

# АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЧАСТОТНОГО ПЛАНУВАННЯ В МЕРЕЖАХ СТАНДАРТУ IEEE 802.16

Лемешко О.В., Гаркуша С.В., Ахмед Х. Абед

Кафедра телекомунікаційних систем, Харківського національного університету радіоелектроніки, Харків, Україна, E-mail: avlem@mail.ru, sv.garkusha@mail.ru, Ahmed\_Hassan1829@yahoo.com

**Анотація** – У статті представлена математична модель розподілу підканалів в мережах стандарту IEEE 802.16 із застосуванням масштабованого варіанту OFDMA. Використання коефіцієнта масштабування направлено на вибір мінімальної ширини частотного каналу, що задовольняє вимогам щодо пропускної спроможності.

**Ключові слова** – WiMAX, безпроводова мережа, математична модель, підканал.

## I. Вступ

В результаті проведених досліджень встановлено, що одним з найбільш ефективних підходів щодо підвищення продуктивності і поліпшення основних показників якості обслуговування (Quality of Service, QoS) систем, що використовують технологію WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), заснованої на стандарті IEEE 802.16 [1, 2] є принципи структурної самоорганізації, а саме рішення з частотного планування.

Більшість відомих рішень з частотного планування, направлено на вирішення задачі розподілу піднесучих. Частотна піднесуча є первинною структурною одиницею OFDM, логічне об'єднання яких формує елемент частотного ресурсу, що має назву підканалу. Кількість піднесучих в підканалі фіксована і залежить від режиму зв'язку, що використовується. Група підканалів в свою чергу формує частотний канал. В результаті цього завдання частотного планування повинно зводитися до задачі розподілу підканалів між користувацькими станціями (КС) мережі.

## II. Аналіз відомих рішень

Проведений аналіз показав, що більшість відомих підходів з частотного планування ґрунтується на вирішенні задачі розподілу піднесучих між КС безпроводової мережі. Однак використання частотних піднесучих для вирішення задачі розподілу частотного ресурсу мережі не завжди дозволяє виконати вимоги до особливостей формування частотного каналу технології WiMAX. Також в проаналізованих роботах розподіл піднесучих проводиться в рамках попередньо обраного частотного каналу, ширина якого визначається оператором зв'язку або виробником обладнання. Даний підхід може бути застосований у стандартах IEEE 802.16a і IEEE 802.16d, що використовують схему OFDMA з фіксованим «вікном» швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) розміром 2048 піднесучих з робочою смугою каналу 20 МГц. Але у зазначених стандартах відсутня можливість масштабування. Під масштабуванням розуміють можливість вибору ширини смуги використовуваного частотного каналу при зміні умов функціонування системи. В результаті цього у разі відсутності масштабування – відсутня можливість пошуку мінімально необхідної ширини частотного каналу для вирішення поставленого завдання. Тому основна увага у проведених дослідженнях була спрямована на розробку математичної моделі розподілу підканалів між КС безпроводової мережі з використанням масштабованого варіанту OFDMA. До таких стандартів належить IEEE 802.16e. Такий підхід дозволяє провести вибір необхідної ширини каналу для вирішення поставленої задачі.

Також аналіз відомих рішень дозволив визначити наступні вимоги до перспективних рішень в цій області:

- орієнтація на вирішення задачі розподілу підканалів;
- інваріантність до розглядаємої топології широкосмугової безпроводової мережі;
- орієнтація на переважно динамічний характер вирішення задачі розподілу підканалів;
- облік типу і характеру циркулюючого в безпроводовій мережі трафіку;
- орієнтація на максимізацію продуктивності безпроводової мережі в цілому і на поліпшення інших показників якості обслуговування;
- облік технологічних особливостей безпроводової мережі, які визначають кількість підканалів в одному частотному каналі, кількість піднесучих в підканалі і т.п.

## III. Математична модель розподілу підканалів в безпроводовій мережі стандарту IEEE 802.16

З урахуванням вищесказаного, у запропонованій моделі розподілу підканалів передбачаються відомими наступні вихідні дані:

- 1)  $N$  – загальна кількість КС в мережі;
- 2)  $K$  – множина можливих значень числа підканалів в залежності від ширини частотного каналу. Використовується в якості коефіцієнта масштабування;
- 3)  $R_{mp}^n$  – необхідна швидкість передачі даних для обслуговування  $n$ -ї КС (Мбіт/с).
- 4)  $R$  – пропускна спроможність одного підканалу. Пропускна спроможність підканалу ( $R$ ) може бути визначена за формулою [3]:

$$R = R_c k_b K_s \Delta f, \quad (1)$$

де  $R_c$  – швидкість коду, використовуємого при кодуванні сигналу [4];  $k_b$  – рівень модуляції [3];  $K_s$  – число піднесучих для передачі даних в одному підканалі;  $\Delta f \approx 11,16$  КГц – частотний рознос між піднесучими.

Визначення ширини частотного каналу виробляється відповідно з коефіцієнтом масштабування. У свою чергу визначення коефіцієнта масштабування проводиться в результаті розрахунку необхідної кількості підканалів з метою виконання вимог по швидкості передачі для кожної з КС. Необхідна кількість підканалів для  $n$ -ої КС визначається з виразу:

$$H_n = \left\lceil R_{mp}^n / R \right\rceil, \quad (2)$$

де  $\left\lceil R_{mp}^n / R \right\rceil$  – операція пошуку найменшого цілого більшого або рівного  $R_{mp}^n / R$ .

Сумарна кількість підканалів, необхідна для виконання вимог щодо швидкості передачі для всіх КС, визначається згідно виразу

$$H = \sum_{n=1}^N H_n. \quad (3)$$

Вибір значення коефіцієнта масштабування проводиться шляхом пошуку мінімальної ширини каналу з кількістю

підканалів, що перевищує значення  $H$ . Для цього може бути використано вираз

$$L = \min \{s \in K | s \geq H\}. \quad (4)$$

У ході вирішення задачі розподілу підканалів в рамках запропонованої моделі ПС мережі необхідно забезпечити розрахунок булевої керуючої змінної:

$$x_n^l = \begin{cases} 1, & l\text{-й підканал виділений } n\text{-ій КС;} \\ 0, & \text{в протилежному випадку.} \end{cases} \quad (5)$$

При цьому загальне число керуючих змінних залежить від кількості КС в мережі, використовуємих підканалів  $i$ , відповідно, буде визначатися виразом  $N \times L$ , де  $L$  - кількість підканалів у використовуємому каналі. Результат розрахунку змінних (5) дозволить провести закріплення підканалів за КС, по яких будуть передаватися дані в напрямку від БС. Крім того, при розрахунку шуканих змінних  $x_n^l$  необхідно виконати ряд важливих умов-обмежень:

1) Умова того, що  $l$ -й підканал виділений тільки одній КС:

$$\sum_{n=1}^N x_n^l \leq 1 \quad (l = \overline{1, L}); \quad (6)$$

2) Умова того, що  $n$ -й КС буде гарантована необхідна швидкість обслуговування:

$$R_c k_b K_s \Delta f \sum_{l=1}^L x_n^l \geq R_{mp}^n \sigma. \quad (7)$$

Доцільно, щоб у процесі розв'язання задачі розподілу підканалів між КС мережі також існувала можливість вирішення часткових задач, пов'язаних із збільшенням продуктивності безпроводової мережі, або економією частотного ресурсу. З цією метою введемо умову-обмеження, що дозволяє вирішити ці часткові задачі.

3) Умова забезпечення максимальної продуктивності безпроводової мережі в рамках виділеного частотного діапазону:

$$\sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N x_n^l = L \quad (8)$$

Розрахунок шуканих змінних (1) відповідно до умов-обмежень (6), (7) і (8), доцільно здійснювати в ході вирішення оптимізаційної задачі, забезпечуючи мінімум або максимум попередньо обраного критерію якості вирішення задачі розподілу підканалів в безпроводовій мережі стандарту IEEE 802.16.

Так, з метою рівномірного підвищення загальної продуктивності безпроводової широкопasmової мережі, критерій оптимальності може бути представлений у вигляді:

$$\min \max \left\{ \sum_{l=1}^L x_1^l - H_1; \sum_{l=1}^L x_2^l - H_2; \dots; \sum_{l=1}^L x_N^l - H_N \right\}, \quad (10)$$

при врахуванні умов-обмежень (6), (7) і (8).

Крім того задача розподілу підканалів може бути вирішена з використанням критерію оптимальності, направленою на поліпшення сигнально-завадової обстановки у використовуємому діапазоні частот, а також забезпечення економії частотного ресурсу. В результаті цього критерій оптимальності прийме вигляд:

$$\min \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N x_n^l. \quad (11)$$

Сформульована задача з математичної точки зору є задачею цілочисельного лінійного програмування - LIP. У

моделі шукані змінні  $x_n^l$  (5) є булевими, змінна, використовуєма в критеріях оптимальності (10) і (11), є цілочисельною, а обмеження (6), (7), і (8) на шукані змінні мають лінійний характер.

#### IV. Висновки

На підставі вимог, висунутих до перспективних рішень в області розподілу підканалів в широкопasmових безпроводових мережах стандарту IEEE 802.16, запропонована математична модель, представлена рядом лінійних умов-обмежень. Новизна моделі полягає у використанні масштабованого варіанту OFDMA, а також формулюванні задачі частотного планування, як завдання розподілу підканалів з жорстко закріпленим числом піднесучих в кожному з них. Крім того, в ході розподілу підканалів гарантується необхідна швидкість передачі даних для кожної з КС, шляхом виділення необхідної кількості підканалів.

#### V. Список літератури

- [1] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, IEEE Std 802.16-2004, Oct. 1, 2004.
- [2] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems, IEEE Std 802.16e-2005, Feb. 28, 2006.
- [3] Ермолаев В.Т. Флакман А.Г. Теоретические основы обработки сигналов в системах мобильной радиосвязи. Нижний Новгород: НГУ им. И.Н. Лобачевского, 2010. – 107 с.
- [4] Гепко И.А., Олейник В.Ф., Чайка Ю.Д., Бондаренко А.В. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития. – К.: «ЕКМО», 2009. – 672 с.

### ANALYSIS OF RESULTS FREQUENCY PLANNING THE NETWORK STANDARD IEEE 802.16

Lemeshko O.V., Garkusha S.V., Ahmed H. Abed  
Department of the Telecommunication Systems, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

Found that one the basic tasks of broadband wireless networks, IEEE 802.16 standard is the problem of the distribution of sub-channels between the user stations. In this regard, analyzed existing models and methods of allocation of frequency resources in the broadband wireless standard IEEE 802.16. Based on an analysis of known models of frequency planning in the broadband wireless network standard IEEE 802.16 is established that the solution of the frequency distribution of the resource does not include the use of a scaled version of OFDMA, which is available in the IEEE 802.16e. Decision was made on the need to develop a mathematical model allowing eliminate this shortcoming. Also as a result of analysis formulated the demands made to the prospective solutions in the area subchannel allocation in broadband wireless networks standard IEEE 802.16

Based on the these requirements proposed a mathematical model submitted by a number linear conditions- restrictions. The novelty of the model is to use the scaled version of OFDMA, and also formulation of the problem of frequency planning as the subchannel allocation problem with a fixed number of subcarriers in each of them.

In addition, in the course subchannel allocation is guaranteed the required data rate for each of the user stations by allocating the required number of sub-channels. Formulated problem from the mathematical point of view, is the integer linear programming problem – ILP.