

УДК 004.891

д.т.н., проф. **Ленков С.В.** (ВІКНУ)
к.т.н., доц. **Хмельницький Ю.В.** (ХмНУ)
Гика В.А. (ХмНУ)

АДАПТИВНИЙ ПОДІЛ КАНАЛІВ В БАГАТОКОРИСТУВАЦЬКИХ БАГАТОЧАСТОТНИХ СИСТЕМАХ

В статті був представлений адаптивний метод передачі для багатокористувацьких систем. Запропонований принцип оцінки пропускної здатності адаптивних систем, що функціонують в умовах каналу з випадковими незалежними передавальними коефіцієнтами, що дозволяє оцінити характеристики системи в області малих відношень сигнал/шум без використання імітаційного моделювання.

Для багатокористувацької системи був запропонований метод адаптивного розподілення потужності, швидкості передачі і кодового розділення каналу.

Ключові слова: багаточастотна система, канал передачі даних, адаптивне розділення.

Вступ. Більшість існуючих адаптивних методів передачі потребує наявності кількох схем передачі, придатних для використання в різних умовах. При цьому збільшення числа доступних схем дозволяє отримати рішення оптимізаційної задачі. Відомі методи адаптивної

передачі в багаточастотних системах в більшості випадків засновані на адаптивній модуляції. Застосування адаптивного кодування, як правило, зводиться до розгляду схем матрично кодованою модуляцією.

Постановка проблеми. Сьогодні користувачі можуть за допомогою кодового розділення спільно використовувати канали багаточастотної системи або їх блоки (смуги), що складаються з суміжних каналів. Зауважимо, що кожен з K користувачів системи може бути призначений на довільний набір каналів (смуг) і на кожній з них використовувати довільний набір (розміром від нуля до S) розширюючих послідовностей. При цьому різні користувачі, призначені на даний канал, повинні використовувати різні розширюють послідовності.

Це дозволяє розглядати кожен їхній N/SF каналів (смуг) як набір з S логічних каналів з ідентичними властивостями. Тут передбачається, що смуги складаються з суміжних каналів. Нижче буде наведено, що наявність цього обмеження не приводить до яких-небудь серйозних втрат в характеристиках системи. Разом з тим, це обмеження може бути усунуто шляхом переупорядкування коефіцієнтів $m_{ki}^{(j)}$. Зауважимо, що тимчасовий поділ є окремим випадком кодового розділення з розширюючими послідовностями виду $a_1 = (0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)$. У випадку $S_f = 1$ та стаціонарного каналу ($m_{ki}^{(j)} = m_{ki}$) тип використовуваних послідовностей не має значення. Однак при наявності тимчасових змін стану каналу або $S_f > 1$ застосування "істинно" кодового розділення може дати ефект розсіювання [1].

Виклад основного матеріалу досліджень. Для простоти розглянемо систему $S_f = 1$. Нехай $c_{ki} \in [0, 1]$ означає частку i -того каналу, займану k -м користувачем, $i = 0..N-1, k = 0..K-1$. Ця величина відповідає частці розширюваних послідовностей, використовуваних k -м користувачем по i -му каналу. Нехай s_{ki} означає швидкість передачі даних k -м користувачем по i -му каналу, а V_{ki} - відповідний коефіцієнт підсилення. Необхідно відзначити, що посиленню піддаються формовані користувачами символи до того, як вони накладаються, утворюючи власне переданий сигнал S_i [3] (див. рис. 1).

Припустимо, що повністю відсутня проміжна користувацька інтерференція, що може бути досягнуто при ідеальній синхронізації базової станції і мобільних пристроїв. У разі кодового розділення для цього додатково потрібно незмінність каналу в часі і ортогональність використовуваних розширюючих послідовностей (такими, наприклад, є послідовності Уолша-Адамара).

Спочатку використаємо кодове розділення каналів на основі ортогональних розширюючих послідовностей (наприклад, Уолша-Адамара) довжини $S_t = S$. Це означає, що безліч допустимих коефіцієнтів поділу каналів має вигляд $c_{ki} \in \{0, 1/S, \dots, (S-1)/S, 1\}$. Разом з тим, в нижчевикладених формулах передбачається, що $c_{ki} \in R$. Ясно, що шляхом збільшення S точність оптимізації може бути підвищена.

$$0 = (v_i^{(k)} - v_i) c_{ki}, \quad (1)$$

$$R_k = \sum_{i=0}^{N-1} c_{ki} f^{-1}(l_k o_{ki}), \quad (2)$$

$$1 = \sum_{k=0}^{K-1} c_{ki}, \quad (3)$$

$$v_i \leq v_i^{(k)} = \frac{f(f^{-1}(l_k o_{ki})) - l_k o_{ki} f^{-1}(l_k o_{ki})}{o_{ki}}. \quad (4)$$

Для побудови спеціалізованого оптимізаційного алгоритму зауважимо, що з (2) випливає, що для заданого набору $\{c_{ki}\}$ l_k може бути однозначно знайдено з R_k . З іншого

боку, як було показано в [2], з (1) випливає, що v_i повинно бути рівне $\min_k v_i^{(k)}$ і тільки користувачі з $v_i^{(k)} = v_i$ можуть використовувати канал i .

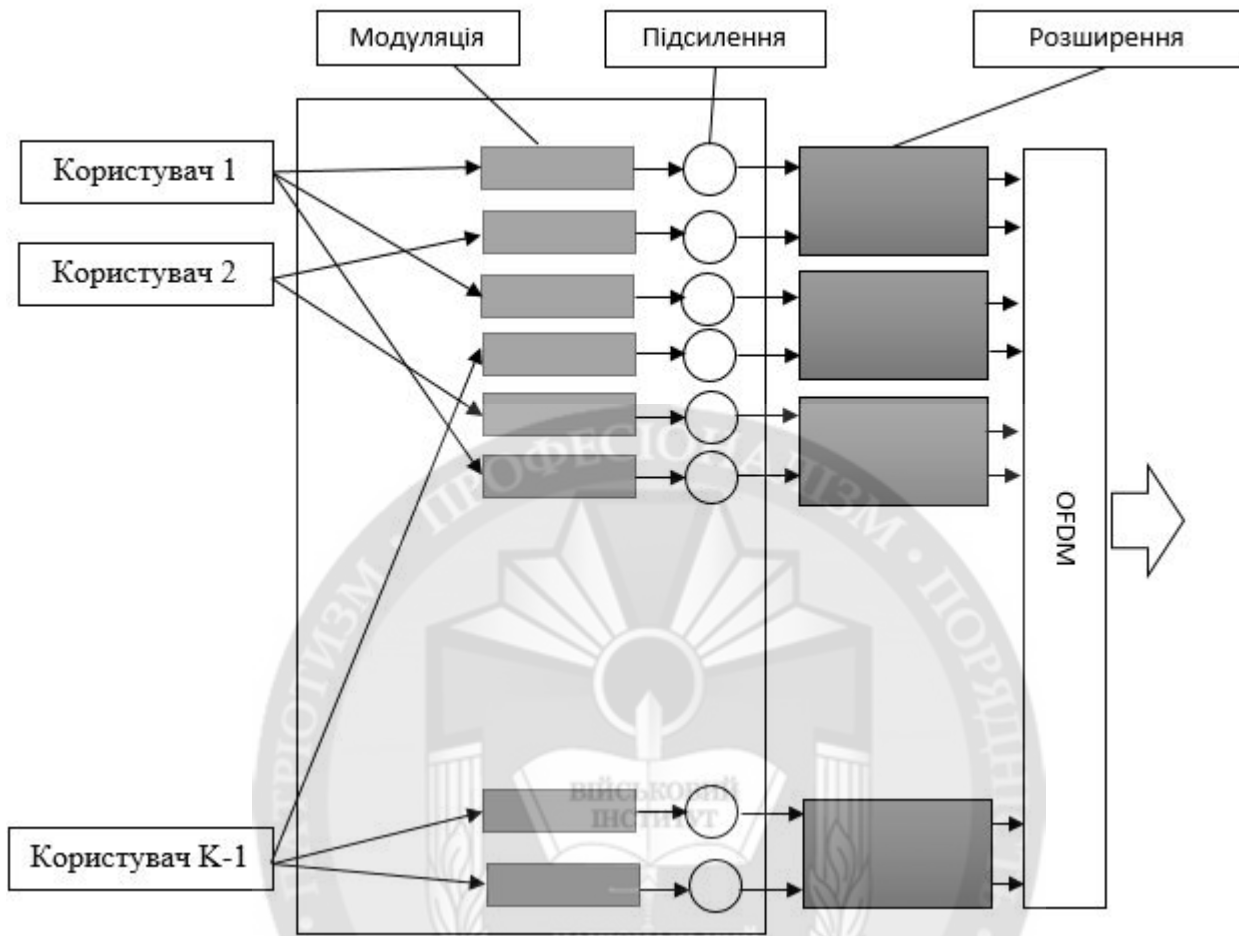


Рис. 1. Загальний вигляд системи для оптимізації

Тому величина $v_i^{(k)}$ я може розглядатися як міра непридатності користувача k для роботи по каналу i . Використовуючи цей факт, можна побудувати наступний алгоритм:

1. Сформувати початковий набір $\{c_{ki}\}$.
2. Обчислити l_k із (2) і підставити це значення в (4), отримавши $v_i^{(k)}$.
3. Знайти найгірший канал i найгіршого користувача, призначеного на цей канал $(i_{\text{ш}}, k_{\text{ш}}) = \arg \max_{i, k: c_{ki} > 0} (v_i^{(k)} - v_i)$ а також найкращого користувача $k_b = \arg \min_k v_i^{(k)}$.
4. Зменшити частку $\rho_{k_\omega}, i_\omega$ каналу i_ω , займану користувачем k_ω , на $1/S$ і збільшити частку ρ_{k_b}, i_ω , займану користувачем k_b , на цю ж величину.

5. Повторювати кроки 2 - 4 задане число разів. Обчислення можуть бути припинені достроково, якщо протягом декількох кроків не відбувається зменшення величини

$$D = \max_{i, k: c_{ki} > 0} (v_i^{(k)} - v_i).$$

6. Скористатися якимось алгоритмом оптимізації однокористувацьких багаточастотних систем для знаходження розподілу потужності переданого сигналу і швидкостей передачі по каналу, виділеним кожному користувачеві.

Примітка. Зауважимо, що на кожній ітерації алгоритму достатньо оновлювати значення λ_k лише для $k = k_{ш}$ та $k = k_b$.

Крок 6 може бути корисний виключно для забезпечення більш точного обліку дискретних обмежень на відношення швидкість кодування/модуляції для окремих каналів.

Описаний алгоритм мінімізує величину Δ , пов'язану з максимальною нев'язкою рівняння (1). При цьому автоматично враховується дискретність безлічі допустимих коефіцієнтів поділу каналів.

Початковий розподіл користувачів по каналу може бути отримано, наприклад, наступним чином. Для кожного користувача можуть бути знайдені найкращі канали і для них встановлено $c_{ki} = d > 0$. Ті канали, які не увійшли в число найкращих ні для одного користувача, можуть бути призначені, наприклад, користувачам із найкращим відношенням канал/шум на них. При цьому повинна виконуватися умова нормування (3).

Даний алгоритм не спирається на "невеликі константи", що використовуються в алгоритмі Вонга[2] для ініціалізації та оновлення множників Лагранжа λ_k виявляється, що їх вибір істотно впливає на саме рішення і складність алгоритму. Крім того, запропонований алгоритм реалізує іншу структуру ітеративного процесу: виконується підстроювання коефіцієнтів поділу каналів до досягнення ними умов оптимальності, в той час як в алгоритмі Вонга[2] здійснюється підстроювання констант λ_k .

Іноді описаний алгоритм стикається з тією ж проблемою, що й стандартні ітеративні алгоритми оптимізації, а саме виникненням коливань на кроці 4. У цьому випадку кілька користувачів циклічно обмінюються підканалами, що перешкоджає досягненню оптимального рішення. Причиною цього є те, що передача частки каналу від одного користувача до іншого може незначно поліпшити умови роботи першого користувача і суттєво погіршити показники другого користувача, внаслідок чого на наступній ітерації алгоритму буде проведений зворотний обмін. Ця проблема може бути подолана, за допомогою стандартного прийому "згладжування"[5]. В даному випадку він може бути реалізований шляхом примусової заборони на вибір на кроці 3, в якості "найгірших" користувачів, які були обрані на попередніх W ітераціях в якості "найкращих".

Точний теоретичний аналіз адаптивної багатокористувацької системи виявляється досить складним завданням, що обумовлено ускладненням системи рівнянь (1-4) у порівнянні з аналогічною системою в одно користувацькому випадку. З огляду на те, що рішення оптимізаційної задачі залежить не тільки від передавальних коефіцієнтів, а й від їх співвідношення для різних користувачів, тут вже не можна безпосередньо скористатися апаратом порядкових статистик. У зв'язку з цим виникає необхідність введення додаткових спрощених припущень. Припустимо, що передача даних кожного з користувачів досить мала, так що кожен з них використовує невелике число найкращих каналів. Крім того, можна припустити, що передавальні коефіцієнти каналів для різних користувачів незалежні. Тоді безліч їх найкращих каналів також будуть незалежними. Отже, ймовірність збігу каналів, використовуваних різними користувачами, досить мала[4]. Нехай $P(R)$ - функція, що характеризує потужність передавача одно користувацької системи, необхідної для передачі даних зі швидкістю R . Тоді загальна потужність передавача системи мовлення може бути оцінена як (5).

$$P(R_1, \dots, R_k) \geq \sum_{k=1}^K P(R_k) \quad (5)$$

Ця межа не враховує ефектів, пов'язаних з можливим збігом множин найкращих каналів різних користувачів. Числові значення цієї межі для випадку системи з 512 підканалами і $\Gamma \approx 2$, 66 представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Числові значення для мережі(система з 512 підканалами)

Число користувачів	4	8	16	32	64	4	8	16	32
Швидкість кожного з користувачів R, біт/OFDM символ	16	16	16	16	16	256	128	64	32
Потужність в одно користувачській системі P_0 , дБ	-17	-17	-17	-17	-17	-1	-5	-10	-13
Оцінка мінімальної споживаної потужності, дБ	-11	-8	-5	-2	1	5	4	2	2

Використана методика оцінки спирається на можливість точного обчислення спектральної ефективності адаптивної системи в області малих відносин сигнал/шум.

Висновок. У цій статті був представлений адаптивний метод передачі для багатокористувацьких систем. Крім того, запропонований принцип оцінки пропускної здатності (а також спектральної ефективності) адаптивних систем, що функціонують в умовах каналу з випадковими незалежними передавальними коефіцієнтами, що дозволяє оцінити характеристики системи в області малих відношень сигнал/шум без використання імітаційного моделювання. Для випадку багатокористувацької системи був запропонований метод адаптивного розподілення потужності, швидкості передачі і кодового розділення каналу, що дозволяє, отримати енергетичний вигравш до 5 дБ у порівнянні з аналогічною системою на основі частотного поділу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Васильев Ф. П. Методы оптимизации. – М.: Факториал, 2002. – 824 с.
2. Wang X., Liu K. J. R. Adaptive channel estimation using cyclic prefix in multicarrier modulation system // IEEE Communications Letters. – 1999. – October. – № 3
3. Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, bit, and power allocation / C. Y. Wong, R. S. Cheng, K. B. Letaief, R. D. Murch // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 1999. – October. – Vol. 17, № 10.
4. Гилязов Р.Л., Столбов В.Ю. Проектирование распределительного уровня мультисервисной сети связи с учетом конфликтных интересов различных групп пользователей. /Телекоммуникации. 2008. №11.
5. Adaptive modulation systems for predicted wireless channels / S. Falahati, A. Svensson, T. Ekman, M. Sternad // IEEE Transactions on Communications. – 2004. – February. – Vol. 52, № 2.

Без рецензії.

д.т.н., проф. Ленков С.В., к.т.н., доц. Хмельницький Ю.В., Гика В.А.
**АДАПТИВНИЙ ПОДІЛ КАНАЛІВ В БАГАТОКОРИСТУВАЦЬКИХ
 БАГАТОЧАСТОТНИХ СИСТЕМАХ**

В статті был представлен адаптивный метод передачи для многопользовательских систем. Предложенный принцип оценки пропускной способности адаптивных систем, функционирующих в условиях канала со случайными независимыми передаточными коэффициентами, позволяет оценить характеристики системы в области малых отношений сигнал / шум без использования имитационного моделирования.

Для многопользовательской системы был предложен метод адаптивного распределения мощности, скорости передачи и кодового разделения канала.

Ключевые слова: многочастотная система, канал передачи данных, адаптивное разделение.

Prof. Lenkov S.V., Ph.D. Khmel'nitsky Yu.V., Hyka V.A.

THE ADAPTIVE DIVISION IN MULTI-CHANNEL MULTIFREQUENCY SYSTEMS

The paper was presented to the adaptive transmission method for multi-user systems. The proposed principle of adaptive capacity assessment systems operating under the channel with random independent gear ratios to evaluate the characteristics of the relationships in the small signal / noise without the use of simulation.

For multi-user systems was proposed adaptive method of distribution capacity, transmission speed and code division channel.

Keywords: Multi-system, data channel, adaptive division.