

Висновки

Результати експериментального дослідження бінарної системи (нижня крива позначена пунктиром на рис. 2) та 16-позиційної (верхня крива позначена пунктиром) з незначною похибкою повторюють теоретичні результати (суцільні криві), а отже, результат експерименту узгоджується з теорією у межах похибки, яку можна пояснити внутрішніми шумами системи прийому/передачі, зокрема в трактах ЦАП та АЦП [7]. З аналізу графіка (рис. 2) також зрозуміло, що зі збільшенням кількості позицій m зростає й імовірність помилки P , проте використання m -позиційних сигналів збільшує інформаційну ємність сигналу до величини $\log_2 m$ біт. Тому вибір кількості позицій сигналу є компромісом між швидкістю передачі та завадостійкістю.

1. Финк Л.М. Теория передачи дискретных сообщений. – М.: Советское радио, 1963.
2. Семенов А.М., Сикарев А.А. Широкополосная радиосвязь. – М.: Воениздат, 1970.
3. Пат. 32884 Україна, Н 04 В 7/00. Пристрій для передачі інформації M -позиційними шумовими сигналами / Лега Ю.Г., Первунінський С.М., Гузнін С.С.; заявник та власник Черкаський державний технологічний університет. – № 200713382; Заявл. 30.11.07; Опубл. 10.06.08, Бюл. № 11.
4. Тихонов В.И., Харисонов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. – М.: «Радио и связь», 1991. – 608 с.
5. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – 2-е изд., испр.; Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 1104 с.
6. Кинтцель Т. Руководство программиста по работе со звуком / Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2000. – 432 с.
7. McCarthy B. Sound systems: design and optimization. First edition. – NewYork: Focal Press, 2007. – 527 p.

УДК 621.3.006.357

Ю.Ю. Коляденко, Л.О. Токар

Харківський державний регіональний науково-технічний центр з питань ТЗІ

МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДУ РОЗПОДІЛУ ЧАСТОТНОГО РЕСУРСУ В УМОВАХ КОНВЕРСІЇ РАДІОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА

© Коляденко Ю.Ю., Токар Л.О., 2009

Розглянуто один зі шляхів розв'язання 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.

Вступ

Сьогодні кількість радіоелектронних засобів (РЕЗ) різного призначення перевищує можливості задоволення їх частотних потреб у смугах радіочастотного спектра, що традиційно використовуються. Зокрема, розгортання в Україні мереж стільникового зв'язку третього покоління (3G) зумовило актуальність робіт з забезпечення їх сумісного функціонування з мережами радіорелейних станцій та засобами авіаційного зв'язку у загальних смугах частот [1]. Одним зі шляхів розв'язання цієї задачі є вдосконалення методів частотного планування цих мереж з метою мінімізації кількості частотних каналів, що використовуються, під час виконання встановлених умов забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) [2].

Дослідження показують, що електромагнітний стан (ЕМО) у діапазонах частот, які відводяться для роботи стільниковим системам зв'язку (ССЗ) та засобам зв'язку військового призначення, відрізняється істотною динамічністю та нерівномірністю розподілу параметрів. В умовах збільшеної кількості РЕЗ ССЗ, з одного боку, та високих вимог до якості засобів зв'язку військового призначення, – з іншого, – задача забезпечення ЕМС стає як одне з основних обмежень конверсії радіочастотного спектра (РЧС).

Розробка методики частотного планування в угрупованнях ССЗ та засобів зв'язку військового призначення, що враховує умови забезпечення ЕМС на об'єктах і включає вимоги з мінімізації частотних присвоєнь, є актуальним завданням.

Основна частина

Задача мінімізації смуги частот формулюється так [3, 4]. Угруповання, що складається з N РЕЗ, яке розміщене в територіальному районі, задано матрицею взаємних видалень. Умови сумісного використання РЕЗ на цій території визначаються величиною частотно-територіального рознесення (ЧТР), яка є монотонно зростаючою функцією допустимого розладу робочих частот РЕЗ від їх взаємного видалення:

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

Початковими даними для знаходження цієї величини є обмеження на перешкоди по основному та неосновним каналам приймання.

Кожному i -му РЕЗ потрібно привласнити робочу частоту $f_i, i = 1, 2, \dots, N$ так, щоб під час виконання умов ЕМС займана ними смуга частот

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

була мінімальною і її значення відповідало заданій мінімальній частоті привласнюваної смуги f_{\min} :

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

За відомою матрицею взаємних видалень $\|d_{ij}\|$ та заданою величиною ЧТР (1) умови ЕМС РЕЗ можна записати у вигляді матриці допустимих частотних розладів між РЕЗ [5], елементи якої обмежують вибір робочих частот за допомогою співвідношень

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

Математичне формулювання цієї задачі можна подати в такий спосіб. В області, визначуваній обмеженнями (3) і (4), необхідно знайти такі значення змінних, за яких цільова функція (2) приймає якнайменше значення.

У [4] запропоновано розв'язок цієї задачі з використанням методів правильного розфарбовування N -вершинного графа. Проте, як було показано в [6], використання цих методів вимагає великих обчислювальних витрат і відповідно достатньо великого часу на розподіл частотного ресурсу. На етапі функціонування угруповання РЕЗ задачу розподілу частотного ресурсу необхідно розв'язувати в реальному масштабі часу з динамічною матрицею взаємних видалень $\|d_{ij}\|$.

Під час постановки і розв'язання оптимізаційних задач повинні бути чітко визначені три головні об'єкти [7]:

- критерій оптимізації або цільова функція, залежна від параметрів об'єктів, що оптимізуються;
- обмеження, що накладаються на ресурси і на саму задачу;
- область допустимих розв'язків, усередині якої здійснюється розв'язання самої оптимізаційної задачі.

У [8] запропонований алгоритм розв'язку задачі оптимального розподілу частотного ресурсу для фіксованих служб зв'язку, що має N^2 обчислювальну складність, що за достатньо великої швидкодії обчислювальної техніки дасть змогу розв'язувати цю задачу в реальному масштабі часу. Формалізація задачі мінімізації привласнюваної смуги частот у вигляді оптимізації на безлічі

перестановок дає змогу віднести її до області задач дискретного програмування. Серед наближених методів дискретного програмування, що складаються з евристичних алгоритмів і методу випадкового пошуку, перспективними з погляду точності розв'язку є методи випадкового пошуку з локальною оптимізацією.

У цьому випадку умовою локальної оптимальності є те, що привласнювана черговому РЕЗ робоча частота повинна бути найближчою до привласненої на попередньому кроці частоти за умови співвідношень (4).

Суть цього алгоритму полягає ось у чому. В результаті виконання k кроків алгоритму ($1 \leq k \leq N-1$) маємо такий розподіл частот $0 = f_{v_1} \leq f_{v_2} \leq \dots \leq f_{v_k}$, де v_i – номери АС, яким привласнені частоти f_{v_i} ($i = 1, \dots, k$). Тоді відповідно до умови локальної оптимізації номер v_{k+1} , черговий АС на $k+1$ кроці алгоритму, визначається із співвідношення

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

а її положення на частотній осі

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

Як початкова крапка v_1 вибирається довільний номер РЕЗ. Для виконання умови (3) задачі оптимізації смуги частот необхідно усі одержані частоти збільшити на f_{\min} , що не порушить виконання співвідношень (4).

Для аналізу запропонованого алгоритму (5) був проведений обчислювальний експеримент на ЕОМ.

Була розглянута ССЗ, яка використовує стандарт GSM-900. Стандарт GSM-900 передбачає роботу передавачів в двох діапазонах частот: 890...915 МГц (для передавачів рухомих станцій – MS) та 935...960 МГц (для передавачів базових станцій – BS). Стандарт GSM ґрунтується на методі множинного доступу з тимчасовим розділенням каналів (Time Division Multiple Access – TDMA). У структурі TDMA-кадру міститься вісім тимчасових позицій на кожній з 124 несучих [8]. Кожний діапазон частот має смугу $\Delta F = 25$ МГц. Ширина смуги каналу зв'язку $\Delta F_k = 200$ кГц. Дальність зв'язку базової станції становить близько 10–15 км.

При цьому визначалася мінімальна смуга для 124-частотних каналів в зоні обслуговування BS.

Для моделювання на ЕОМ координати розміщення MS вибиралися у випадковий спосіб за гауссовим законом розподілу. Приклад розміщення 124-х MS показано на рис. 1. Розрахунок матриці взаємних видалень $\|d_{ij}\|$ між MS проводився згідно з виразом

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

де d_{ij} – відстань від i -го елемента до j -го елемента; x, y, z – координати MS.

Матриця допустимих частотних розладів формувалася за допомогою матриці взаємних видалень $\|d_{ij}\|$ і функції частотно-територіального рознесення:

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

Відповідно до розглянутого алгоритму і функції ЧТР, розміщених у випадковий спосіб MS в просторі (рис. 1), проведено розподіл частотного ресурсу між 124 MS з відповідним привласненням ним частот. Приклад такого розподілу показано на рис. 2.

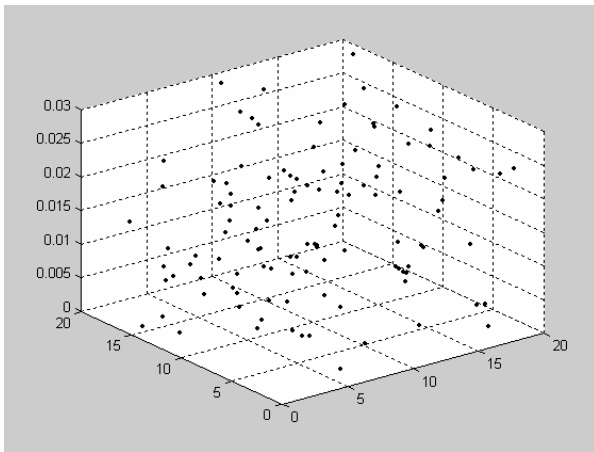


Рис. 1. Розміщення MS у зоні обслуговування BS

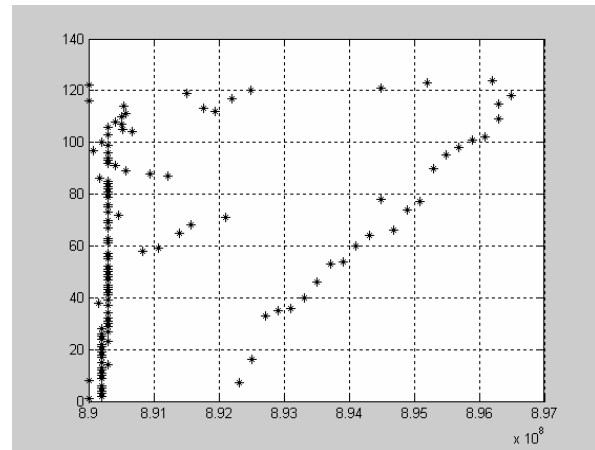


Рис. 2. Розміщення MS з відповідним привласненням частот

Аналіз рис. 2 показує, що смуга частот $\Delta F = 25$ МГц, виділена мобільним станціям, розміщеним в угрупованні РЕЗ, зменшилася до величини $\Delta F = 6,49$ МГц. Резерв незадіяної смуги частот 18,51 МГц дає змогу значно збільшити частотне рознесення між ССЗ і засобами авіаційного зв'язку.

Висновки:

1. Показано, що на етапі розвитку ССЗ актуальним є завдання ефективнішого використання займаного спектра частот. Сьогодні в умовах постійно зростаючого запиту на частотний ресурс постановка такого завдання обумовлена необхідністю раціональнішого розподілу радіочастотного ресурсу з застосуванням методу мінімізації займаної смуги частот.

2. Запропонований раціональніший з погляду обчислювальної складності алгоритм розв'язання задачі оптимального розподілу частотного ресурсу для ССЗ, розроблений на основі використання методу локальної оптимізації – одного з наближених методів дискретного програмування, що дає змогу зменшити частотне рознесення мобільних станцій за рахунок повторного використання робочих частот.

3. Проведений аналіз ефективності методу мінімізації займаної смуги частот на прикладі вживання алгоритму локальної оптимізації для ССЗ стандарту GSM-900. Аналіз показав, що звуження смуги частот як одного з методів підвищення використання радіочастотного спектра є прикладом комплексного підходу для виконання умов забезпечення ЕМС.

1. Варакин Л.Е. Сотовые системы подвижной связи // *Зарубежная радиоэлектроника*. – 1986. – № 2. 2. Теория и методы оценки электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / Ю.А. Феоктистов, В.В. Матасов, Л.И. Башурин и др.; Под ред. Ю.А. Феоктистова. – М.: Радио и связь, 1988. – 216 с. 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 В.Н. Spectrum management technique presented at the 38-th National ORSA Meeting, Detroit, MI, Fall, 1970. 4. Бессонов А.П., Кокурин И.В., Тигин Л.В., Швецова Н.Ю. Пожиряющий 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. 7–13.