

**ОГЛЯД АДАПТИВНИХ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ
ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЗАВАДОСТІЙКОГО
КОДУВАННЯ У СИСТЕМАХ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ****С.В. Зайцев, В.М. Василенко, С.М. Семендяй**Національний університет «Чернігівська політехніка»
м. Чернігів, 14035, вул. Шевченка, 95
E-mail: serhii_semendiai@icloud.com

Аналіз сучасного стану та розвитку систем бездротового зв'язку, таких як системи мобільного зв'язку першого покоління 1G, другого покоління 2G, третього покоління 3G, четвертого покоління 4G LTE-Advanced, п'ятого покоління 5G, WiMax та WiFi, свідчить про необхідність застосування інформаційних технологій, які дозволяють ефективно передавати дані в режимі реального часу. В таких системах забезпечення заданого рівня достовірності передачі інформації здійснюється за рахунок використання інформаційних технологій адаптації та кодування. За умови підвищення рівня шумів, існуючі методи забезпечення достовірності інформації на основі коригуючих кодів не забезпечують заданих показників ефективності передачі інформації. При обмеженнях на параметри кодів, в системах з адаптацією, у випадку підвищення рівнів шумів до певного значення, забезпечення заданих характеристик достовірності інформації стає неможливим. Тому постає питання застосування турбокодів та їх багаторівневої параметричної адаптації. При зворотному декодуванні даних виникає потреба в апріорних відомостях щодо функцій правдоподібності прийнятих даних з урахуванням процедури декодування алгоритмів, що засновані на ймовірнісному декодуванні, а саме для турбокодів. Можна сформулювати оцінки невизначеності інформації при декодуванні, мінімізувати ці оцінки вибором правил рішення за допомогою методів параметричної адаптації та забезпечити достовірність передачі інформації.

Ключові слова: достовірність, завадостійке кодування, бездротовий зв'язок, методи оптимізації.

Вступ

Канали зв'язку характеризуються ймовірністю помилкового прийому під впливом різних завад (шумів) у межах $p=10^{-2}$ – 10^{-5} , рідше 10^{-6} і менше. В умовах радіоелектронного подавлення засобами РЕБ противника систем і мереж радіозв'язку величина p може досягати $p \geq 10^{-1}$.

Сучасні системи передачі даних вимагають ймовірності кількості помилок на один знак на виході не більше $P_{пз} \leq 10^{-6}$ – 10^{-10} , тому, ставиться задача підвищення достовірності на 3-5 порядків і більше.

Методи підвищення достовірності:

- застосування завадостійких методів модуляції/демодуляції сигналів;
- застосування завадостійких кодів, що виявляють та виправляють помилки у прийнятих кодових комбінаціях;
- покращення характеристик каналів зв'язку, що залежить від технічних можливостей та економічної доцільності;
- використання систем із зворотним каналом, в яких по зворотному зв'язку від приймача до передавача посиляються запити на повторну передачу, у разі необхідності, повідомлення в цілому або його частини;
- використання різноманітних методів підвищення достовірності, що має місце на практиці;

– кількаразове повторення повідомлення каналом зв'язку або паралельними каналами, зі спеціальною обробкою (наприклад, мажоритарною обробкою або синхронним накопиченням) на приймальній стороні.

Одним з найефективніших способів боротьби з помилками у прийнятих повідомленнях є використання завадостійких кодів. Сфера їх застосування інтенсивно розширюється, що пов'язано з розвитком цифрових методів представлення повідомлень, потребами у забезпеченні високих якісних показників обміну інформацією, створенням нових та спеціальних інформаційно-телекомунікаційних середовищ, зокрема, дальнім космічним зв'язком з об'єктами на інших небесних тілах, необхідністю управління космічними видами озброєння, підвищеною небезпекою подавлення ліній та мереж радіозв'язку засобами РЕБ противника.

Мета і задачі дослідження

Метою роботи є проведення огляду адаптивних методів забезпечення достовірності передачі інформації, що застосовуються на сучасному етапі при використанні завадостійкого кодування у системах бездротового зв'язку.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Розглянути адаптивні методи передачі інформації каналами зв'язку.
2. Розглянути варіанти використання завадостійких кодів.
3. Розглянути методи оптимізації систем передавання інформації.
4. Зробити припущення щодо шляхів подальшого розвитку адаптивних методів забезпечення достовірності передачі інформації.

Основна частина

В статті розглядається використання на сучасному етапі адаптивних методів забезпечення достовірності передачі інформації при використанні завадостійкого кодування у системах бездротового зв'язку.

При проектуванні сучасних телекомунікаційних систем виникає питання забезпечення високої достовірності інформації, особливо при обміні комп'ютерними даними чи у спеціалізованих військових системах передачі. Як правило, це питання вирішується за допомогою використання завадостійких кодів та інших методів підвищення достовірності.

Вибір застосування того чи іншого коду залежить від вимог, які пред'являються до системи. У свою чергу, ці вимоги формуються на основі ймовірності кількості помилок на один знак, яку повинна забезпечити система на своєму виході, швидкості передачі, технічної складності, надійності та вартості.

Відомо, що найбільшу ймовірнісну ефективність забезпечує код у режимі виявлення помилок. Саме тому у системах із зворотним зв'язком такий режим найбільш доцільний, зокрема, варіанти використання кодів з виявленням помилок реалізовані в модемах V.34, V.90 (V.92) тощо. Щодо питання, який саме код вибрати в режимах виявлення помилок, то із усіх можливих варіантів сучасна практика надає перевагу циклічним кодам Боуза-Чоудхурі-Хоквінгема (БЧХ), які характеризуються простотою реалізації й високими коректувальними можливостями. При визначенні кратності помилок, які повинен виявляти код, слід орієнтуватися на найбільш ймовірні помилки або на задане значення ймовірності невиявлених помилок – на основі цих даних і визначаються кратності помилок, які підлягають виявленню. Відповідні данні можуть бути отримані на основі розрахунків з використанням певної математичної моделі каналу зв'язку, уточнені моделюванням тракту обробки і передачі сигналу та, за можливості, перевірені експериментально.

Найпростіша система з виявленням помилок – це система з використанням кодів з перевіркою на парність. Додаючи один розряд з перевіркою на парність, система забезпечує виявлення 50% усіх помилок (непарної кратності) у кодовій комбінації. Такі коди найчастіше використовуються для внутрішньої діагностики апаратури (комп'ютерів), коли в результаті обробки сигналів пристроями апаратури можуть виникнути помилки. Якщо за результатами роботи якихось процесів переважають парні помилки, то слід використовувати коди з перевіркою на непарність. Ці коди також можуть використовуватись для кодування сигналів, що передаються каналами зв'язку, або для утворення більш складних кодів, зокрема матричних (ітеративних), які мають вищі коректувальні властивості.

Коди з виправленням помилок застосовуються у системах, де зворотний зв'язок не передбачений, зокрема у системах далекого космічного зв'язку (міжпланетні станції) тощо. На практиці кратність виправлених помилок, як правило, не перевищує 3, що пов'язано з ускладненим декодуванням при довгих кодових комбінаціях n . Для виправлення однократних помилок найкращим вважається код Хеммінга при всіх довжинах кодових комбінацій n . Цей код відноситься до класу досконалих кодів, і ніякий інший код не може бути простішим у режимі виправлення однократної помилки. Для виправлення двократних помилок при довжині кодових комбінацій $n \leq 24$ може бути використаний другий досконалий код, із двох відомих, – це код Голея, відомий у двох варіантах – (23, 11), (24, 12). Для інших значень n та інших кратностей помилок доцільно використовувати коди БЧХ, для яких детально розроблені таблиці, що дозволяють вибрати породжуючі поліноми $g(x)$, будувати коди, пристрої кодування і декодування.

Для виправлення пакетів помилок застосовують коди Ріда-Соломона (РС-коди) та згорткові коди. Ці коди також використовуються для побудови каскадних кодів, застосування яких доцільно в каналах (лініях) зв'язку з високим рівнем завад, що досить актуально для ліній зв'язку військового призначення, які можуть піддаватися впливу засобів РЕБ противника. Як правило, каскадні коди складаються із двох ступенів кодування – спочатку одним кодом (зовнішнім), потім закодована послідовність розділяється на коротші послідовності, які кодуються другим кодом (внутрішнім). Внутрішній код виправляє помилки малої кратності ($t = 1, 2, 3$) і виявляє частину помилок вищої кратності, а зовнішній код виправляє пакети помилок, що виявив внутрішній код, а також пакети, які він виявив за рахунок своїх можливостей. На практиці в якості зовнішнього коду використовують, як правило, код Ріда-Соломона, а в якості внутрішніх – БЧХ, згортковий, код Хеммінга. РС-коди і згорткові коди мають високоефективні, проте складні алгоритми декодування, зокрема при декодуванні згорткових кодів використовується алгоритм Вітербі, який є оптимальним, але складним у реалізації і потребує швидкісного процесора та порівняно великого об'єму пам'яті. Результатом симбіозу різних алгоритмів є турбокоди, які показують свою ефективність на лініях зв'язку з високим рівнем завад ($p = 10^{-2} - 10^{-1}$) і дозволяють наблизити пропускну здатність за таких умов до границі Шеннона.

Використання кодів з виявленням і виправленням помилок має місце при побудові каскадних кодів, а також при кодуванні цифрових сигналів у каналах середньої якості, де найбільш ймовірні помилки малої кратності ($t = 1, 2$), а характер повідомлення має внутрішню надмірність, яка дозволяє зкоригувати помилки вищої кратності, на наявність яких вкаже код. Така можливість була реалізована у системах пейджингового зв'язку. Код виправляв помилки малої кратності та виявляв помилки вищої кратності, що відображались у вигляді пропусків у словах та реченнях, а природна надмірність мови давала можливість абоненту відновлювати слова та речення.

Спробуємо проаналізувати методи забезпечення достовірності інформації в системах бездротового зв'язку. В технічній літературі під системою зазвичай розуміють сукупність елементів, що взаємодіють між собою в процесі функціонування пристрою,

що виконує певну поставлену задачу. Повне уявлення про характер системи можна отримати спостерігаючи за нею й виділяючи у неї певні властивості [1].

У процесі розроблення системи постає задача зробити її оптимальною у певному сенсі. Під цим мається на увазі розроблення, синтез такої системи, в процесі роботи якої забезпечувалось би екстремальне (максимальне або мінімальне, у залежності від поставленої задачі) значення показника якості роботи або критерію, який повинен характеризувати ефективність вирішення поставлених задач.

Процедура оптимізації за критерієм оптимальності може здійснюватися різними методами, на основі застосування різноманітного математичного апарату. Вибір методу залежить від властивостей математичної моделі, що описує роботу системи, від різних обмежень на множину оптимізуєючих параметрів, від сукупності параметрів, що піддаватимуться оптимізації.

Ряд ознак, які найбільше впливають на методи оптимізації системи або процеси, що відбуваються в ній:

- тип системи;
- властивості моделі (під моделлю системи маємо на увазі її математичний опис, що характеризує залежність вихідних характеристик системи від вхідної інформації. Моделі систем можуть по-різному бути описані й представляти собою диференціальні та інтегральні рівняння, рекурентні та алгебраїчні відношення тощо);
- умови роботи системи (система може працювати як в умовах наявності повної інформації так і в умовах, коли інформація носить випадковий, стохастичний характер. У цьому випадку оптимізація проводиться в умовах різних рівнів невизначеності. Також можливий варіант, коли маємо деяку апріорну інформацію про ймовірнісні характеристики сигналів та завад, але можливий і такий варіант, коли про вхідну інформацію й зовнішні впливи, які діють на систему, зовсім нічого не відомо);
- характер інформації (у залежності від виду інформації системи класифікують як дискретні, неперервно-дискретні та неперервні).

У решті решт, для коректного формулювання задачі оптимізації системи або процесу, який проходить у системі, необхідно мати відомості про вимоги, застосовані до даної системи та особливості її роботи. На Рис. 1. наведено процес оптимізації.



Рис. 1. Процес оптимізації системи

Якість роботи системи характеризується деяким числовим показником J , який потрібно в результаті оптимізації довести до екстремуму (наприклад до максимуму). За відомим значенням критерію, у залежності від методу оптимізації, здійснюється направлений вплив на систему (її параметри та характеристики), який повинен привести до досягнення максимуму J .

Показник системи у загальному випадку залежить від двох факторів:

- від заданих характеристик системи, що не піддаються процедурі оптимізації $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$;
- від характеристик, визначених у процесі оптимізації (вектори керування) $u = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$.

Взагалі, J залежить від вхідної інформації та початкового стану системи.

Класифікація об'єктів оптимізації наведена на Рис. 2.

До статичних об'єктів оптимізації зазвичай відносять розроблювані прилади та системи, у яких оптимізації за заданим критерієм піддаються будь-які характеристики або параметри, що використовуються розробником.

До динамічних об'єктів оптимізації відносять процеси та системи, робота яких оцінюється в часі, що заданий явно або неявно: наприклад процеси передачі та прийому інформації в системах з використанням турбокодів.

До детермінованих об'єктів оптимізації відносять статичні та динамічні об'єкти, характеристики та параметри яких повністю й однозначно визначені в конкретний момент часу. Об'єкти оптимізації є ймовірнісними, якщо хоча б одна характеристика чи параметр, що беруть участь у задачі оптимізації, мають ймовірнісне походження.

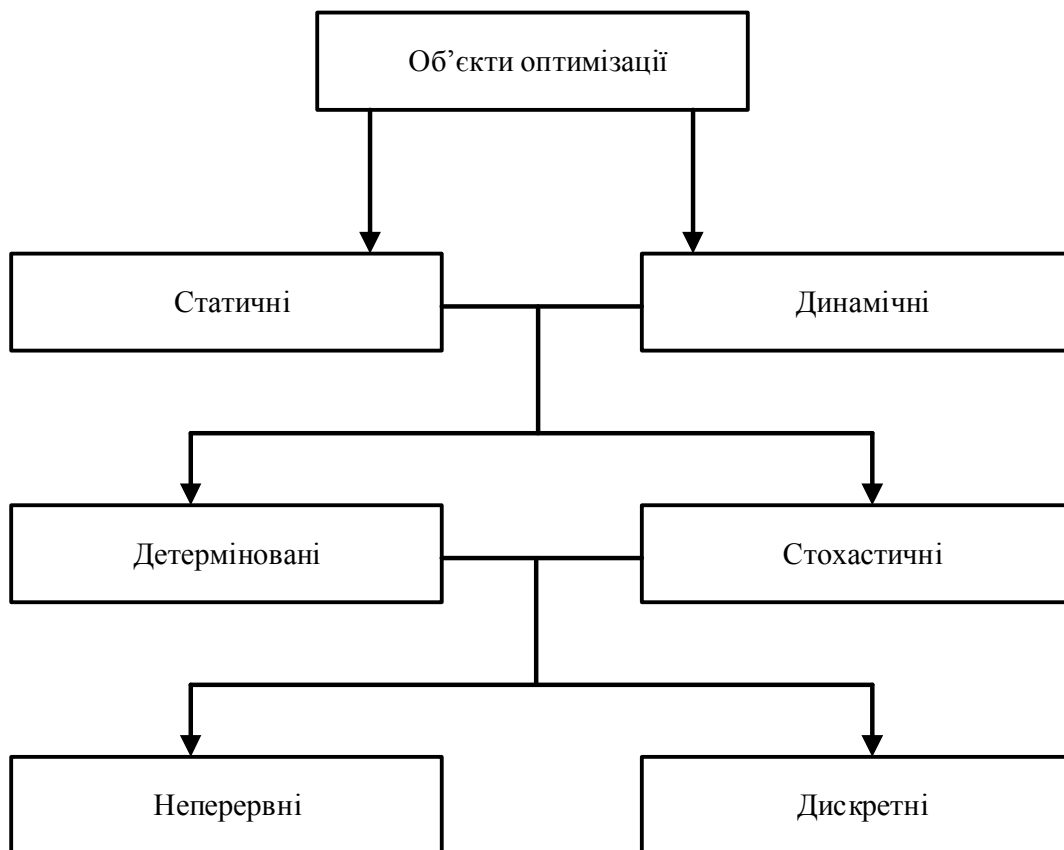


Рис. 2. Класифікація об'єктів оптимізації

Об'єкти оптимізації можуть бути детермінованими або ймовірнісними, дискретними або неперервними. В якості прикладу неперервного об'єкта оптимізації можна привести процес передачі та прийому аналогового телевізійного сигналу. Прикладом дискретного об'єкта оптимізації може слугувати процес передачі та прийому цифрової інформації.

Постає питання вибору кращих методів оптимізації для вирішення кожної конкретної задачі.

Класифікація методів оптимізації може бути проведена наступним чином:

- засновані на застосуванні класичних математичних методів;
- засновані на застосуванні динамічного програмування;
- засновані на застосуванні лінійного та нелінійного дискретного програмування;
- засновані на застосуванні принципу максимуму;
- засновані на градієнтних методах;

- методи оптимізації графів та граф-мереж;
- спеціальні методи оптимізації;
- методи оптимізації в умовах невизначеності.

Вибір класу методів оптимізації для вирішення кожної конкретної задачі залежить в основному від наступних факторів:

- від належності об'єкта оптимізації до того чи іншого класу;
- від способу задання критерія оптимізації;
- від складності реалізації моделі об'єкта.

Проте, слід зазначити, що вибір методу оптимізації є досить суб'єктивним.

Адаптивна передача, яка потребує точного оцінювання характеристик каналів у приймачі й надійного зворотного зв'язку між приймачем і передавачем, вперше була запропонована наприкінці 60-х років XX сторіччя [2]. Інтерес до даної теми був короткочасним, в основному через апаратні обмеження й відсутність якісних методів оцінки каналів та систем, орієнтованих на двоточкові радіолінії без зворотного зв'язку до передавача. Ці проблеми мають менший вплив у сучасних системах, у поєднанні зі значним попитом на спектрально-ефективний зв'язок. У свою чергу це підвищило інтерес до методів адаптивної модуляції. Основною ідеєю адаптивної передачі є підтримка постійного значення відношення сигнал/завада шляхом зміни рівня потужності [2], швидкості передачі символів [3], розміру решітки [4-6], швидкості та схеми кодування [7] або будь-якої комбінації цих параметрів [8-10]. Таким чином, без збільшення ймовірності помилки, ці схеми забезпечують досить високу середню спектральну ефективність в сприятливих умовах каналу і зниження пропускну здатності при погіршенні каналу. Адаптивні методи також використовуються для високошвидкісних модемів [11, 12], супутникових каналів [13-15] і для мінімізації спотворень або задоволення вимог до якості обслуговування (QoS) в бездротових застосуваннях [16, 17].

В роботі [18] представлений адаптивний алгоритм оптимізації значення відношення сигнал/завада, модуляції та кодових конструкцій при сталій швидкості кодування завадостійкого коду для систем 3GPP LTE. В залежності від значень функцій відображення з довідкової таблиці, отриманої в результаті моделювання, вибираються параметри модуляції, кодових конструкцій та значення сигнал/завада. При цьому розглядаються канали з білим гаусівським шумом.

В роботі [19] представлений алгоритм адаптації швидкості кодування завадостійкого коду для Wi-Fi технологій. Алгоритм базується на оцінці мінімальної відстані між найближчими точками решітки. В залежності від значення змінюється швидкість кодування та регулюється мінімальна відстань між точками.

В роботі [20] представлений алгоритм адаптації швидкості кодування та модуляції для мобільних систем зв'язку. В залежності від значення відношення сигнал/завада змінюється швидкість кодування та модуляція. При цьому також розглядаються канали з білим гаусівським шумом.

Найбільш поширеними методами для адаптації є градієнтні методи. Ці методи ефективні в поєднанні з завадостійким кодуванням. Методами пошуку називають методи знаходження оптимального значення довільної функції Q , відносно якої ми не маємо повних даних. Якщо функція Q , яку ми оптимізуємо відома не повністю або її вид невідомий зовсім та є можливість лише обчислити або виміряти значення функції в окремих точках, то процес знаходження її оптимального значення пов'язаний з експериментом, оскільки лише з його допомогою можна отримати більш конкретні дані про неї. Такого роду функції зустрічаються і в теоретичних дослідженнях, коли математичний вираз функції критерію оптимізації є досить складним і розрахунок її значень можливий лише за допомогою використання потужних процесорів [21].

Таким чином, під задачею пошуку будемо розуміти знаходження оптимального значення невідомих функції $Q(x_1, \dots, x_n)$ або таких значень змінних x_1^*, \dots, x_n^* , які відповідають оптимальному значенню функції $Q^* = Q(x_1^*, \dots, x_n^*)$. При цьому аналітична залежність між функцією критерія та змінними керування x_i ($i = \overline{1, n}$) або невідома, або дуже складна.

Під градієнтними методами оптимізації розуміють такі методи, в яких напрямок руху до точки екстремуму функції критерія Q визначається з точністю до знака напрямом градієнта цієї функції.

Градієнтні методи оптимізації полягають в побудові мінімізованої послідовності X^0, X^1, \dots, X^r за формулою:

$$X^{r+1} = X^r - \alpha \nabla(X^r)$$

де $\nabla(X) \in G$ - градієнт функції $Q(X)$ в точці X .

Задачі нелінійного програмування, які вирішуються методами пошуку, можна класифікувати по числу незалежних змінних $x_i \in X$, як одномірні ($i = 1$) та багатомірні ($i = \overline{1, n}; n \geq 2$).

До одномірних задач оптимізації відносяться такі методи: метод “золотого перерізу”, метод дихотомії тощо. Градієнтні методи пошуку дозволяють створювати процедури пошуку як для одномірних так і для багатомірних задач оптимізації.

Основною властивістю задач, які вирішуються градієнтними методами пошуку є наявність обмежуючих умов. Задача при цьому формулюється наступним чином: нехай система, що оптимізується характеризується деякою залежністю між вихідною величиною Q та вхідними змінними $Q = Q(x_1, \dots, x_n)$, причому вид функції Q може бути заздалегідь невідомим. Потрібно знайти таку сукупність змінних $x_i, i = \overline{1, n}$, для котрої величина Q мінімальна, а допустимі значення змінних x_i , задовольняють систему нерівностей $H_j(x_1, \dots, x_n) \leq 0, (j = \overline{1, m})$.

Градієнтні методи пошуку більшою частиною є ітераційними, тобто будується послідовність наближень X_0, X_1, \dots , що сходяться до точки $\min Q$.

Ітераційні методи називаються p -кроковими, якщо при побудові чергової ітерації використовуються результати p -попередніх. Більшість відомих методів є однокроковими, хоча зустрічаються нулькрокові, двокрокові і т.д.

Однокроковими градієнтними методами називають методи, в яких на кожному кроці для визначення напряму пошуку використовується тільки градієнт функції Q . Прикладами однокрокових методів є метод градієнта та метод найшвидшого спуску.

В деяких методах використовується лише значення функції Q , але не її похідних. Це нулькрокові методи.

Якщо є декілька екстремумів, то в цьому випадку необхідно приймати спеціальні заходи для надійного виявлення не локального, а глобального екстремуму [22, 23].

На сучасному етапі вивчається можливість застосування нейронних мереж для вирішення задач оптимізації кодових конструкцій. Використання штучного інтелекту дозволить проводити більш глибокий аналіз бездротових каналів зв'язку та завод, які в них виникають, виявляти закономірності їх виникнення та перебігу, завчасно пристосовувати до них параметри кодових конструкцій.

Висновки

Проведений огляд свідчить, що перед розробниками стоїть задача постійного підвищення ефективності бездротових систем передачі даних в умовах апіорної невизначеності. На сучасному етапі вона вирішується через забезпечення достовірності інформації за рахунок створення інформаційних технологій і методів, що використовують багаторівневу параметричну адаптацію кодових конструкцій. Сьогодні, звертаючи увагу на стрімкий розвиток технологій штучного інтелекту, вбачається можливим проведення оптимізації кодових конструкцій для каналів зв'язку різної якості з використанням нейронних мереж. Це дозволить оптимально підбирати й застосовувати більш «контрастні» кодові конструкції на фоні шумової картини, що постійно змінюється. Робота в даному напрямку триває.

Список літератури

1. Пашнеев С.Д., Минязов Р.И., Могилевский В.Д. Машинные методы оптимизации в технике связи. М.: Связь, 1976. 6 с.
2. Hayes J.F. Adaptive feedback communications. *IEEE Transactions on Communication Technology*. 1968. Vol. 16. P. 29 – 34.
3. Cavers J.K. Variable-rate transmission for Rayleigh fading channels. *IEEE Transactions on Communications*. 1972. Vol. 20. P. 12 – 22.
4. Otsuki S., Sampei S., Morinaga N. Square-QAM adaptive modulation/TDMA/TDD systems using modulation level estimation with Walsh function. *Electronics Letters*. 1995. Vol. 31. P. 169 – 171.
5. Webb W. T., Steele R. Variable rate QAM for mobile radio. *IEEE Transactions on Communications*. 1995. Vol. 43. P. 2223 – 2230.
6. Kamio Y., Sampei S., Sasaoka H., Morinaga N. Performance of modulation-level-controlled adaptive-modulation under limited transmission delay time for land mobile communications. *Proceedings of the IEEE VTC'95*. 1995. P. 221 – 225.
7. Vucetic B. An adaptive coding scheme for time-varying channels. *IEEE Transactions on Communications*. 1991. Vol. 39. P. 653 – 663.
8. Alamouti S.M. Adaptive trellis-coded multiple-phased-shift keying for Rayleigh fading channels. *IEEE Transactions on Communications*. 1994. Vol. 42. P. 2305 – 2314.
9. Ue T. Symbol rate and modulation level controlled adaptive modulation TDMA/TDD for personal communication systems. *Proceedings of the IEEE VTC'95*. 1995. P. 306 – 310.
10. Matsuoka H. Symbol rate and modulation level controlled adaptive modulation/TDMA/TDD for personal communication systems. *Proceedings of the IEEE VTC'96*. 1996. P. 487 – 491.
11. Bingham J.A.C. Multicarrier modulation for data transmission: an idea whose time has come. *IEEE Comm. Mag.* 1990. Vol. 28. P. 5 – 14.
12. Chow P.S., Cioffi J.M., Bingham John A.C. A practical discrete multitone transceiver loading algorithm for data transmission over spectrally shaped channels. *IEEE Trans. Commun.* 1995. Vol. 43. P. 773 – 775.
13. Filip M., Vilar E. Optimum utilization of the channel capacity of a satellite link in the presence of amplitude scintillations and rain attenuation. *IEEE Trans. Commun.* 1990. Vol. 38. P. 1958 – 1965.

14. Monk A.M., Milstein L.B. Open-loop power control error in a land mobile satellite system. *IEEE J. Select. Areas. Commun.* 1995. P. 205 – 212.
15. Rose J.L. Satellite communications in the 30/20 GHz band. *Satellite Communications*. 1985. P. 155 – 162.
16. Cox R.V., Hagenauer J., Seshadri N., Sundberg C.-E.W. Subband speech coding and matched convolutional channel coding for mobile radio channels. *IEEE Trans. Signal Proces.* 1991. Vol. 39. P. 1717 – 1731.
17. Yun L.C., Messerschmitt D.G. Variable Quality of Service in CDMA systems by statistical power control. *IEEE Intl. Commun. Conf. Rec.* 1995. P. 713 – 719.
18. Goldsmith A.J., Chua S.G. Adaptive Coded Modulation for Fading Channels. *IEEE Transactions on Commun.* 1998. Vol. 46. P. 595 – 602.
19. Chung S.T., Goldsmith A.J. Degrees of Freedom in Adaptive Modulation: A Unified View. *IEEE Transactions on Commun.* 2001. Vol. 49. P. 1561 – 1571.
20. Gho G.H., Kahn J.M. Rate-Adaptive Modulation and Coding for Optical Fiber Transmission Systems. *Journal of Light Wave Technology*. 2012. Vol. 30. P. 1818 – 1828.
21. Пашнеев С.Д., Минязов Р.И., Могилевский В.Д. Машинные методы оптимизации в технике связи. М.: Связь, 1976. С. 183 – 199.
22. Василенко В.М. Метод параметрической адаптации в условиях неопределенности. *Математичні машини і системи*, 2018. № 3. С. 76 – 88.
23. Зайцев С.В. Методи та моделі забезпечення сталої достовірності інформації у безпроводових системах передачі даних: дис. ... д-ра техн. наук. Чернігів, 2016. 397 с.

**OVERVIEW OF ADAPTIVE METHODS FOR ENSURING THE RELIABILITY
OF THE TRANSMISSION OF INFORMATION WHEN USING
INSTALLATION-FREE CODING IN WIRELESS SYSTEMS**

S.V. Zaitsev, V.M. Vasilenko, S.M. Semendiai

National Chernihiv Polytechnic University 95, Shevchenko Street,
Chernihiv, 14035, Ukraine. E-mail: serhii_semendiai@icloud.com

Analysis of the current state and development of wireless communication systems, such as first generation 1G, second generation 2G, third generation 3G, fourth generation 4G LTE-Advanced, fifth generation 5G, Wi-Max and Wi-Fi, shows the need application of information technologies that allow efficient data transmission in real time. In such systems, ensuring a given level of reliability of information transmission is carried out through the use of information technology adaptation and coding. With increasing noise levels, existing methods of ensuring the reliability of information based on correction codes do not provide the specified indicators of the efficiency of information transmission. With restrictions on code parameters, in systems with adaptation, in the case of increasing noise levels to a certain value, ensuring the specified characteristics of the reliability of information becomes impossible. Therefore, the question arises of the use of turbo codes and their multilevel parametric adaptation. In the case of reverse data decoding, there is a need for a priori information on the plausibility functions of the received data, taking into account the procedure of decoding algorithms based on probabilistic decoding, namely for turbo codes. It is possible to form estimates of uncertainty of information during decoding, to minimize these estimates by choosing the rules of decision using the methods of parametric adaptation and to ensure the reliability of information transfer.

Keywords: reliability, error-correcting coding, wireless communication, optimization methods.