка методики частотного планирования в группировках ССС и средств связи военного назначения, учитывающая условия обеспечения ЭМС на объектах и включающая требования по минимизации частотных присвоений, является актуальной задачей.

Основная часть.

Задача минимизации полосы частот формулируется следующим образом [3,4]. Пусть имеется группировка, состоящая из N РЭС, размещенная в территориальном районе, которая задана матрицей взаимных удалений $\|d_{ij}\|, i, j = 1, 2, \dots, N$. Условия совместного использования РЭС на данной территории определяются величиной частотно-территориального разноса (ЧТР), исходными данными для нахождения которой являются ограничения на помехи по основному и неосновным каналам приема, и представляет собой монотонно убывающую функцию допустимой расстройки рабочих частот РЭС Δf от их взаимного удаления d :

$$\Delta f = g(d). \quad (1)$$

Каждому i -му РЭС требуется присвоить рабочую частоту $f_i, i = 1, 2, \dots, N$ так, чтобы при выполнении условий ЭМС занимаемая ими полоса частот

$$\Delta F = \max_{1 \leq i \leq N} f_i - \min_{1 \leq i \leq N} f_i \quad (2)$$

была минимальной и ее значение соответствовало бы заданной минимальной частоте присваиваемой полосы f_{\min} :

$$f_{\min} = 2f_{cp} - \max_{1 \leq i \leq N} f_i. \quad (3)$$

По известной матрице взаимных удалений $\|d_{ij}\|$ и заданной величине ЧТР (1) условия ЭМС РЭС можно записать в виде матрицы допустимых частотных расстроек между РЭС $\|\Delta f_{ij}\|$ [5], элементы которой ограничивают выбор рабочих частот с помощью соотношений:

$$|f_i - f_j| \geq \Delta f_{ij}, \quad (\Delta f_{ij} = g(d_{ij}), i, j = 1, 2, \dots, N, i \neq j). \quad (4)$$

Тогда математическую формулировку рассматриваемой задачи можно представить следующим образом. В области, определяемой ограничениями (3) и (4), необходимо найти такие значения переменных f_i , при которых целевая функция (2) принимает наименьшее значение.

В [4] предложено решение этой задачи с использованием методов правильной раскраски N -вершинного графа. Однако, как было показано в [6], использование этих методов требует больших вычислительных затрат и соответственно достаточно большого времени на распределение частотного ресурса. На этапе функционирования группировки РЭС задачу распределения частотного ресурса необходимо решать в реальном масштабе времени с динамической матрицей взаимных удалений $\|d_{ij}\|$.

При постановке и решении оптимизационных задач должны быть четко определены 3 главных объекта [7]:

критерий оптимизации или целевая функция, зависящая от параметров оптимизируемых объектов;

ограничения, накладываемые на ресурсы и на саму задачу;

область допустимых решений, внутри которой осуществляется решение самой оптимизационной задачи.

В [8] предложен алгоритм решения задачи оптимального распределения частотного ресурса для фиксированных служб связи, имеющий N^2 вычислительную сложность, что при достаточно большом быстродействии вычислительной техники позволит решать данную задачу в реальном масштабе времени. Формализация задачи минимизации присваиваемой полосы частот в виде оптимизации на множестве перестановок позволяет отнести ее к области задач дискретного программирования. Среди приближенных методов дискретного программирования, состоящих из эвристических алгоритмов и метода случайного поиска, перспективными с точки зрения точности решения являются методы случайного поиска с локальной оптимизацией.

В данном случае условием локальной оптимальности является то, что присваиваемая очередному РЭС рабочая частота должна быть ближайшей к присвоенной на предыдущем шаге частоте при условии соотношений (4).

Суть этого алгоритма состоит в следующем. Пусть в результате выполнения k шагов алгоритма ($1 \leq k \leq N - 1$) имеем следующее распределение частот $0 = f_{v_1} \leq f_{v_2} \leq \dots \leq f_{v_k}$, где v_i - номера АС, которым присвоены частоты f_{v_i} ($i = 1, \dots, k$). Тогда в соответствии с условием локальной оптимизации номер v_{k+1} очередной АС на $k + 1$ шаге алгоритма определяется из соотношения

$$v_{k+1} = \arg \min_{\substack{1 \leq i \leq N \\ i \neq v_1, \dots, v_k}} \max_{1 \leq l \leq k} (\Delta f_{iv_l} - f_{v_k} + f_{v_l}), \quad (5)$$

а ее положение на частотной оси

$$f_{v_{k+1}} = f_{v_k} + \min_{\substack{1 \leq i \leq N \\ i \neq v_1, \dots, v_k}} \max_{1 \leq l \leq k} (\Delta f_{iv_l} - f_{v_k} + f_{v_l}). \quad (6)$$

В качестве начальной точки v_1 выбирается произвольный номер РЭС. Для выполнения условия (3) задачи оптимизации полосы частот необходимо все полученные частоты увеличить на f_{\min} , что не нарушит выполнение соотношений (4).

Для анализа предложенного алгоритма (5) был проведен вычислительный эксперимент на ЭВМ.

Была рассмотрена ССС, использующая стандарт GSM-900. Стандарт GSM-900 предусматривает работу передатчиков в двух диапазонах частот: 890...915 МГц (для передатчиков подвижных станций - MS) и 935...960 МГц (для передатчиков базовых станций - BS). Стандарт GSM основан на методе множественного доступа с временным разделением каналов (Time Division Multiple

Access – TDMA). В структуре TDMA-кадра содержится 8 временных позиций на каждой из 124 несущих [8]. Каждый диапазон частот имеет полосу $\Delta F = 25$ МГц. Ширина полосы канала связи $\Delta F_k = 200$ кГц. Дальность связи базовой станции составляет около 10-15 км.

При этом определялась минимальная полоса для 124 частотных каналов в зоне обслуживания БС.

Для моделирования на ЭВМ координаты размещения МС выбирались случайным образом по гауссовому закону распределения. Пример размещения 124-х МС показан на рисунке 1. Расчет матрицы взаимных удалений $\|d_{ij}\|$ между МС производился согласно выражения

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}, \quad (7)$$

где d_{ij} - расстояние от i -го элемента до j -го элемента, x, y, z - координаты МС.

Матрица допустимых частотных расстроек формировалась с помощью матрицы взаимных удалений $\|d_{ij}\|$ и функции частотно-территориального разнеса:

$$\Delta f(d) = \begin{cases} 200 \text{ кГц}, & 0 < d < 10; \\ 177,78 \sqrt{\frac{225}{R^2} - 1} \text{ кГц}, & 10 \leq d < 15; \\ 0, & d > 15. \end{cases} \quad (8)$$

В соответствии с рассмотренным алгоритмом и функцией ЧТР, размещенных случайным образом МС в пространстве (рис.1), произведено распределение частотного ресурса между 124 МС с соответствующим присвоением им частот. Пример такого распределения показан на рисунке 2.

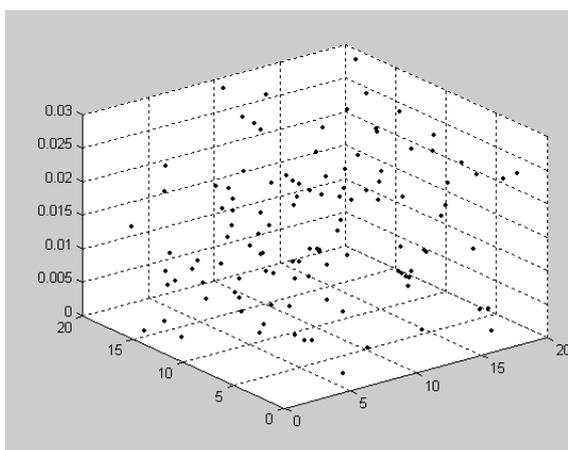


Рис. 1 - Размещение МС в зоне обслуживания БС

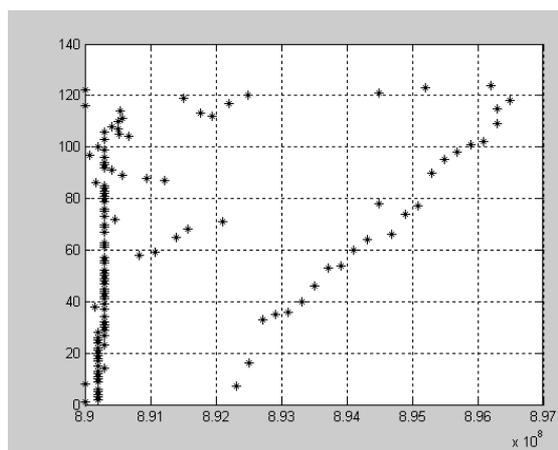


Рис. 2 - Размещение МС с соответствующим присвоением частот

Анализ рисунка 2 показывает, что полоса частот $\Delta F = 25$ МГц, выделенная мобильным станциям, размещенным в группировке РЭС, уменьшилась до величины $\Delta F = 6,49$ МГц. Оставшейся резерв 18,51 МГц незадействованной полосы частот позволяет значительно увеличить частотный разнос между ССС и средствами авиационной связи.

Выводы.

1. Показано, что на этапе развития ССС актуальной является задача более эффективного использования занимаемого спектра частот. В настоящее время в условиях постоянно возрастающего спроса на частотный ресурс постановка такой задачи обусловлена необходимостью более рационального распределения радиочастотного ресурса с применением метода минимизации занимаемой полосы частот.

2. Предложен более рациональный с точки зрения вычислительной сложности алгоритм решения задачи оптимального распределения частотного ресурса для ССС, разработанный на основе использования метода локальной оптимизации – одного из приближенных методов дискретного программирования, позволяющий уменьшить частотный разнос мобильных станций за счет повторного использования рабочих частот.

3. Проведен анализ эффективности метода минимизации занимаемой полосы частот на примере применения алгоритма локальной оптимизации для ССС стандарта GSM-900. Анализ показал, что сужение полосы частот, как одного из методов повышения использования радиочастотного спектра, является примером комплексного подхода для выполнения условий обеспечения ЭМС.

1. Варакин Л.Е. *Сотовые системы подвижной связи. Зарубежная радиоэлектроника*, № 2, 1986. 2. *Теория и методы оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств* /Феоктистов Ю.А., Матасов В.В., Башурин Л.И. и др./ Под ред. Феоктистова Ю.А.- М.: Радио и связь, 1988.- 216с. 3. Коляденко Ю.Ю. *Оптимизация распределения частотного ресурса в системах сотовой подвижной связи* // Праці УНДІРТ. Теоретичний та науково-практичний журнал радіозв'язку, радіомовлення і телебачення. - 2005. - № 3 (43). - С.80-85. 4. Metzger V. H. *Spectrum management technique presented at the 38-th National ORSA Meeting, Detroit, MI, Fall, 1970*. 4. Бессонов А.П., Кокурин И.В., Тугин Л.В., Швецова Н.Ю. *Пожирающий алгоритм минимизации числа каналов, присваиваемых группировке РЭС по заданной матрице частотных отстроек* // Праці УНДІРТ. Теоретичний та науково-практичний журнал радіозв'язку, радіомовлення і телебачення. - 2004. - № 4 - С.35-44. 5. Кристофидес Н. *Теория графов. Алгоритмический подход.* – М.: Мир. 1978. 6. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. *Практическая оптимизация. Пер. с англ./ Под ред. А.А.Петрова.* – М.: Мир, 1985 – 509 с. 7. Balson D.M. *Pan-European cellular radio: 1991 and all that*//*Electronics and Communication Engineering Journal.*-1989.-p.p. 7-13.