

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ЧАСТОНОГО ПРИСВОЕНИЯ С ФИКСИРОВАННЫМ ДИАПАЗОНОМ ЧАСТОТ**

**Коломыцев М.А., Корсак В.В.**

*Институт телекоммуникаційних систем НТУУ «КПІ»  
E-mail: max\_abab@ukr.net korsak.viktoriia@gmail.com*

### **Mathematical problem definition of frequency assignment problem with fixed frequency range**

The article is based on the frequency assignment problem in the network with fixed number of frequencies. The mathematical problem definition of the frequency assignment problem and the results of the research that are presented in the form of a recommendation for usage of the frequency assignment methods are introduced in this article.

Проблема частотного присвоения возникает. Когда большое количество передатчиков работают в одной области. Обычно стремятся минимизировать помехи, что возникают на приемной стороне от обслуживающих передатчиков. Это легко достигается, если количество допустимых частот достаточно велико, но сложнее достичь этого, если нужно минимизировать помехи, но в то же время эффективно использовать радиочастотный ресурс [1].

Здесь и возникает проблема присвоения частот, которая заключается в том, что бы присвоить каждому передатчику радиочастоту из данного набора частот при удовлетворении требования интерференции между сигналами [3].

Проблема частотного присвоения (ПЧП) была изучена и продолжает изучаться большим количеством инженеров, математиков и ученых, и все же, в общем виде остается очень сложным заданием.

Существуют два основных типа ПЧП: минимизировать использование радиочастотного ресурса при удовлетворении допустимых уровней помех или свести к минимуму помехи в системе при фиксированном спектре выделенных частот [2]. Частоты, как правило, лицензированы государством, которое стягивает определенную плату за использование частот в том или ином диапазоне. Именно это натолкнуло операторов планировать использование частот, что бы избежать высоких уровней помех и свести к минимуму диапазон используемых частот, что в свою очередь уменьшает затраты на лицензию. И поэтому перед нами возникает проблема второго типа: свести к минимуму интерференцию между базовыми станциями мобильной сети при фиксированном диапазоне частот.

Для решения этой задачи мы произвели анализ существующих методов присвоения частот, выполнили моделирование системы LTE и по результатам сравнили каждый из методов. На основании результатов сформировали рекомендации по использованию методов присвоения частот при различных параметрах сети.

Мы выбрали такие популярные математические методы для решения задач оптимизации: метод жадного алгоритма, метод локального поиска и метод табу поиска. Алгоритмы предназначены для решения задач оптимизации, обычно представляют собой последовательность шагов, на каждом из которых представляется некоторое множество выбора. Определение наилучшего выбора, руководствуется принципами динамического программирования.

Последовательность исследования была следующая. Прежде чем приступить к математической постановке задачи, мы определили показатель, который будет характеризовать результат исследования. ПЧП характеризуется определением матрицы интерференций и наложением на нее определенных ограничений. Матрица интерференций (1) представляет собой матрицу, элементы которой это относительные уровни интерференций в зоне обслуживания каждой базовой станции. А ограничения – это допустимые уровни отношения *сигнал/(шум + интерференция)*. Для расчета матрицы интерференций вводим критерий  $L$ , который характеризуется спектральной эффективностью  $V$ , бит/с/Гц в каждой точке зоны обслуживания передатчика.

$$X = [x_{ij}], \tag{1}$$

$$x_{ij} = \frac{L_j - L_{I_j}}{L_j}, \tag{2}$$

где  $x_{ij}$  - элемент матрицы интерференций  $X$ ;

$i$  - индекс передатчика «жертвы»;

$j$  - индекс передатчика, что формирует помеху.

$$L_j = \sum_a V_{ja} |C_{ja} \geq C_{za}, \forall z \tag{3}$$

$$L_{I_j} = \sum_a V_{I_{ja}} |C_{ja} \geq C_{ja}, \forall z \tag{4}$$

где  $V_j$  - спектральная эффективность передатчика  $j$  в зоне обслуживания передатчика  $j$  без интерференции;

$V_{I_j}$  - спектральная эффективность передатчика  $j$  в зоне обслуживания передатчика  $j$  с учетом интерференции;

$a$  - количество пикселей в зоне обслуживания передатчика  $j$ ;

$L_j$  - критерий  $L$  без интерференции для передатчика  $j$ ;

$L_{I_j}$  - критерий  $L$  с интерференции для передатчика  $j$ .

После определения показателя мы выполнили математическую постановку задачи, которая в общем виде заключается в максимизации суммы каждого элемента матрицы интерференций  $X$

$$\sum x_{ij} \rightarrow \max \quad (5)$$

Данную постановку можно применить к любой сети, для которой будет вычисляться своя матрица интерференции. В исследовании мы применили эту задачу к сети LTE. При вычислении критерия  $L$  мы использовали стандарт Релиз 10 организации 3GPP для определения параметров и ограничений сети.

В Украине для технологии LTE выделены такие частоты: 1920 - 1980 МГц и 2500 – 2570 МГц. Именно из этих диапазонов мы выбирали частоты с шириной канала 1,25 МГц. В ходе исследования мы изменяли такие параметры сети как количество фиксированных частот, площадь покрытия всей системы и количество базовых станций.

Моделирование сети мы выполнили с помощью программного языка Python. Во время статистического анализа полученных результатов, мы изменяли не только количество базовых станций, но и их расположение. После исследований были сформированы рекомендации по выбору метода присвоения частот базовым станциям сети в зависимости от параметров сети. В Тал.1 слева мы указываем на размеры сети, а сверху на нагрузку на БС.

Таблица 1. Рекомендации по применению методов присвоения частот БС

	40 бит/с/Гц	50 бит/с/Гц	60 бит/с/Гц	70 бит/с/Гц	80 бит/с/Гц
25x25	Метод жадібногo алгоритму	Метод табу пошуку	Метод табу пошуку	Метод табу пошуку	Метод табу пошуку
50x50	Метод жадібногo алгоритму	Метод жадібногo алгоритму	Метод табу пошуку	Метод табу пошуку	Метод локального пошуку
100x100	Метод жадібногo алгоритму	Метод жадібногo алгоритму	Метод табу пошуку	Метод табу пошуку	Метод табу пошуку

### Литература

1. Robert A. Murphey, Panos M. Pardalos and Mauricio G.C. Resende, Frequency Assignment Problems, Handbook of Combinatorial Optimization, Kluwer Academic Publishers, 1999.
2. A.E. Koller, S.D. Noble, Domination analysis of greedy heuristics for the frequency assignment problem. Department of Mathematical Sciences, Brunel University, 2003
3. S.M. Allen, D.H. Smith, S. Hurley, Lower bounding techniques for frequency assignment. Division of Mathematics and Computing, University of Glamorgan and Department of Computer Science, University of Wales, 1998