

**МЕТОД АДАПТИВНОГО БАГАТОРІВНЕВОГО КОДУВАННЯ**

*Основною метою даної статті являлась розробка методу оптимізації при передаванні інформації по каналах зв'язку при їхній зашумленості.*

*Для ефективного здійснення передачі даних в одно-, і в багатокористувацьких системах необхідна адаптація використовуваної схеми передачі до мінливих умов каналу. У даній роботі розглядається задача оптимізації параметрами багато частотного каналу зв'язку з метою мінімізації потужності передавача, необхідної для досягнення заданої швидкості передачі. Практична реалізація цього методу призводить до необхідності використання дискретних швидкостей передачі. Це призводить до того, що параметри реально використовуваної схеми передачі даних відрізняються від ідеального рішення оптимізаційної задачі, що призводить до деякого збільшення необхідної потужності передавача. Таким чином, можна очікувати підвищення ефективності адаптивної системи у разі використання набору схем кодування/модуляції з малим кроком швидкостей, що може бути реалізовано на основі концепції багаторівневого кодування. Тут було представлено новий адаптивний метод передачі для одно- і багатокористувацької системи. У разі однокористувацької системи застосовувалось багаторівневе кодування, що дозволило підвищити точність підбору швидкості кодування/модуляції для окремих під каналів. Крім того, запропонований спосіб 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 співвідношень сигнал/шум. Для випадку багатокористувацької системи був запропонований метод адаптивного розподілу потужності, швидкості передачі і кодового розділення каналу, що дозволило отримати енергетичний виграв до 3 дБ у порівнянні з аналогічною системою на основі частотного поділу. Запропоновано метод стиснення службової інформації, породжуваної адаптивною системою. Наведено теоретична нижня межа для потужності передавача в адаптивній системі, що використовує даний алгоритм. Було проаналізовано поведінку запропонованої адаптивної системи при наявності тимчасових стохастичних змін його стану. Також було представлено результати імітаційного моделювання, що характеризують поведінку запропонованого методу передачі в умовах кабельного каналу.*

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

**Вступ.** Побудова адаптивної системи передачі даних потребує наявності методу кодування і модуляції, що забезпечує ступінь захисту передачі та прийому даних від перешкод. При цьому особливу важливість має ефективна реалізація методу обробки інформації, зокрема кодування і декодування коригувальних кодів. Алгоритми кодування та декодування багатьох сучасних кодів включають в себе класичні обчислювальні методи, такі як циклічна згортка, пошук кореня многочлена, дискретне перетворення Фур'є і т. д [1].

Незважаючи на те, що відомі швидкі алгоритми вирішення вище зазначених завдань, у багатьох випадках їх використання при реалізації алгоритмів кодування і декодування виявляється вкрай неефективним як в силу специфіки обчислень в кінцевих полях, так і в силу обмежень, накладених структурою алгоритмів кодування і декодування [2]. У зв'язку з цим виникає завдання ефективної реалізації відповідного обчислювального алгоритму.

Різноманітність існуючих в даний час алгоритмів модуляції, які можуть бути використані для формування лінійного коду, надає для розробників і фахівців з експлуатації телекомунікаційного обладнання можливість вибору оптимального алгоритму для конкретної реалізації завдань. Позитивні якості, які властиві реалізації на базі 2B1Q, дозволяють в ближчому майбутньому досить ефективно використовувати HDSL і SDSL - системи, які побудовані на використанні цього алгоритму. У перспективних системах доцільно

застосування рішень, які засновані на промислових реалізаціях алгоритму QAM - CAP і DMT [3].

**Постановка задачі.** Зробивши аналіз характеристик алгоритмів модуляції а також деяких систем кодування даних, сигналів та символів, можна впевнено заявляти що самі по собі ці системи модуляції ефективні. Але їхня ефективність обмежена певними чинниками, своєрідністю та способами обчислення [4]. Однак якщо ці системи модуляції/демодуляції інформації об'єднати для утворення алгоритму модуляції, вийде об'єднаний метод, кращий, він буде включати в себе сильні сторони наведених вище алгоритмів і виключати їхні вади. Вже на базі цих алгоритмів можна проводити обрахунки та будувати наш метод оптимізації. А для цього нам потрібно:

- a) проаналізувати характеристики ліній зв'язку;
- b) детально розглянути поширені моделі каналів;
- c) зробити аналіз позитивних та негативних сторін цих моделей каналів;
- d) після отриманих даних зробити висновки про їхню ефективність;
- e) провести обчислення за найвідомішим методом коригувальних кодів за для отримання математичної моделі;
- f) на основі отриманих математичних моделей каналів та оптимізованого методу, змодельовати систему для отримання даних що до успішності запропонованого методу;
- g) на основі зібраних даних провести корегування параметрів мережі.

Для ефективного здійснення передачі даних в одно-, і в багатокористувацьких системах необхідна адаптація використовуваної схеми передачі до мінливих умов каналу. У даній роботі розглядається задача управління параметрами багато частотного каналу зв'язку з метою мінімізації потужності передавача, необхідної для досягнення заданої швидкості передачі. Практична реалізація цього правила призводить до необхідності використання дискретних швидкостей передачі. Таким чином, можна очікувати підвищення ефективності адаптивної системи у разі використання набору схем кодування/модуляції з малим кроком швидкостей, що може бути реалізовано на основі концепції багаторівневого кодування.

Використання коригувальних кодів у свою чергу, вимагає ефективної реалізації відповідних обчислювальних алгоритмів [5]. При цьому особливий інтерес представляє зниження обчислювальної складності без зниження якості декодування. У тому випадку, коли обчислення проводяться над кінцевими полями, як при декодуванні кодів Ріда-Соломона, застосування деяких їх спеціальних властивостей може призвести до істотного зниження обчислювальної складності.

Тож перед нами стоїть дві задачі:

1. Розробка адаптивного методу передачі, що враховує використання завадостійкого кодування і можливість розділення каналу між різними користувачами.
2. Розробка ефективного обчислювального алгоритму, що використовується на різних етапах декодування кодів Ріда-Соломона [6]. Структура програмної системи залежить від форм та методів організація процесів пов'язаних з обробкою та збереження даних, від кількості даних, їх спеціалізації, кооперації та комбінування. Глибина розділення процесу обробки даних на його складові частини, та ступінь кооперації визначають види та призначення компонентів програми.

**Основна частина.** 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, наближене до ідеального. Відомі методи адаптивної передачі в багато частотних системах в більшості випадків засновані на адаптивній модуляції; застосування адаптивного кодування, як правило, зводиться до розгляду схем матрично-кодової модуляції. Це істотно обмежує набір доступних швидкостей передачі [7]. Однак, застосування багаторівневого кодування дозволяє проводити вибір формату сигнальної множини і параметрів завадостійкого кодування незалежно один від одного що істотно підвищує гнучкість системи.

У статті описаний метод адаптивного вибору багаторівневих кодів в багато частотній одно користувачькій системі, що дозволяє збільшити кількість схем передачі, доступних для використання в адаптивній системі, і за рахунок цього наблизити рішення задачі адаптації до ідеального. Більш конкретно, буде розглянуто задачу вибору багаторівневих кодів і відображення їх кодових слів на під канали багаточастотної системи, що мінімізують потужність передавача, необхідну для забезпечення заданої швидкості передачі даних і ймовірності помилки. Ці методи можуть бути використані і в багатокористувачьких системах.

Розглянемо задачу обчислення коефіцієнтів поділу під каналів в багатокористувачькій системі, описану в контексті OFDM-системи. Відомо, що в багаточастотній системі прийнятий сигнал для кожного з  $K$  користувачів і  $N$  під каналів може бути представлений як [8]:

$$r_{ki}^j = \mu_{ki}^j s_i^j + \eta_{ki}^j, i = 0..N-1, k = 0..K-1, \quad (1)$$

де  $\mu_{ki}^j$  - передавальний коефіцієнт  $i$ -го під каналу, спостережуваний  $k$ -м користувачем в момент часу  $j$ ,  $s_i^j$  - сигнал, переданий по  $i$ -му під каналу в  $j$ -й момент часу,  $\eta_{ki}^j$  - адитивний Гаусівський шум.

Припустимо, що користувачі можуть за допомогою кодового розділення спільно використовувати під канали багато частотної системи або їх блоки (смуги), що складаються з суміжних під каналів, тобто:

$$s_{qSf}^{jSt} = \sum_{l=1}^{S_t S_f} s_{ql}^j a_l, s = 0..S_f-1, m = 0..S_t-1, q = 0..N/S_f-1, \quad (2)$$

де  $S_t, S_f$  - коефіцієнти розширення користувачького сигналу за часом та частотою,  $s_{ql}^j$  - модульований сигнал, призначений  $l$ -му користувачу, призначеному на  $q$ -й під канал (під смугу),  $a_l = (a_{l,0}, \dots, a_{l,S-1})$  -  $l$ -та розширювана послідовність  $S = S_t S_f$  - загальний коефіцієнт розширення. Зауважимо, що кожен з  $k$  користувачів системи може бути призначений на довільний набір під каналів (підсмуг) і на кожній з них використовувати довільний набір (розміром від нуля до  $S$ ) розширюючих послідовностей. При цьому різні користувачі, призначені на даний під канал, повинні використовувати різні розширювані послідовності. Це дозволяє розглядати кожен їх  $N/S_f$  під каналів (підсмуг) як набір з  $S$  логічних під каналів з ідентичними властивостями.

Тут передбачається, що смуги складаються з суміжних під каналів. Нижче буде показано, що наявність цього обмеження не приводить до яких-небудь серйозних втрат в характеристиках системи. Разом з тим, це обмеження може бути усунуто шляхом пере впорядкування коефіцієнтів.

Зауважимо, що тимчасовий поділ є окремим випадком кодового розділення з розширюваними послідовностями виду  $a_l = (0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)$ . У разі  $S_f = 1$  і стаціонарного каналу, тип використовуваних послідовностей не має значення. Однак при наявності тимчасових змін стану каналу або  $S_f > 1$  застосування "істинно" кодового розділення може дати ефект рознесення [9].

Для простоти розглянемо спочатку систему з  $S_f = 1$ . Нехай  $p_{ki} \in [0,1]$  позначає частку  $i$ -го під каналу, займану  $k$ -м користувачем. Ця величина відповідає частці розширюючих послідовностей, використовуваних  $k$ -м користувачем по  $i$ -му під каналу. Нехай  $c_{ki}$  означає швидкість передачі даних  $k$ -м користувачем по  $i$ -му під каналу, а  $V_{ki}$  - відповідний коефіцієнт

підсилення. Необхідно відзначити, що посиленню піддаються формовані користувачами символи до того, як вони накладаються, утворюючи власне переданий сигнал  $S_i$  (див. рис. 1).

Припустимо, що повністю відсутня між користувацька інтерференція, що може бути досягнуто при ідеальній синхронізації базової станції і користувацьких пристроїв [10]. У разі кодового розділення для цього додатково потрібно незмінність каналу в часі і ортогональність використовуваних розширюючих послідовностей.

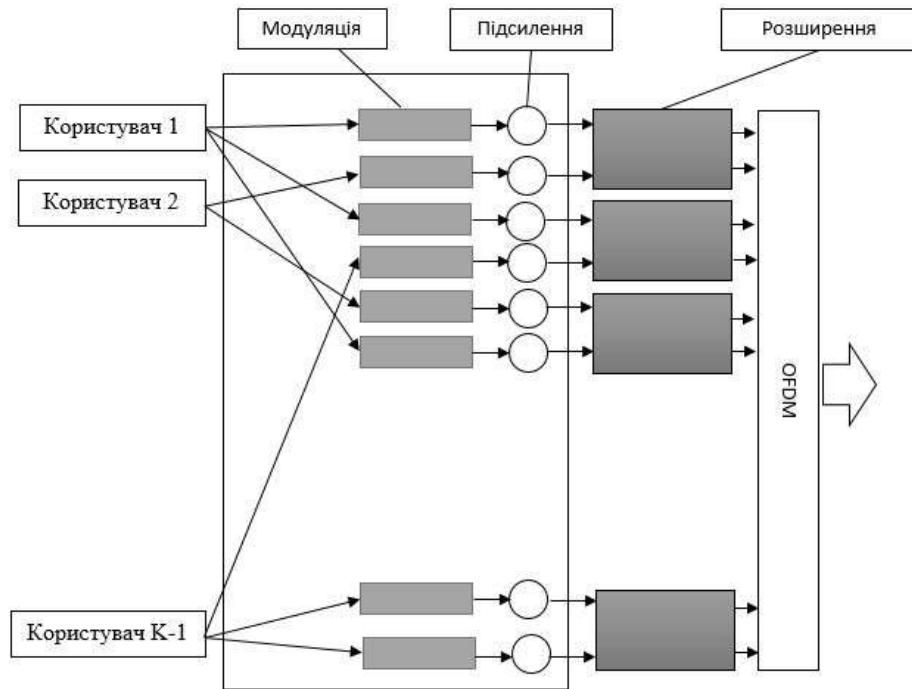


Рис. 1. Архітектура системи для оптимізації

Крім того, припустимо, що для  $k$ -го користувача необхідно забезпечити швидкість передачі даних:

$$R_k = \sum_{i=0}^{N-1} p_{ki} c_{ki}, k = 0..K-1, i = 0..N-1, \quad (3)$$

де  $c_{ki} = \log_2 M_{ki}$  - число біт в одному символі, переданий  $k$ -му користувачем по під каналу  $i$ .

Спочатку припустимо, що використовується кодове розділення під каналів на основі ортогональних розширюючих послідовностей довжини  $S_i = S$ . Це означає, що безліч допустимих коефіцієнтів поділу каналів має вигляд  $p_{ki} \in \{0, 1/S, \dots, (S-1)/S, 1\}$ . Ясно, що шляхом збільшення  $S$  точність оптимізації може бути підвищена.

Нехай  $f(\xi_{ki}, c_{ki}) = f(c_{ki})$  вказує співвідношення сигнал/шум, яке необхідно забезпечити для досягнення необхідної ймовірності помилки при швидкості передачі даних  $c_{ki}$ .

Нехай  $\xi_{ki} = \frac{|\mu_{ki}|^2}{\sigma^2}$  - співвідношення канал/шум для користувача  $k$  по під каналу  $i$ . Тоді коефіцієнт посилення повинен бути рівний:

$$V_{ki} = \sqrt{f(c_{ki}) / \xi_{ki}}. \quad (4)$$

Таким чином, оптимізаційна задача може бути сформульована як:

$$0 = (\beta_i^k - \beta_i) p_{ki}, \quad (5)$$

$$R_k = \sum_{i=0}^{N-1} p_{ki} f^{-1}(\lambda_k \xi_{ki}), \quad (6)$$

$$1 = \sum_{k=0}^{K-1} p_{ki}, \quad (7)$$

$$\beta_i \leq \beta_i^k = \frac{f(f^{-1}(\lambda_k \xi_{ki}) - \lambda_k \xi_{ki}) f^{-1}(\lambda_k \xi_{ki})}{\xi_{ki}}. \quad (8)$$

де  $\lambda_k \xi_{ki}$  - множники Лагранжа, система складається з 4 рівнянь. В даний час відомі різні методи, призначені для чисельного рішення великих систем нелінійних рівнянь [11]. Незважаючи на це виявляється, що рішення цієї системи вельми складно через наявність великого числа рішень, тобто наборів значень  $p_{ki}$ , що задовольняють описаним обмеженням. Це призводить до істотного уповільнення збіжності багатьох чисельних методів. У зв'язку з цим виникає необхідність побудови оптимізаційного алгоритму, орієнтованого на дану задачу.

Для побудови спеціалізованого оптимізаційного алгоритму зауважимо, що з (7) випливає, що для заданого набору  $\{p_{ki}\}$   $\lambda_k$  може бути однозначно знайдено з  $R_k$ . З іншого боку, як було показано в [11], з (6) випливає, що  $\beta_i$  має дорівнювати  $\min \beta_i^k$  і тільки користувачі з  $\beta_i^k = \beta_i$  можуть використовувати під канал  $i$ . Тому величина може розглядатися як міра непридатності користувача  $k$  для роботи по під каналу  $i$ . Використовуючи цей факт, можна побудувати наступний алгоритм:

- 1) Сформулювати початковий набір  $\{p_{ki}\}$ ;
- 2) Обчислити  $\lambda_k$  з (7) і підставити це значення в (9), отримавши  $\beta_i^k$ ;
- 3) Знайти найгірший під канал  $i$  і найгіршого користувача, призначеного на цей під канал  $i_w, k_w = \arg \max_{i,k, p_{ki} < 0} (\beta_i^k - \beta_i)$ , а також найкращого користувача  $k_b = \arg \min_k \beta_i^k$ ;
- 4) Зменшити частку  $p_{ki}$  каналу  $i_w$ , займану користувачем  $k_w$ , на  $1/S$  і збільшити частку  $p_{ki}$ , 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  $\Delta = \max_{i,k, p_{ki} < 0} (\beta_i^k - \beta_i)$ ;
- 6) Скористатися алгоритмом оптимізації одно користувачьких систем для знаходження розподілу потужності переданого сигналу і швидкостей передачі по каналу, виділеному кожному користувачеві.

Початковий розподіл користувачів по під каналах може бути отримано, наприклад, наступним чином. Для кожного користувача можуть бути знайдені найкращі під канали  $i$  для них встановлено  $p_{ki} = b > 0$ . Ті під канали, які не увійшли в число найкращих ні для одного користувача, можуть бути призначені, наприклад, користувачам з найкращими співвідношенням канал/шум на них. При цьому має виконуватися умова нормування (8).

Даний алгоритм не спирається на "невеликі константи", що використовуються в алгоритмі Вонга [12] для ініціалізації та оновлення множників Лагранжа; виявляється, що їх вибір істотно впливає на саме рішення і складність алгоритму. Крім того, запропонований алгоритм реалізує іншу структуру ітеративного процесу: здійснюється підстроювання коефіцієнтів поділу каналів для досягнення ними умов оптимальності, в той час як в алгоритмі Вонга здійснюється підстроювання констант  $\lambda_k$ .

Іноді описаний алгоритм стикається з тією ж проблемою, що й стандартні ітеративні алгоритми оптимізації, а саме виникненням коливальних процесів на кроці 4. У цьому випадку кілька користувачів циклічно обмінюються підканалами, що перешкоджає досягненню оптимального рішення. Причиною цього є те, що передача частки під 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". В даному випадку він може бути реалізований шляхом примусової заборони на вибір на кроці 3 в якості "найгірших" тих 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 (6)-(9) у порівнянні з аналогічною системою в одно користувацькому випадку. З огляду на те, що рішення оптимізаційної задачі залежить не тільки від передавальних коефіцієнтів, але і від їх співвідношення для різних користувачів, тут вже не можна безпосередньо скористатися апаратом порядкових статистик, використаним при аналізі одно користувацької системи. У зв'язку з цим виникає необхідність введення додаткових спрощених припущень.

Таблиця 1

Обмеження в однокористувацькій системі

Число користувачів	4	8	16	32	64	4	8	16	32
Швидкість корист. R, біт/симв.	16	16	16	16	17	256	128	64	32
Потужність багато корист. системи $P_0$ , дБ	-18	-18	-18	-18	-19	-1	-5	-10	-12
Мін. необхідна потужність, дБ	-10	-7	-5	-3	1	5	3	2	2

Припустимо, що передача даних кожного з користувачів проводиться відповідно до правилом традиційної одно користувацької системи і швидкість передачі даних кожного з користувачів досить мала, так що кожним з них використовується невелике число найкращих під каналів. Крім того, припустимо, що передавальні коефіцієнти під каналів для різних користувачів незалежні. Тоді безлічі їх найкращих під каналів також будуть і незалежними. Отже, ймовірність збігу під каналів, використовуваних різними користувачами, досить мала. Нехай  $P(R)$  - функція, що характеризує потужність передавача одно користувацької системи, необхідну для передачі даних зі швидкістю  $R$ . Тоді загальна потужність передавача системи мовлення може бути оцінена як:

$$P(R_1, \dots, R_K) \geq \sum_{k=1}^K P(R_k). \quad (9)$$

Ця межа не враховує ефектів, пов'язаних з можливим збігом множин найкращих під каналів різних користувачів. Числові значення цієї межі для випадку системи з 512 під каналами та  $\Gamma \approx 2,65$  представлені в таблиці 1. Функція досяжної спектральної ефективності в

ідеальній адаптивній QAM-системі, яка функціонує в умовах незалежних затухань, представлена на рис. 2.

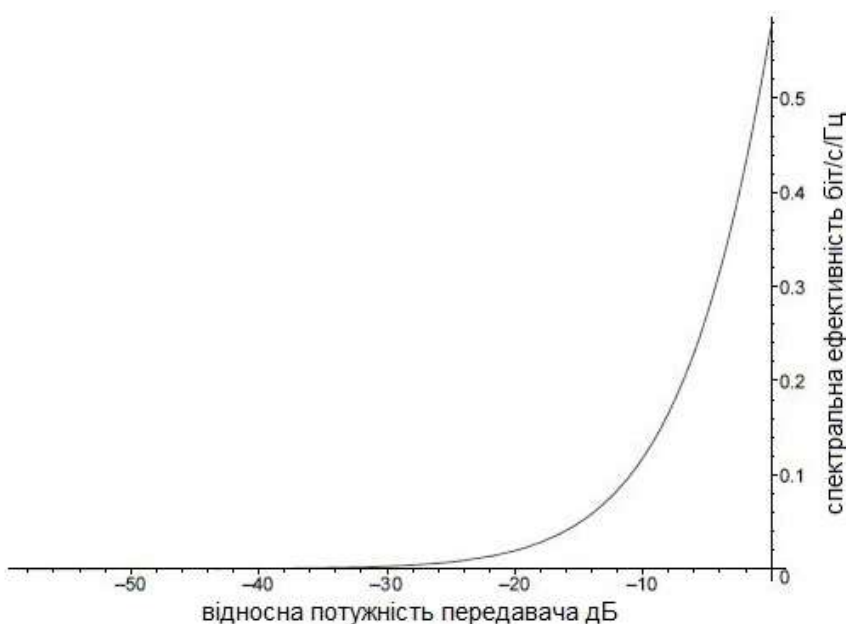


Рис. 2. Графік потужності передавача

Використана методика оцінки спирається на можливість точного обчислення спектральної ефективності адаптивної системи в області малих співвідношень сигнал/шум. Згідно з наявною інформацією, всі опубліковані до теперішнього часу методи оцінювання спектральної ефективності адаптивних систем не дозволяють отримати задовільних результатів у цьому випадку, тому не враховують можливість використання тільки декількох найкращих під каналів.

На рис. 4 представлений графік спектральної ефективності адаптивної високочастотної системи, що використовує оптимізаційний алгоритм, для випадку каналу з незалежними коефіцієнтами загасання. Можна помітити, що в системі зберігається проміжок в 3 дБ, що спостерігався у вихідному наборі багаторівневих кодів (див. рис. 3). Крім того, збільшення розміру  $L$  призводить до незначного збільшення потужності передавача, необхідної для забезпечення заданої якості роботи системи. При цьому необхідно зазначити, що складність реалізації системи в основному визначається числом використовуваних компонентних (бінарних) кодів. запропонований в даній роботі прагматичний спосіб побудови багаторівневих кодів дозволяє побудувати велике число кодів на основі порівняно невеликого компонентних двійкових кодів.

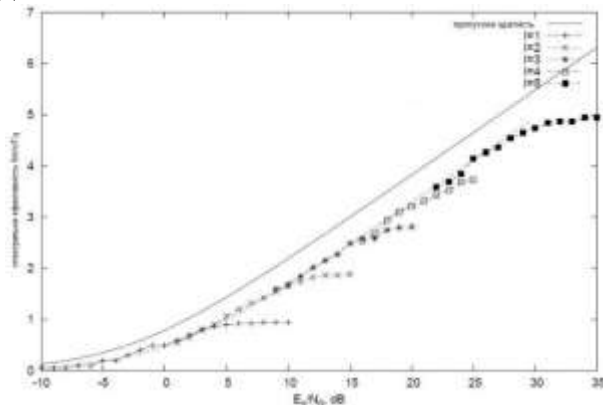


Рис. 3. Спектральна ефективність багаторівневих кодів

На рис. 5 представлений аналогічний графік для випадку кабельного каналу. Видно, що кабельний канал допускає використання істотно більшого розміру групи під каналів. Однак зважаючи на сильне згасання високочастотних сигналів досяжна

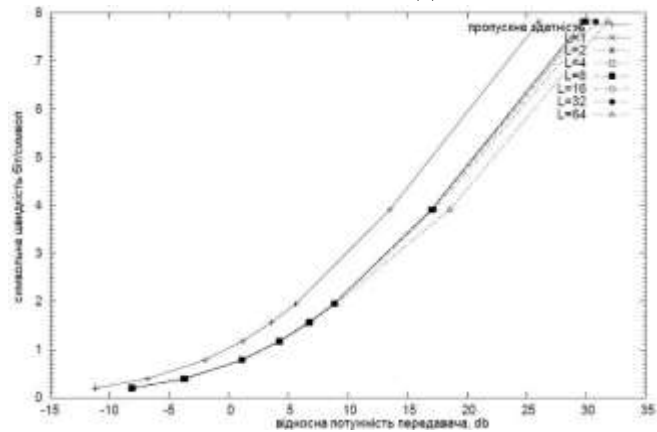


Рис. 4. Канал з незалежним згасанням

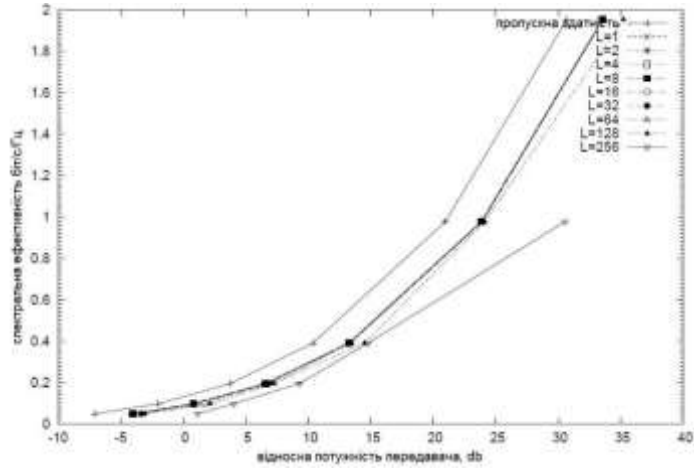


Рис. 5. Кабельний канал

Отримані результати цікаво зіставити з теоретичними оцінками. На рис. 6 представлені криві для спектральної ефективності адаптивної системи, що функціонує в умовах каналу з незалежними затуханнями.

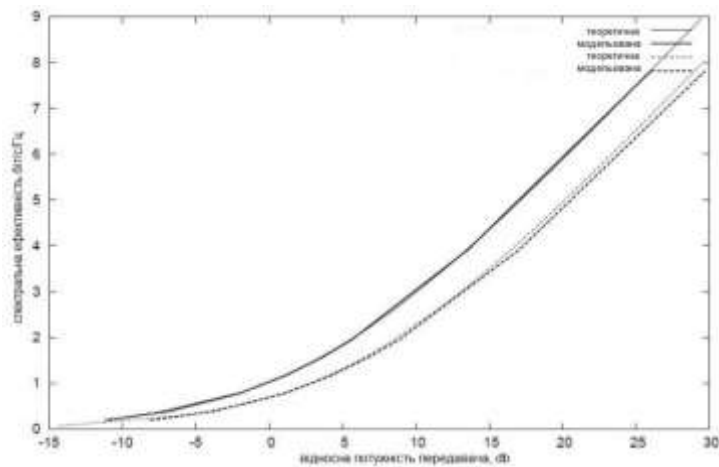


Рис. 6. Теоретична оцінка спектральної ефективності

Можна помітити, що крива для пропускної здатності каналу при  $\Gamma = 1$ , в точності збігається з кривою, отриманою середнім значенням реалізацій каналу, що підтверджує адекватність використаного методу побудови оцінки. Крива для спектральної ефективності розглянутої системи точно збігається з теоретичною оцінкою в діапазоні співвідношення сигнал/шум до 5 дБ і починає незначно відхилятися від неї при більш високих його значеннях. Це пов'язано з наявністю обмеження на максимальне число рівнів у використовуваному сімействі багаторівневих кодів. Таким чином, можна стверджувати, що запропонований метод багаторівневого кодування близький до оптимального.

**Висновки.** В статті представлений новий адаптивний метод передачі для одно- і багатокористувацької системи. У разі однокористувацької системи застосування багаторівневого кодування дозволяє підвищити точність підбору швидкості кодування/модуляції для окремих під каналів. Крім того, запропонований спосіб 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 співвідношень сигнал/шум.

Запропонований метод адаптивного багаторівневого кодування може бути також використаний і у випадку багатокористувацької системи. Для випадку багатокористувацької системи був запропонований метод адаптивного розподілу потужності, швидкості передачі і кодового розділення каналу, що дозволяє, як буде показано нижче, отримати енергетичний вигравш до 3 дБ у порівнянні з аналогічною системою на основі частотного поділу.

Застосування побудованого сімейства кодів в системі дозволило забезпечити передачу даних з імовірністю помилки на біт близько  $10^{-7}$  при співвідношенні сигнал/шум, що перевищує 3 дБ. Було показано, що за рахунок збільшення числа каналів досягається зниження потужності передавача, необхідної для досягнення заданій швидкості передачі даних, на величину порядку 3 дБ. У цьому полягає основна перевага запропонованого методу адаптивного багаторівневого кодування.

Зіставлення з результатами імітаційного моделювання показує, що запропонований метод теоретичного аналізу характеристик високочастотних систем забезпечує похибка менше 1 дБ вже при порівняно невеликих значеннях максимального розсіювання. Були представлені оцінки обсягу службової інформації, передача якої необхідна для функціонування адаптивної системи. Наведені результати імітаційного моделювання дозволяють оцінити інтервал часу, протягом якого може використовуватися одна і та ж оптимізована схема передачі. Були представлені також оцінки складності запропонованого методу і досліджено вплив числа ітерацій оптимізаційного алгоритму на якість вирішення завдання побудови адаптованої схеми передачі.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Veysset, F. New Tool And Technique For Remote Operating System Fingerprinting / F. Veysset, O. Courta, O. Heen. - Intranode Software Technologies, 2002. - 132 с.
2. Madhow, U. Fundamentals of Digital Communication. – Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
3. Муляр І.В. Статистичний аналіз реалізації трафіку на самоподібність / І.В. Муляр, В.В. Завадовський // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хм.: ХНУ, 2014. – Вип. № 4(49). – С.142- 146
4. Beardsley, T. A. Intrusion Detection and Analysis: Theory, Techniques, and Tools / T. A. Beardsley. - SANS Lone Star, 2002. – 70 с.
5. Основы информационной безопасности. Учебное пособие для вузов / Е.Б. Белов, В.П. Лось, Р.В. Мещеряков, А.А. Шелупанов. - М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 544.с.
6. Шаньгин В.Ф. Комплексная защита информации в корпоративных компьютерных системах: Учебн. пособие./ В.Ф. Шаньгин - М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2010. – 592с.
7. Щербаков А.Ю. Современная компьютерная безопасность. Практические аспекты. /А.Ю. Щербаков. - М.: Книжный мир, 2009. - 352с.
8. Васильков А.В. Безопасность и управление доступом в информационных системах: Учебное

пособие// А.В. Васильков, И.А. Васильков - М.: ФОРУМ, 2010. - 368с.

9. Разработка и эксплуатация автоматизированных информационных систем/ Л.Г. Гагарина, Д.В., Киселев Е.Л. Федотова - М.:ИНФРА-М, ФОРУМ 2011 г. - 384 с.

10. Петрыкина Н.И. Правовое регулирование оборота персональных данных. / Н.И. Петрыкина - М.: Статут, 2011. 134 с.

11. Кормен Т. Х. Часть VI. Алгоритмы для работы с графами // Т. Х. Кормен - Алгоритмы: построение и анализ = Introduction to Algorithms. – 2-е изд. М.: Вильямс, 2006. – С. 1296.

12. Martin Fowler. Refactoring. Architecture / Martin Fowler – [s.l.]: Addison-Wesley, 2018, 464 с.

#### REFERENCES:

1. Veysset, F., Courtay O., Heen O. (2002), New Tool And Technique For Remote Operating System Software Technologies

2. Madhow,U. (2008) Fundamentals of Digital Communication. – Cambridge: Cambridge University Press,

3 Muliar I.V. and Zavadovskyi V.V. (2014), "Statystychnyi analiz realizatsii trafiku na samopodobnist'" [Statistical analysis of the implementation of traffic on self-similarity], Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh, KhNU ,Khmelnitsy, No. 4(49), pp. 142- 146

4. Beardsley T. A. (2002) Intrusion Detection and Analysis: Theory, Techniques, and Tools SANS Lone Star.

5. Belov, E.B., Los, V.P., Mescheryakov, R.V. and Shelupanov A.A. (2006), "Osnovyi informatsionnoy bezopasnosti. Uchebnoe posobie dlya vuzov" [Fundamentals of Information Security. Textbook for high schools], М.: Goryachaya liniya-Telekom, 544p.

6. Shangin, V.F. (2010), "Kompleksnaya zaschita informatsii v korporativnykh kompyuternykh sistemah: Uchebn. posobie." [Comprehensive information protection in corporate computer systems: Textbook], М.: ID «FORUM»: INFRA-M, 592p.

7. Scherbakov, A.Y. (2009), "Sovremennaya kompyuternaya bezopasnost. Prakticheskie aspektyi." [Modern computer security. Practical aspects.],М.: Knizhnyy mir, 2009. 352p.

8. Vasilkov, A.B and Vasilkov, I.A. (2010), "Bezopasnost i upravlenie dostupom v informatsionnykh sistemah: Uchebnoe posobie" [Security and Access Control in Information Systems: Textbook], М.: FORUM, 368p.

9. Гагарина, Л.Г., Киселев, Д.В. and Федотова, Е.Л. (2011), "Razrabotka i ekspluatatsiya avtomatizirovannykh informatsionnykh sistem" [Development and operation of automated information systems], М.:INFRA-M, FORUM, 384p.

10. Petrykina, N.I. (2011), "Pravovoe regulirovanie oborota personalnykh dannykh." [Legal regulation of the turnover of personal data],М.: Статут, 134p.

11. Kormen, T. X. (2006), "Chast VI. Algoritmy dlya raboty s grafami" [Part VI. Algorithms for working with graphs], Algoritmy: postroyeniye i analiz = Introduction to Algorithms. - 2-e izd. М.: Vilyame,.1296p.

12. Fowler, M. (2018). Refactoring. [s.l.]: Addison-Wesley

к.т.н., доц. Красильников С.Р., Боднар Д.В., Гунченко С.Ю., Литвиненко Р.С.

#### АДАПТИВНЫЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

*Основной целью данной статьи являлась разработка метода оптимизации при передаче информации по каналам связи при их зашумленности. Для эффективного осуществления передачи данных в одно, и в многопользовательских системах необходима адаптация используемой схемы передачи к изменяющимся условиям канала. В данной работе рассматривается задача оптимизации параметров много частотного канала связи с целью минимизации мощности передатчика, необходимой для достижения заданной скорости. Практическая реализация этого метода приводит к необходимости использования дискретных скоростей передачи. Это приводит к тому, что параметры реально используемой схемы передачи данных отличаются от идеального решения оптимизационной задачи, что приводит к некоторому увеличению необходимой мощности передатчика. Таким образом, можно ожидать повышения эффективности адаптивной системы при использовании набора схем кодирования / модуляции с малым шагом скоростей, может быть реализовано на основе концепции многоуровневого кодирования. Здесь был представлен новый адаптивный метод передачи для одно- и многопользовательской системы. В случае однопользовательской системы применялось*

*многоуровневое кодирование, что позволило повысить точность подбора скорости кодирования/модуляции для отдельных подканалов. Кроме того, предложенный способ оценки пропускной способности (а также спектральной эффективности) адаптивных систем, функционирующих в условиях канала со случайными независимыми передаточными коэффициентами, позволяет оценить характеристики системы в области малых соотношений сигнал / шум. Для случая многопользовательской системы был предложен метод адаптивного распределения мощности, скорости передачи и кодового разделения канала, что позволило получить энергетический выигрыш в 3 дБ по сравнению с аналогичной системой на основе частотного разделения. Предложен метод сжатия служебной информации, порождаемой адаптивной системой. Приведены теоретическая нижняя граница для мощности передатчика в адаптивной системе, использующей данный алгоритм. Было проанализировано поведение предложенной адаптивной системы при наличии временных стохастических изменений его состояния. Также были представлены результаты имитационного моделирования, характеризующие поведение предложенного метода передачи в условиях кабельного канала.*

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

**Ph.D. Krasilnikov S.R., Bodnar D.V., Gunchenko S.Yu., Lytvynenko R.S.  
METHOD OF ADAPTIVE MULTILEVEL CODING**

*The main purpose of this work is to develop a method of optimization at transmission of information through communication channels in their noisiness. For the efficient implementation of data transmission in single- and multi-user systems it is needed an adaptation of the scheme transmission to changing conditions of the channel. This project examines the problem of optimizing the parameters of many frequency channels communication in order to minimize the transmitter power required to achieve a certain speed of transmission. Practical implementation of this method leads to the necessity of using discrete transmission speeds. This leads to the fact that the parameters of the actual data transfer scheme differ from the ideal solution of an optimization task, which leads to some increase in the required power of transmitter. Thus, one can expect increasing the efficiency of the adaptive system in case of using a set of encoding / modulation schemes with a small step speed that can be implemented on the basis of the concept of multilevel coding. Here was presented a new adaptive transfer method for single- and multiplayer system. In the case of a single-user system was used multilevel encoding, which made it possible to improve the accuracy of speed selection encoding / modulation for individual subchannels. In addition, the proposed method of evaluation a bandwidth (as well as spectral efficiency) of adaptive systems which can function in a channel conditions with random independent transmission coefficients, which allows to evaluate characteristics of the system in the area of small ratios of signal / noise. As for the multi-user system case, an adaptive method of power distribution, transmission speed and code division of the channel was proposed, which allowed get an energy gain of up to 3 dB compared to a similar system based on frequency division. The method of compression of the generated information service of adaptive system is offered here as well. There is a theoretical lower limit for transmitter power in adaptive system that uses this algorithm. Behavior of the proposed adaptive system was analyzed with the temporary stochastic changes of it state. Also it were presented the results of simulation modeling that characterize the behavior of the proposed method of transmission in conditions of the local cable channel.*

*Keywords: multifrequency system, data transmission channel, adaptive separation.*