

В. В. Поповский, А. В. КоляденкоХарьковский национальный университет радиоэлектроники,
кафедра инфокоммуникационной инженерии**МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ
СОВМЕСТИМОСТИ ПРИ КОГНИТИВНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ
ЧАСТОТНОГО РЕСУРСА В МОБИЛЬНЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ**

©Поповский В. В., Коляденко А. В., 2018

Запропоновано алгоритм розв'язання задачі оптимізації розподілу частотного ресурсу для мереж мобільного зв'язку. В основу алгоритму покладено метод локальної оптимізації – один з наближених методів дискретного програмування. В цьому випадку умовою локальної оптимальності є те, що робоча частота, яка присвоюється черговій абонентській станції повинна бути найближчою до присвоєної на попередньому кроці частоті, але при цьому повинні бути виконані вимоги електромагнітної сумісності.

Ключові слова: мережі мобільного зв'язку, електромагнітна сумісність, розподіл ресурсів

V. V. Popovski, A. V. KolyadenkoKharkov National University of Radio Electronics, (Ukraine),
of info-communication engineering**METHOD ENSURING ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY
WITH COGNITIVE FREQUENCY RESOURCE ALLOCATION
IN A MOBILE COMMUNICATION SYSTEM**

© Popovski V. V., Kolyadenko A. V., 2018

Individual elements of systems and networks using radio links, to interfere with other network elements, and in turn, they are subject to interference effects. Designed by many methods, techniques, theoretical studies devoted to improving the electromagnetic environment in radio, the problem of electromagnetic compatibility. We can assume that in a hospital, especially when considering dueling (transmitter – receiver) electromagnetic compatibility problems at the design stage is almost solved. The situation itself and the electromagnetic environment complicates the fact that this situation is often made various random factors that bear unpredictable character. Under these conditions in advance to calculate the electromagnetic environment and to solve the problem of electromagnetic compatibility with sufficient accuracy is not always possible, and often impossible due to a priori uncertainties.

With the advent of mobile network signal and interference environment has become much more complicated. An increasing number of radio electronic devices for different purposes lead to the formation of the plural character of the electromagnetic interactions between them. At the same time it becomes even more fundamental shortage of frequency resources, exacerbated by the problem of electromagnetic compatibility. Find ways to solve this problem, you can use cognitive frequency resource allocation with frequency reuse. Cognitive system with the allocation of resources, including the frequency and must have self-mechanisms with different levels of ability to adapt to a changing radio environment. At the same time self-arrangements based on the principles of learning and artificial intelligence.

When the cognitive spectrum distribution network, each subscriber station must continuously be monitored spectrum for the presence of free channels. The analysis results are transmitted base station, and it takes the final decision on channel availability. When deciding the base station based on results of spectrum analysis, the location information and the auxiliary information.

An algorithm for solving the problem of optimizing the allocation of frequency resource for mobile networks. The algorithm is based on local optimization method – one of the approximate methods of discrete programming. In this case, local optimality condition is that the subscriber station is assigned the next operating frequency to be closest to the assigned frequency in the previous step, but it must be carried out electromagnetic compatibility conditions.

Key words: Mobile networks, electromagnetic compatibility, resource allocation.

Вступление

С появлением сетей мобильной связи (СМС) сигнально-помеховая обстановка (СПО) стала резко усложняться [1]. Все возрастающее количество радиоэлектронных средств (РЭС) различного назначения приводят к образованию множественного характера электромагнитных взаимодействий между ними. При этом к СМС относятся не только ставшие уже традиционными системы сотовой связи, но и системы транкинговой, пейджинговой связи, системы абонентского радиодоступа (САРД). При этом САРД интенсивно развиваются, особенно в технологиях Wi-Fi, Wi-Max, LTE. Продолжают развиваться также системы радиорелейной, спутниковой и других видов радиосвязи. Одновременно с этим еще более принципиальным становится дефицит частотного ресурса, обостряется проблема ЭМС. Найти пути решения данной проблемы можно, используя когнитивное распределение частотного ресурса [2–5] с повторным использованием частот. Система с когнитивным распределением ресурсов, в том числе и частотного должна обладать механизмами самоуправления с различными уровнями способности адаптироваться к изменяющейся радиосреде [6–8]. При этом механизмы самоуправления базируются на принципах обучения и искусственного интеллекта.

При когнитивном распределении спектра каждая абонентская станция (АС) сети должна непрерывно выполнять мониторинг спектра на наличие свободных каналов. Результаты анализа передаются базовой станции (БС), и она принимает окончательное решение относительно пригодности канала. При принятии решения БС опирается на результаты анализа спектра, информацию о местоположении, а также на вспомогательную информацию [4].

Алгоритм распределения частотного ресурса с повторным использованием частот

Задача минимизации полосы частот формулируется следующим образом [9-11]. Известно на данный текущий момент расположение в пространстве N АС в зоне обслуживания БС в виде матрицы взаимных расстояний $\|d_{ij}\|, i, j = 1, 2, \dots, N$. Условия совместного использования АС в зоне обслуживания БС определяются функцией частотно-территориального разнеса (ЧТР), которая при рассмотрении только основных и внеполосных характеристик излучения и приема представляет собой монотонно убывающую функцию допустимой расстройки рабочих частот АС Δf от их взаимного удаления d :

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

Каждой i -й АС 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, а ее минимальное значение соответствовало бы заданной частоте $f_{\min}$:

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

По известной матрице взаимных расстояний $\|d_{ij}\|$ и заданной функции ЧТР (1) условия ЭМС АС в зоне обслуживания БС можно записать в виде матрицы допустимых частотных расстроек между АС $\|\Delta f_{ij}\|$, элементы которой ограничивают выбор рабочих частот с помощью соотношений:

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

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 [6] предложено решение этой задачи с использованием методов правильной раскраски N – вершинного графа. Однако, как было показано в [12], использование этих методов требует больших вычислительных затрат и соответственно достаточно большого времени на распределение частотного ресурса. Для мобильной сети на этапе ее функционирования задачу распределения частотного ресурса необходимо решать в реальном масштабе времени с динамической матрицей взаимных расстояний $\|d_{ij}\|$.

В [9] 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. Этот алгоритм разработан на основе использования метода локальной оптимизации – одного из приближенных методов дискретного программирования. В данном случае условием локальной оптимальности является то, что присваиваемая очередной АС рабочая частота должна быть ближайшей к присвоенной на предыдущем шаге частоте при условии соотношений (4).

Суть этого алгоритма состоит в следующем [10,11]. 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:

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

где Δf_{iv_l} – разнос частот между i -й АС (станция, которой не присвоена частота) и v_l АС (станция, которой присвоена частота); f_k – частота, присвоенная на k -м шаге; f_{v_l} – частота, присвоенная v_l -й станции.

Так определяют максимальные элементы в каждом столбце матрицы частотных расстроек $(\Delta f_{iv_l} - f_{v_k} + f_{v_l})$ между АС с уже присвоенной и не присвоенной частотой и затем находят минимальный элемент. Он и определяет номер v_{k+1} очередной АС.

Положение на частотной оси определяют из выражения:

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

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

Анализ эффективности алгоритма распределения частотного ресурса с повторным использованием частот

Приведем пример практического применения алгоритма распределения частотного ресурса для СМС, использующей стандарт Wi-Max. Сети Wi-Max используют технологию OFDM. Разнос частот между поднесущими составляет 70 кГц. Пусть в результате мониторинга спектра не занятой полосой частот оказалась полоса от 2,25 ГГц до 2,5 ГГц, выделенная для передачи АС в направлении БС. Полоса в пределах от 2,1 ГГц до 2,2 ГГц оказалась занятой. Таким образом, в диапазоне от 2,25 ГГц до 2,5 ГГц появилась “спектральная дыра”. Результаты мониторинга представлены на рис.1. Вверху на рис.1 отображена полностью занятая полоса.

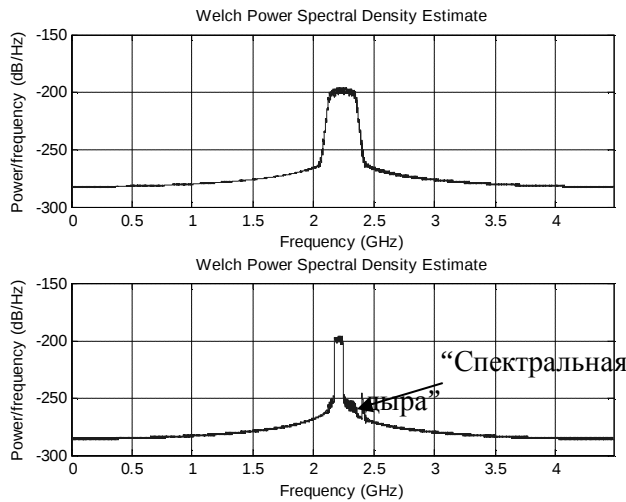


Рис. 1. Результат мониторинга спектра сети Wi-Max

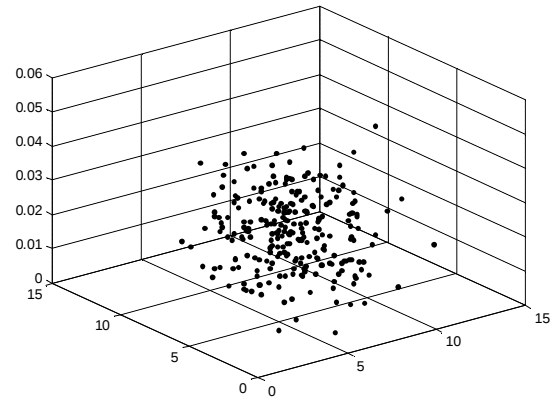


Рис. 2. Размещение АС в зоне обслуживания БС сети Wi-Max

Задача состояла в том, чтобы в пределах свободной полосы выделить максимальное количество частотных каналов для АС в зоне обслуживания БС.

Для моделирования на ЭВМ координаты размещения АС выбирались случайным образом по гауссовому закону распределения. Пример размещения АС в пространстве показан на рис. 2. Расчет матрицы взаимных расстояний $\|d_{ij}\|$ между АС производился согласно выражения:

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

где x_i, y_i, z_i - координаты размещения i -й АС.

Матрица допустимых частотных расстроек формировалась с помощью матрицы взаимных расстояний $\|d_{ij}\|$ и функции ЧТР [11]:

$$\Delta f_{ij}(d) = \begin{cases} 70 \text{ кГц}, & 0 < d_{ij} < 2 \text{ км}; \\ 46,7 \sqrt{\frac{25}{d_{ij}^2}} - 1 \text{ кГц}, & 2 \leq d_{ij} < 5 \text{ км}; \\ 0, & d_{ij} > 5 \text{ км}. \end{cases} \quad (8)$$

В соответствии с рассмотренным алгоритмом и функцией ЧТР, размещенных случайным образом АС в пространстве (рис. 2), произведено распределение частотного ресурса между АС в диапазоне от 2,4 до 2,4065 ГГц с соответствующим присвоением им частот. Пример такого присвоения частот показан на рис. 3. При этом, как видно из рис. 3, в пределах свободного

частотного диапазона выделено 256 дополнительных каналов, что позволяет значительно увеличить количество обслуживаемых АС.

На рис. 4 представлена зависимость ширины полосы частот ΔF от количества обслуживаемых абонентских станций N сети Wi-Max. Кривая 1 на данном рисунке соответствует случаю распределения частотного ресурса без использования предложенного метода, а кривая 2 с использованием метода повторного использования частот. При этом как видно из рис. 4 при распределении частот между 64-мя АС полоса частот уменьшается на 2,6623 МГц. При распределении частот между 128-мя АС полоса частот уменьшается на 5,2996 МГц. При распределении частот между 192-мя АС полоса частот уменьшается на 9,0163 МГц. А при распределении частот между 256-ю АС полоса частот уменьшается на 11,92 МГц.

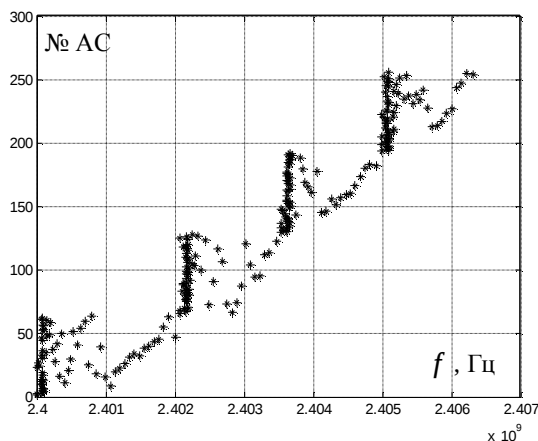


Рис. 3. Присвоение частот АС сети Wi-Max

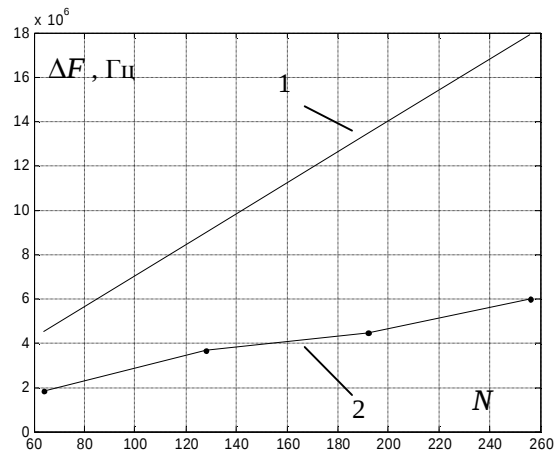


Рис. 4. Зависимость ширины полосы частот от количества абонентских станций сети Wi-Max

Таким образом, можно сделать вывод о том, что с ростом числа одновременно обслуживаемых АС эффективность метода повышается.

Выводы

1. Найти пути решения проблемы электромагнитной совместимости сетей мобильной связи при дефиците частотного ресурса можно, используя когнитивное распределение ресурса с повторным использованием частот. Система с когнитивным распределением ресурсов, в том числе и частотного, должна обладать механизмами самоуправления с различными уровнями способности адаптироваться к изменяющейся радиосреде. При этом механизмы самоуправления базируются на принципах обучения и искусственного интеллекта.

2. Предложен алгоритм решения задачи оптимизации распределения частотного ресурса для сетей мобильной связи. В основе алгоритма лежит метод локальной оптимизации – один из приближенных методов дискретного программирования. В данном случае условием локальной оптимальности является то, что присваиваемая очередной абонентской станции рабочая частота должна быть ближайшей к присвоенной на предыдущем шаге частоте, но при этом должны выполняться условия электромагнитной совместимости.

3. Проведен анализ эффективности на примере практического применения алгоритма для сети мобильной связи, использующей стандарт Wi-Max. Произведено распределение частотного ресурса между абонентскими станциями в диапазоне от 2,4 до 2,4065 ГГц с соответствующим присвоением им частот. Анализ показал, что в пределах свободного частотного диапазона выделено 256 дополнительных каналов, что позволяет значительно увеличить количество обслуживаемых АС. Получена зависимость ширины полосы частот от количества обслуживаемых абонентских

станций сети Wi-Max. Анализ показал, что с ростом числа одновременно обслуживаемых абонентских станций эффективность метода повышается.

1. Багатоканальний електрозв'язок та телекомунікаційні технології: підручник з грифом МОН України / [В. В. Поповський, В. А. Лошаков, С. О. Сабурова та інші.]; під редакцією В. В. Поповського. – Харків: СМІТ, 2010. – 469 с. 2. Mitola J. III. Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications// Mobile Multimedia Communications (MoMuC'99), IEEE International Workshop, San Diego, CA, USA, Nov. 1999. – P. 3–10. 3. Mitola J. III. Cognitive Radio. An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio: Doctor of Technology Dissertation/ Mitola Joseph III. – Sweden: Royal Institute of Technology, 2000. – 313 p. 4. Гурьянов И. О. Когнитивное радио: новые подходы к обеспечению радиочастотным ресурсом перспективных радиотехнологий / И. О. Гурьянов // ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ. – 2012. – № 8. – С. 5–8. 5. Кизима С. В. Когнитивные радиотехнологии. Аспекты практической реализации [С. В. Кизима, С. Г. Митченков, Б. Б. Емельяников] // ЭЛЕКТРОСВЯЗЬ. – 2014. – № 9. – С. 44–48. 6. Metzger B. H. Spectrum management technique / B. H. Metzger // Presented at the 38-th National ORSA Meeting, Detroit, Michigan, USA, 1970 p. 34–46. 7. Survey on Spectrum Management in Cognitive Radio Networks / [I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, M. C. Vuran, M. A. Shantidev] // IEEE Communications Magazine. – 2008. – Vol. 46. – P. 40–48. – DOI: 10.1109/MCOM. 2008.4473090. 8. Ghasemi A. Spectrum sensing in cognitive radio networks: Requirements, hallenges, and design trade-off / A.Ghasemi, S.E. Sousa // IEEE Communications Magazine. – 2008. – Vol. 46, – P. 32–39. – DOI: 10.1109/MCOM. 2008.4473090. 9. Ермаков А. И. Алгоритмы оптимизации выделяемой полосы частот для группы однотипных радиоэлектронных средств по условиям обеспечения их ЭМС / А. И. Ермаков, Н. В. Соловьев // Радиотехника. Научно-техн. и теор. журнал. – М.: Радио и связь, 1983. – № 3. – P. 123–126. 10. Коляденко А. В. Оптимизация распределения частотного ресурса в когнитивных радиосетях / А. В. Коляденко // Материалы XVII Международного молодежного форума “Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке”. Харьков, 2013. – С. 103–104. 11. Коляденко Ю. Ю. Анализ алгоритмов управления частотным ресурсом в системах сотовой связи / Ю. Ю. Коляденко // Международная научная конференция “Интеллектуальные системы принятия решений и прикладные аспекты информационных технологий” (ISDMIT'2006). – Евпатория, 2006. – С. 56–57. 12. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978. – 430 с.