

**К.т.н., доцент Орлова М.М., к.т.н., доцент Сапсай Т.Г.,  
магістрант Лисюк В.В.**

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»**

## **СПОСОБИ ЧАСТОТНО-ТЕРИТОРІАЛЬНОГО ПЛАНУВАННЯ МОБІЛЬНИХ WiMAX МЕРЕЖ**

### **Вступ**

На сьогодні системи мобільного зв'язку не можуть повною мірою задовольнити зростаючі потреби високошвидкісного широкосмугового мобільного доступу. Технологія WiMAX дозволяє вирішити цю проблему. Швидкість передачі даних у мережах WiMAX досягає 100 Мбіт/с, на відміну від GSM-мереж, де швидкість передачі вимірюється сотнями кбіт/с і UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) мереж, де швидкість не перевищує 10 Мбіт/с. Як і для будь-якої іншої системи мобільного зв'язку, для системи стандарту IEEE 802.16e (повна назва IEEE 802.16e-2005) на етапі підготовки до її розгортання постає проблема частотно-територіального планування (ЧТП).

Проблемами ЧТП займаються багато міжнародних організацій, зокрема Центр технологій збору, обробки й передачі інформації Конрад-Цузе (Konrad-Zuse) у Берліні [1]. На сайті цього центру, присвяченому ЧТП, міститься загальна інформація про завдання ЧТП і методи їх вирішення, представлені досягнення центру в галузі ЧТП, однак інформація про досягнення в галузі ЧТП систем технології WiMAX відсутня. На сайті також наведена бібліографію джерел, присвячених ЧТП, що випускають як у Німеччині, так і за її межами. Серед цих джерел не було знайдено тих, які стосуються планування в мережах WiMAX. Це, очевидно, пов'язане з тим, що технологія WiMAX є молодого, і дослідження в цій галузі на даний момент не завершені.

Також в Інтернеті вдалося виявити програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати ЧТП систем технології WiMAX. Ця розробка називається «ICS Telecom» і належить французькій компанії ATDI SA [2]. Вивчення технічної документації програми показало, що вона дозволяє проводити ЧТП у мережах WiMAX генетичним методом. Доцільність використання генетичного методу в опублікованих даних не розкрито.

Виходячи з викладеного, можна зазначити, що задача дослідження ефективності методів ЧТП для системи мобільного широкосмугового зв'язку на основі стандарту WiMAX є актуальною.

### **Постановка задачі**

Метою роботи є:

- проаналізувати сімейство стандартів WiMAX (IEEE 802.16), яке включає стандарт мобільного зв'язку IEEE 802.16e-2005;
- розглянути проблему ЧТП для систем мобільного зв'язку та методи їх вирішення;
- дослідити ефективність існуючих методів ЧТП.

### **Задачі частотно-територіального планування**

Частотно-територіальне планування має на меті вирішення двох основних задач: вибору місця розташування базових станцій (БС) мережі й призначення частот цим базовим станціям. Вирішення першої задачі найчастіше отримують з умови рівномірності покриття мережею необхідної території й адміністративної можливості установки станцій на обраних місцях. Вирішення задачі призначення частот зводиться до пошуку такого розподілу частот по базових станціях, при якому відсоток території, покритої із заданою якістю, був би максимальним. Для цього використовуються спеціальні методи частотного планування, які дають можливість мінімізувати інтерференції в мережі та звузити діапазон частот в мережі.

### **Методи частотно-територіального планування**

На сьогодні існує декілька методів ЧТП, переваги та недоліки яких були досліджені внаслідок розвитку мереж мобільного зв'язку [3, 7].

Метод послідовного призначення – це покроковий метод, що складається із трьох головних кроків: сортування, вибір БС, для якої буде зроблене призначення частоти, призначення частоти обраний БС. Кожен крок можна виконувати декількома способами, комбінуючи які можна отримати різні методи послідовного призначення. Методи послідовного призначення дозволяють розв'язати задачу призначення частот без порушення заборон за прийнятний проміжок часу (звичайно хвилини або навіть секунди), результати їх роботи залежить від конкретних умов постановки задачі.

Методи вичерпного пошуку (також відомі як методи повного перебору) можуть вирішувати задачу заповнення чітко виділеного діапазону частот або ж доводити, що такого рішення не існує. Ці методи

використовуються для вирішення нескладних задач (складність при цьому визначається не тільки кількістю передавачів, але й кількістю та ступенем заборон між ними), для складних задач ці методи практично не використовуються. Існує два методи вичерпного пошуку: бек-трекінг та форвард-чекін. У порівнянні з бек-трекінгом, форвард-чекін працює більш ефективно тому, що якщо призначення частот за даних умов неможливо, форвард-чекін визначить це набагато швидше.

Метод імітації відпаду має пряму аналогію з термодинамічними процесами в матеріалознавстві. Для вирішення математичних задач оптимізації даним методом, потрібно визначити наступні елементи: опис можливих конфігурацій системи, тобто деякі шляхи подання рішень завдання мінімізації або максимізації, генератор внесення випадкових змін у конфігурацію, оцінювальну функцію  $E(X)$  (аналог енергії), мінімізація якої – ціль процедури, контрольований параметр  $t$  (аналог температури), і план «загартування», що показує зміни  $t$  від однієї границі до іншої.

Для ЧТП оцінювальна функція  $E$ , що мінімізується, формується таким чином, що декілька факторів можуть бути мінімізованими: кількість порушених заборон ( $e_{vio}$ ), різниця між найбільшою ( $f_{large}$ ) і найменшою ( $f_{small}$ ) використовуваними частотами, кількість використаних частот ( $e_{order}$ ), найбільша використана частота ( $f_{large}$ ), найбільш грубе порушення заборони ( $l_{vio}$ ). Таким чином, потрібно мінімізувати функцію:

$E = \mu_1 e_{vio} + \mu_2 (f_{large} - f_{small}) + \mu_3 e_{order} + \mu_4 f_{large} + \mu_5 l_{vio}$ , де  $\mu_i$  означає вагу, що відображає важливість факторів один відносно одного і може набувати значень від нуля до одиниці. Найчастіше найважливішими є перші два фактори. Якщо вага дорівнює нулю - фактор не враховується.

Метод пошуку табу досліджує область всіх можливих рішень, використовуючи певну послідовність ходів. З метою запобігання потраплянню в локальні оптимуми і зациклення деякі ходи на певній ітерації оголошуються забороненими. Накладання заборон на ходи здійснюється на основі аналізу короткотермінові й довготермінові історії ходів (так званої пам'яті).

Метод пошуку екстремуму. При цьому методі спочатку генерується випадковий розподіл частот базовим станціям. Для цього розподілу обчислюється значення оцінювальної функції та записується в спеціальну змінну. Далі кожній базовій станції поступово присвоюються всі доступні частоти. Для кожного розподілу також визначається значення оцінювальної функції, і якщо воно менше ніж розраховане на попередньому кроці, воно записується у спеціальну змінну, створену раніше. Алгоритм припиняє свою роботу тоді, коли після його проходження через всі БС мережі, значення спеціальної змінної, призначеної для збереження мінімальної енергії, отриманої на минулих кроках, не зміниться.

Генетичний метод. Спочатку рішення представляється як ланцюжок генів, які можуть набувати значень з певного діапазону або алфавіту. Цей ланцюжок генів зветься хромосома. Вихідна популяція допустимих хромосом задається випадковим чином. У кожному поколінні вимірюється витривалість кожної хромосоми. Після цього вибираються найбільш витривалі хромосоми для здійснення переходу до наступного покоління, що успадкує найкращі характеристики від своїх батьків. Після багатьох ітерацій вище описаного процесу, одержуємо результат - покоління, яке є більш живучим, ніж попереднє. Для ЧТП число базових станцій, яким потрібно призначити частоти, позначається як  $N$  і приймається рівним довжині хромосоми. Значення кожного елемента (гена) у хромосомі дорівнює частоті, що присвоєна відповідній базовій станції.

### **Модифікований генетичний метод**

У генетичному методі оператори схрещування однієї та двох точок вибирають точку схрещування випадковим чином. У роботі запропонована модифікація генетичного методу, у якій точки схрещування вибираються там, де порушуються заборони. Таким чином, до наступної популяції гарантовано переходить один корисний ген - у випадку використання оператора однієї точки, і два корисні гени - у випадку використання оператора двох точок відповідно. Дана модифікація дозволяє збільшити ефективність генетичного методу за критерієм покриття території із заданою якістю.

### **Застосування результатів**

Робота може бути використана для оцінки ефективності застосування методів ЧТП та вибору конкретного методу на стадії проектування системи мобільного зв'язку на основі стандарту WiMAX. Також результати роботи можуть бути корисні для первинного ознайомлення із частотно-територіальним плануванням у системах мобільного зв'язку.

### **Висновки**

Проаналізовані декілька методів ЧТП. Аналіз отриманих результатів показав, що за часом розрахунку і відсотку території, покритої із заданою якістю, найбільш ефективним є метод послідовного призначення, але він значно програє іншим за шириною смуги частот. За заданою шириною смуги частот найефективнішим є генетичний метод, але він програє іншим розглянутим методам за відсотком території, яку покриває із заданою якістю. Метод імітації відпалу показав середні результати і є компромісом

між двома іншими розглянутими методами. Запропоноване вдосконалення генетичного методу дає змогу збільшити його ефективність за критерієм відсотка покриття території із заданою якістю.

Дослідження ефективності методів ЧТП для мобільних мереж WiMAX потребує подальшого глибшого вивчення і аналізу. Необхідно проаналізувати поведінку алгоритмів при реальному застосуванні. У зв'язку з актуальним розвитком мобільних мереж WiMAX, потрібно досліджувати нові методи, які можна застосувати для ЧТП (наприклад, нейронні мережі) та модифікувати існуючі.

## Література

1. <http://fap.zib.de>
2. <http://www.atdi.com/icstelecom.php>
3. *Сюваткин В.С. и др.* WiMAX – технология беспроводной связи: основы теории, стандарты, применение. / Под ред. В.В. Крылова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 368с.
4. *M.B. Cozzens, D-I Wang.* The general channel assignment problem // *Congressus Numerantium*, 1998. – P. 115-129.
5. *W.K. Hale.* Frequency assignment: theory and applications // *Proc. IEEE*, 2000. – P. 1497-1514.
6. [http://www.wimaxforum.org/news/downloads/Mobile\\_WiMAX\\_Part1\\_Overview\\_and\\_Performance.pdf](http://www.wimaxforum.org/news/downloads/Mobile_WiMAX_Part1_Overview_and_Performance.pdf).
7. *Smith. D.H.* Frequency assignment algorithms // *Radiocommunications agency agreement., Ref. RCCM 070 Final Report Year 2 1996/97.*