

Національна академія наук України
Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору



ВАСИЛЕНКО ВЛАДИСЛАВ МИХАЙЛОВИЧ

УДК 004.415.3: 004.7(043)

**ЗАСОБИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ ПЕРЕДАЧІ
ІНФОРМАЦІЇ В УМОВАХ АПРІОРНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
член-кореспондент НАН України
Трофимчук Олександр Миколайович,
Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України, м. Київ,
директор інституту

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Оксіюк Олександр Глібович,
Київський національний університет імені Тараса
Шевченка, завідувач кафедри кібербезпеки та
захисту інформації факультету інформаційних
технологій

доктор технічних наук, доцент
Семко Віктор Володимирович
Київський університет імені Бориса Грінченка,
професор кафедри інформаційної та
кібернетичної безпеки факультету інформаційних
технологій та управління

Захист відбудеться "27" грудня 2018 р. о 13 год. 00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.255.01 в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України (03186, м. Київ, Чоколівський бульвар, 13, ауд. 601).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України (03186, м. Київ, Чоколівський бул., 13).

Автореферат розісланий " ____ " _____ 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук



О.Г. Лебідь

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Аналіз сучасного стану та розвитку систем безпроводового зв'язку, таких як систем мобільного зв'язку першого покоління 1G, другого покоління 2G, третього покоління 3G, четвертого покоління 4G LTE-Advanced, п'ятого покоління 5G, WiMax та WiFi, вимагає 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. Значний внесок у розвиток цього напрямку зроблений такими вченими, як А. Г. Зюко, Д. Д. Кловський, М. Л. Теплов, Л. М. Фінк, Л. Є. Варакін, В. Л. Банкет, В. В. Квашенников, В. І. Борисов, С. В. Зайцев, В. В. Казимир, І. А. Гепко, К. Шеннон, Д. Форні, Ф. Дж. Мак-Вільямс, К. Берроу, Л. Хензо, А. Голдсміт, М. Валенті та ін.

У випадку підвищення рівня шумів існуючі методи забезпечення достовірності інформації на основі корегуючих кодів не забезпечують заданих показників ефективності передачі інформації. При обмеженнях на параметри кодів в системах з адаптацією у випадку підвищення рівнів шумів до певного рівня забезпечення заданих характеристик достовірності інформації стає неможливим. Тому постає питання застосування багаторівневої параметричної адаптації параметрів турбокодів (ТК).

При декодуванні кодованих даних стають необхідні апріорні відомості щодо знання функцій правдоподібності прийнятих даних з урахуванням процедури декодування та алгоритми, які засновані на ймовірнісному декодуванні, що характерно 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.

Тому науково-прикладна задача, яка полягає у *забезпеченні достовірності передачі інформації в системах безпроводового зв'язку в умовах апріорної невизначеності за рахунок розроблення методів багаторівневої параметричної адаптації турбокодів*, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Напрямки досліджень дисертаційної роботи пов'язані з реалізацією розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.05.2013 року №386-р «Про схвалення Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні». Дисертаційну роботу виконано згідно плану науково-дослідних робіт Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України у рамках держбюджетних тем: «Розробка нових програмних засобів і технологій пошуку, впорядкування, обробки та представлення інформації у інформаційному просторі» 2014-2016 рр. (0114U000798); «Розробка методологічних засад інтеграції інформаційно-комунікаційних систем на базі єдиної інформаційної платформи» 2017-2019рр. (0117U000002).

Мета дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає у підвищенні ефективності безпроводових систем передачі даних в умовах апріорної невизначеності через забезпечення достовірності інформації за рахунок

створення інформаційної технології, моделей і методів, що використовують багаторівневу параметричну адаптацію кодових конструкцій турбокоду.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Проаналізувати існуючі методи забезпечення достовірності інформації в умовах апіорної невизначеності.
2. Проаналізувати математичні методи адаптивного управління.
3. Сформулювати критерії достовірності інформації.
4. Розробити метод трирівневої адаптації параметрів турбокодів .
5. Розробити метод адаптивного вибору параметрів S -випадкового перемешувача в безпроводових системах передачі даних з турбокодуванням.
6. Удосконалити метод формування гібридного запиту на повторну передачу в умовах невизначеності.
7. Розробити інформаційну технологію забезпечення достовірності інформації за рахунок багаторівневої параметричної адаптації турбокодів.

Об'єкт дослідження – процеси формування і переробки кодованих даних у безпроводових інформаційно-телекомунікаційних системах.

Предмет дослідження – моделі та методи забезпечення достовірності інформації у безпроводових системах передачі даних.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач були використані такі методи: *для розроблення методів параметричної адаптації кодів* – методи теорії управління, кодування, прийняття рішень, адаптивних систем, оптимізації, зв'язку; *для розробки імітаційної моделі процесу функціонування безпроводової системи передачі даних* – методи імітаційного моделювання, об'єктно-орієнтованого програмування.

Наукова новизна отриманих результатів. До нових наукових результатів, отриманих у дисертаційній роботі, відносяться:

1. Вперше запропоновано метод трирівневої адаптації параметрів турбокодів, який, на відміну від наявних, включає триступеневу адаптацію параметрів турбокодів за запропонованим показником невизначеності.

2. Вперше запропоновано метод адаптивного вибору параметрів S -випадкового перемешувача в безпроводових системах передачі даних з турбокодуванням, який, на відміну від відомих, здійснює вибір параметра розносу S в залежності від значень показника невизначеності декодування.

3. Вдосконалено процес прийняття рішення при декодуванні турбокодів за рахунок використання додаткової апіорної інформації та невизначеності декодування.

4. Отримав подальший розвиток метод формування гібридного запиту на повторну передачу, який, на відміну від існуючих, для забезпечення заданих показників достовірності здійснює повторну передачу тільки помилкових біт даних, отриманих за результатами декодування з урахуванням невизначеності.

5. Встановлено, що використання інформаційної технології забезпечення достовірності інформації за рахунок багаторівневої параметричної адаптації турбокодів дозволяє забезпечити задане значення достовірності інформації при зменшенні значення відношення сигнал/шум (ВСШ) на 0.4 дБ в залежності від розміру блоку переданих даних.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що наведені вище наукові результати у своїй сукупності утворюють нову інформаційну

технологію забезпечення достовірності інформації в безпроводових системах передачі даних в умовах апріорної невизначеності за рахунок багаторівневої параметричної адаптації турбокодів.

Впровадження результатів роботи може дозволити:

1. Забезпечувати достовірність інформації в безпроводових системах передачі даних в умовах апріорної невизначеності.

2. Вибирати параметри турбокодів у системах безпроводового зв'язку.

3. Оцінювати достовірність інформації в умовах апріорної невизначеності.

Результати дослідження доцільно використовувати промисловими й науково-дослідними організаціями з метою забезпечення достовірності адаптивних безпроводових систем передачі даних.

Отримані результати досліджень впроваджені при розробці комплексних систем захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах ТОВ «Інформаційна безпека» та при створенні комплексів захисту цілісності інформації ТОВ «НікС».

Автор дисертаційної роботи брав участь у цих науково-дослідних роботах як співвиконавець, що підтверджується відповідними актами реалізації в додатку дисертаційної роботи.

Особистий внесок здобувача. Всі результати, які виносяться на захист, автор отримав самостійно. Роботи [4–5] виконувались без співавторів. У роботах, написаних у співавторстві, автору належить алгоритм вибору параметру розносу S -випадкового перемешувача [2], алгоритм параметричної адаптації кодових конструкцій та вибору параметрів турбокоду [3], оцінка завадозахищеності моделі [1], аналіз систем гібридного автоматичного запиту на повторну передачу [6].

Апробація результатів роботи. Основні наукові результати дисертаційної роботи були обговорені та викладені на: XV і XVII Міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях» (м. Київ, Пуща-Водиця, 2016 р., 2018 р.), IV Міжнародна науково-практична конференція «Україна – ЄС. Сучасні технології, економіка та право» (м. Кошице, Словаччина, 2018 р.), III Міжнародна науково-практична конференція «Теорія та практика актуальних наукових досліджень» (м. Запоріжжя, 2018 р.), Тридцята міжнародна науково-практична конференція «Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС 2018» (м. Київ-Чернігів-Жукін, 25 - 29 червня 2018 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи повно викладені в 6 публікаціях, що включають: 4 наукові статті у фахових українських наукових журналах та 2 одноосібні, 2 статті у зарубіжних фахових наукових журналах, 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір та 5 публікацій у збірниках матеріалів наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, додатків і списку використаних літературних джерел. Загальний обсяг роботи складає 190 сторінок друкованого тексту, у тому числі містить 58 рисунків, 13 таблиць, список використаних джерел, що містить 170 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність проведених у дисертаційній роботі досліджень; сформульовані наукова задача та мета роботи, завдання досліджень, основні напрямки вирішення поставленої наукової задачі, зв'язок з науковими програмами, планами та темами; зазначені наукова новизна і практичне значення отриманих результатів; приведені відомості про апробацію, публікації та реалізацію основних результатів, отриманих у роботі.

Перший розділ присвячено аналізу сучасного стану та методів забезпечення достовірності інформації безпроводових систем передачі даних, а також постановці завдань, які вирішуються в дисертації.

Проведено аналіз сучасного стану систем безпроводового зв'язку. Проведений аналіз показав, що основними перевагами безпроводових систем є підвищена ефективність, більша гнучкість при користуванні, зниження вартості при розширенні систем та їх обслуговуванні.

Проаналізовано основні характеристики систем мобільного зв'язку першого покоління 1G, другого покоління 2G, третього покоління 3G, четвертого покоління 4G LTE-Advanced, п'ятого покоління 5G, WiMax та WiFi. Встановлено, що дана тенденція розвитку призвела до створення нових безпроводових систем та стандартів для багатьох видів телекомунікаційного трафіку.

Розглянуто завадостійкі коди, а саме їх класифікацію, принцип побудови, застосування завадостійких кодів в безпроводових системах та особливості їх використання. Проведений аналіз показав основні області використання завадостійких кодів.

Проведено аналіз методів забезпечення достовірності інформації в системах безпроводового зв'язку. Виділено ряд ознак, які впливають на методи оптимізації систем та моделей з кодуванням.

Аналіз публікацій вітчизняних і закордонних авторів показав, що у випадку підвищення рівня шуму, існуючі методи забезпечення достовірності інформації на основі корегуючих кодів не забезпечують заданих показників ефективності передачі інформації. При обмеженнях на параметри кодів в системах з адаптацією у випадку підвищення рівнів шумів до певного рівня забезпечення заданих характеристик достовірності інформації стає неможливим. Тому постає питання застосування багаторівневої параметричної адаптації параметрів турбокодів.

При декодуванні кодованих даних стають необхідні апріорні відомості щодо знання функцій правдоподібності прийнятих даних з урахуванням процедури декодування та алгоритми, які засновані на ймовірнісному декодуванні, що характерно 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.

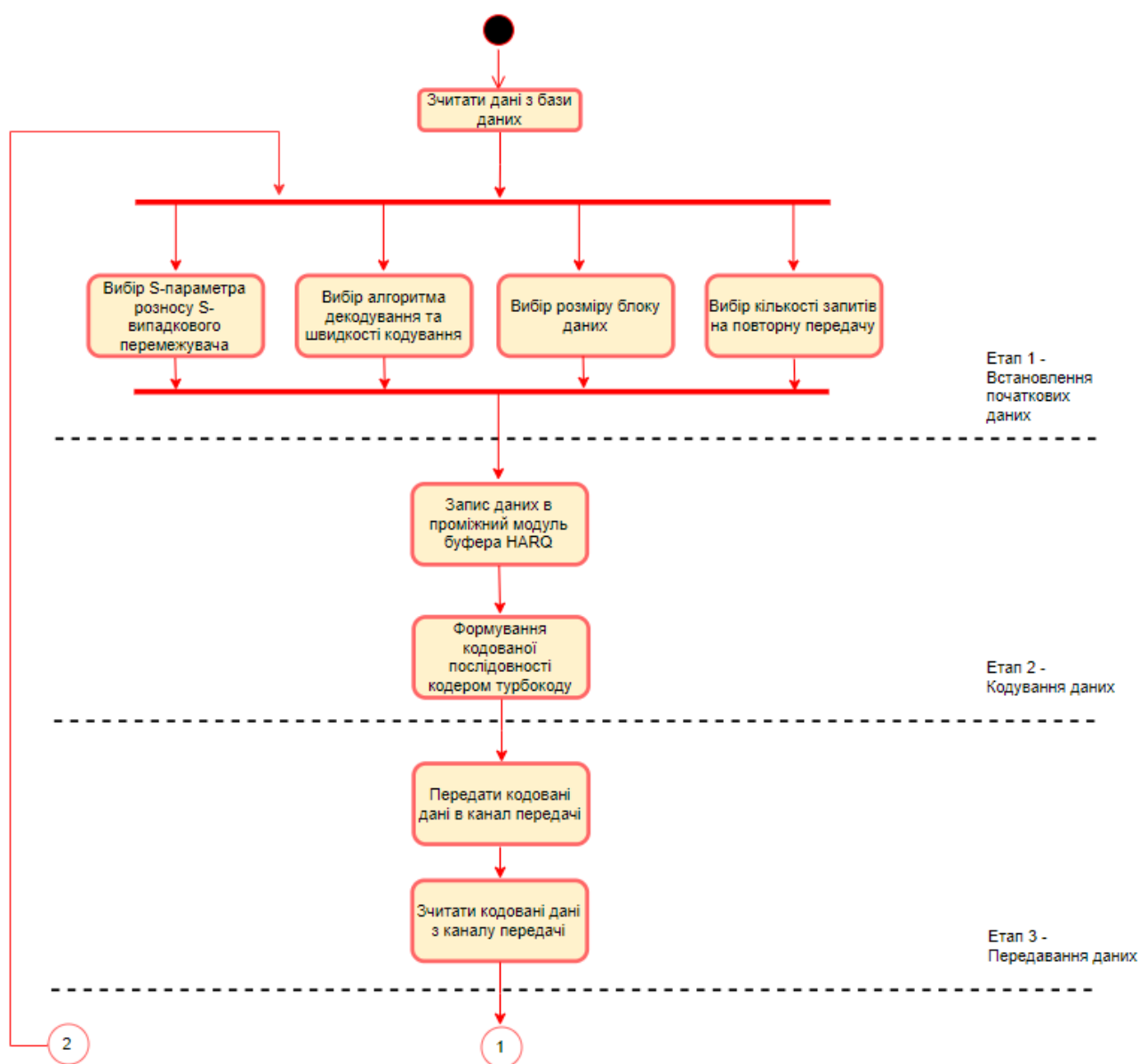
Доведено, що задача забезпечення достовірності передачі інформації в системах безпроводового зв'язку в умовах апріорної невизначеності за рахунок розроблення методів багаторівневої параметричної адаптації турбокодів є

актуальною на сьогоднішньому етапі розвитку безпроводових систем передачі даних.

Другий розділ присвячений розробці методу тривірневої адаптації каскадних кодів для забезпечення достовірності передачі інформації.

Розглянуто основні алгоритми декодування турбокодів: алгоритм декодування по максимуму апостеріорної ймовірності MAP, алгоритм декодування MAX-LOG-MAP, алгоритм декодування LOG-MAP, алгоритм декодування Вітербі з “м’яким” виходом SOVA, а також їх принцип використання, основні недоліки та переваги. Встановлено, що найбільш ефективним з представлених алгоритмів для використання в безпроводових засобах передачі даних є алгоритм декодування LOG-MAP, який мінімізує ймовірність помилкового декодування біт інформації.

На Рис.1 представлений алгоритм роботи методу тривірневої адаптації каскадних кодів.



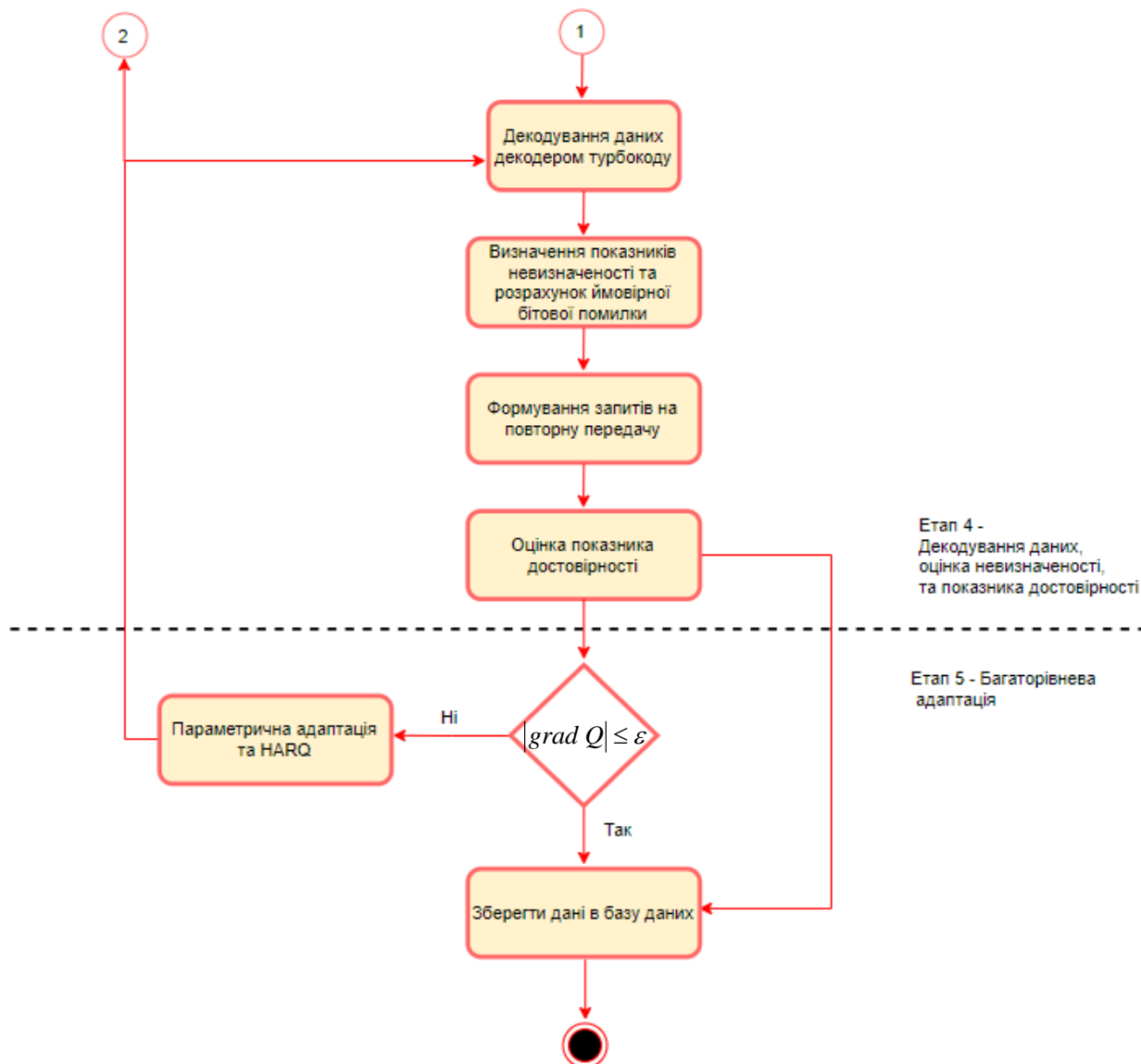


Рис.1. Структурна схема параметричної адаптації системи передачі інформації

Алгоритм реалізації метода параметричної адаптації такий.

Крок 1. Формування множини значень систематичних інформаційних бітів U^c розміром $1 \times K$, вироблених кодером турбокодів:

$$U^c = \{u_1^c, u_2^c, u_3^c, \dots, u_K^c\}, \quad (1)$$

де K – довжина вхідної послідовності.

Крок 2. Для операції перемешування використовується S -випадковий перемешувач, де початковий параметр $S = \lfloor (\sqrt{K}/2) \rfloor$. При цьому мінімальне значення параметра $S_{\min} = 2$, а максимальне значення дорівнює $S_{\max} = \sqrt{K}$.

Крок 3. Формування множини апіорних значень логарифмічного відношення функції правдоподібності (ЛВФП) про передані біти на 2-му декодері j -ї ітерації

$$LA = [L_a^{2,j}(x_1^c) \quad L_a^{2,j}(x_2^c) \quad \dots \quad L_a^{2,j}(x_K^c)] \quad (2)$$

Крок 4. Формування множини апостеріорних значень ЛВФП про передані біти

$$LE = [L_e^{2,j}(x_1^c) \quad L_e^{2,j}(x_2^c) \quad \dots \quad L_e^{2,j}(x_K^c)] \quad (3)$$

Крок 5. Виконання циклу: якщо $\text{sign}(L_a^{d,j}(x_i^C)) \neq \text{sign}(L_e^{d,j}(x_i^C))$, то $R^{d,j}(i+1) = R^{d,j}(i) + 1$, де $R^{d,j}(i)$ – показник невизначеності для декодера d , $d \in \overline{1,2}$, ітерації декодування j , $j \in \overline{1,I}$, I – кількість ітерацій декодування, $i \in \overline{1,K}$ для всіх біт блока довжиною K , $R_\Sigma = \sum_{j=1}^I \sum_{d=1}^2 R^{d,j}$, де R_Σ – сумарний показник невизначеності для всіх ітерацій декодування. Якщо умова не виконується, то $R^{d,j}(i+1) = R^{d,j}(i)$.

Крок 6. Розрахунок середнього показника невизначеності за результатами приймання B блоків даних:

$$\tilde{R} = \sum_{i \in I} R_{\Sigma i} \quad (4)$$

Далі розглянемо алгоритм 2. Сутність алгоритму 2 полягає в виборі s -параметра S -випадкового перемешувача, розміру блоку даних, швидкості кодування, алгоритму декодування турбокоду, кількості запитів на повторну передачу в залежності від показника невизначеності.

1. Задаються початкові дані: кількість біт у блоці N , початковий параметр розносу s для S -випадкового перемешувача, швидкість кодування турбокоду R , види утворюючих поліномів компонентних кодів турбо коду $(1, g_1/g_0, \dots, g_n/g_0)$, кількість компонентних кодерів (декодерів), метод декодування ТК (MAP, LOG-MAP, MAX-LOG-MAP), кількість ітерацій декодування I , кількість запитів на повторну передачу H , ймовірність бітової помилки допустима $P_{\text{пом. доп.}}$.

2. За показник оптимальності процесу адаптації виберемо квадрат похибки (відхилення регульованої величини від заданої):

$$Q = e^2, \quad (5)$$

де $e = P_{\text{пом.}} - P_{\text{пом. доп.}}$.

3. Задана функція критерію $Q(x_1, \dots, x_n)$ та відомі початкові значення параметрів оптимізації $\{x_1^0, \dots, x_n^0\}$. Потрібно визначити мінімальне значення функції Q^* та координати точки мінімуму $\{x_1^*, \dots, x_n^*\}$.

4. Використаємо наближене обчислення градієнта:

$$\text{grad } Q^r = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta Q_i}{\Delta x_i} j_i = \frac{Q(x_1^r, \dots, x_i^r + \Delta x_i^\Pi, \dots, x_n^r) - Q(x_1^r, \dots, x_i^r, \dots, x_n^r)}{\Delta x_i} j_i \quad (6)$$

Почергово всім елементам вектора регулюючої дії x_i додають малі прирощення Δx_i^Π та вимірюють приріст ΔQ_i для функції Q .

5. Умовою закінчення процесу пошуку екстремуму є:

$$|\text{grad } Q| \leq \varepsilon, \quad (7)$$

де ε – допустиме відхилення.

Елементами вектора регулюючої дії Q є: x_1 – s -параметр S -випадкового перемешувача, x_2 – розмір блоку даних N , x_3 – швидкість кодування турбокоду R , x_4 – алгоритм декодування ТК, x_5 – кількість запитів на повторну передачу H .

На Рис. 2 показаний отриманий в результаті імітаційного моделювання графік адаптації кодових конструкцій завадостійких кодів в безпроводових

засобах передачі даних у часі (відношення сигнал/шум при цьому було вибрано $E_b / N_0 = 2,6$ дБ), де E_b – енергія біта, N_0 – спектральна щільність потужності білого гауссівського шуму з адаптивним вибором розміру блоку N , параметра розносу перемешування S -випадкового перемешувача, швидкості кодування R , кількості запитів на повторну передачу H , алгоритму декодування.

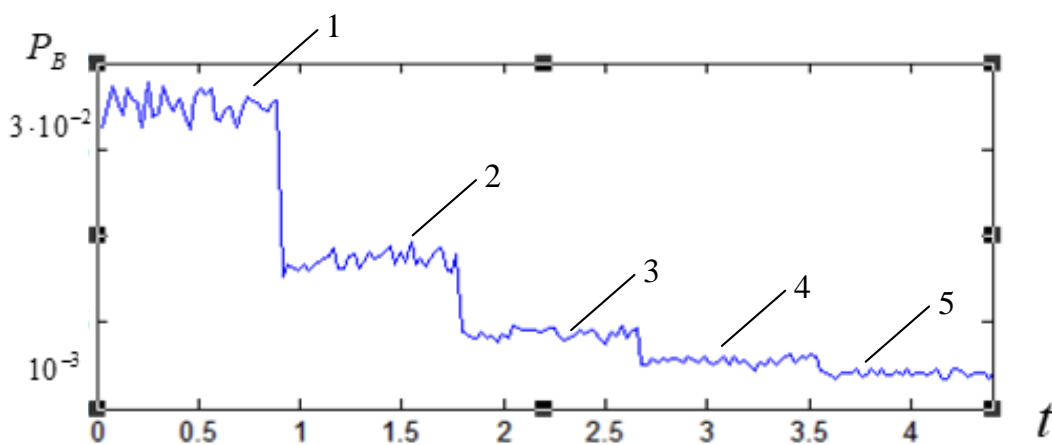


Рис. 2. Результати імітаційного моделювання адаптації кодових конструкцій завадостійких кодів

На Рис. 2 графік розбитий на 5 ділянок, за кількістю змін параметрів при адаптації:

1. На першій ділянці встановлені початкові параметри: $N = 100$, S -випадковий, $I = 1..8$, $R = 1/2$, MAX-LOG-MAP, $H = 1$, $S = 2$.

2. На другій ділянці при адаптації змінюється кількість біт у блоці та кількість запитів на повторну передачу: $N = 200$, S -випадковий, $I = 1..8$, $R = 1/2$, MAX-LOG-MAP, $H = 2$, $S = 2$.

3. На третій ділянці змінюється швидкість кодування та алгоритм декодування: $N = 200$, S -випадковий, $I = 1..8$, $R = 1/3$, LOG-MAP, $H = 2$, $S = 2$.

4. На четвертій ділянці змінюється параметр розносу S -випадкового перемешувача: $N = 200$, S -випадковий, $I = 1..8$, $R = 1/3$, LOG-MAP, $H = 2$, $S = 7$.

5. На п'ятій ділянці при адаптації змінюється кількість біт у блоці та кількість запитів на повторну передачу: $N = 500$, S -випадковий, $I = 1..8$, $R = 1/3$, LOG-MAP, $H = 3$, $S = 7$.

Аналіз Рис. 2 свідчить, що використання методу дозволяє досягти поставленої достовірності передачі інформації та підвищити достовірність передачі інформації, при цьому кількість помилок зменшується в 4 - 6 разів.

В **третьому розділі** розглянуто поняття та призначення перемешувача. Розглянуто основні типи перемешувачів, регулярні та псевдовипадкові, а саме: псевдовипадковий перемешувач, S -випадковий, сильно-розсіюючий випадковий, діагонально-переставляючий, перемешувач типу «рядок-стовпчик», перемешувач типу «спіральний», перемешувач типу «парний-непарний», перемешувач Берроу-Глав'є, UMTS-перемешувач, перемешувач «рядок за рядком», перемешувач «чотири на чотири», York-перемешувач, рівномірний перемешувач, які використовуються в турбокодах, їх структура, умови використання, ефект від використання.

Визначено, що від оптимального вибору перемешувача залежить ефективність процесів кодування та декодування турбокодів, а тому і достовірності передачі інформації.

На Рис. 3 показана структурна схема модифікованого кодера ТК. Кодер ТК складається з каскадної побудови паралельно з'єднаних рекурсивних систематичних згорткових кодів (РСЗК), розділених пристроєм перемешування. Використовується S -випадковий перемешувач, параметри якого будуть змінюватися за інформацією з блоку прийняття рішень ітеративного декодера ТК.

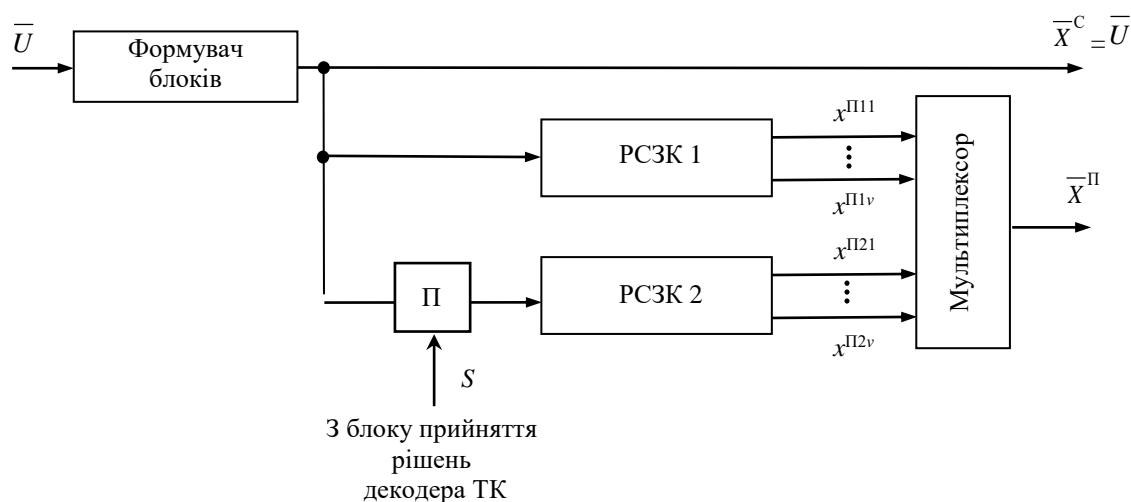


Рис. 3. Структурна схема модифікованого кодера ТК

Існують три події про прийняття рішень при декодуванні декодером d , $d \in \overline{1,2}$, ітерації декодування j , $j \in \overline{1,I}$ біта інформації:

1) подія A_1 . Змін знака у значеннях $L_a^{d,j}(x_i^C)$ й $L_e^{d,j}(x_i^C)$ ітерації j не відбувається ($\text{sign}(L_a^{d,j}(x_i^C)) = \text{sign}(L_e^{d,j}(x_i^C))$), $L(x_i^C) \geq 0$. Прийняте «тверде» рішення, що був переданий біт $x_i^C = 1$.

2) подія A_2 . Змін знака у значеннях $L_a^{d,j}(x_i^C)$ і $L_e^{d,j}(x_i^C)$ ітерації j не відбувається ($\text{sign}(L_a^{d,j}(x_i^C)) = \text{sign}(L_e^{d,j}(x_i^C))$), $L(x_i^C) < 0$. Прийняте «тверде» рішення, що був переданий біт $x_i^C = 0$.

3) подія A_3 . Знак значення апіорної $L_a^{d,j}(x_i^C)$ і знак значення апостеріорної інформації $L_e^{d,j}(x_i^C)$ ітерації j не дорівнює нулю ($\text{sign}(L_a^{d,j}(x_i^C)) \neq \text{sign}(L_e^{d,j}(x_i^C))$). Можуть виникнути помилки декодування.

Структурна схема модифікованого ітеративного декодера турбокоду з блоком прийняття рішень, яка містить модулі розрахунку показників невизначеності $R^{d,j}$ – показник невизначеності для декодера d , $d \in \overline{1,2}$, ітерації декодування j , $j \in \overline{1,I}$, I – кількість ітерацій декодування, R_Σ – сумарний показник невизначеності для всіх ітерацій декодування, \tilde{R} – середній показник невизначеності, показана на Рис. 4. За значеннями \tilde{R} здійснюється вибір параметра розносу s біт даних S -випадкового перемешувача. Інформація про значення параметра s передається на кодер та декодер ТК для зміни алгоритму перемешування (деперемешування).

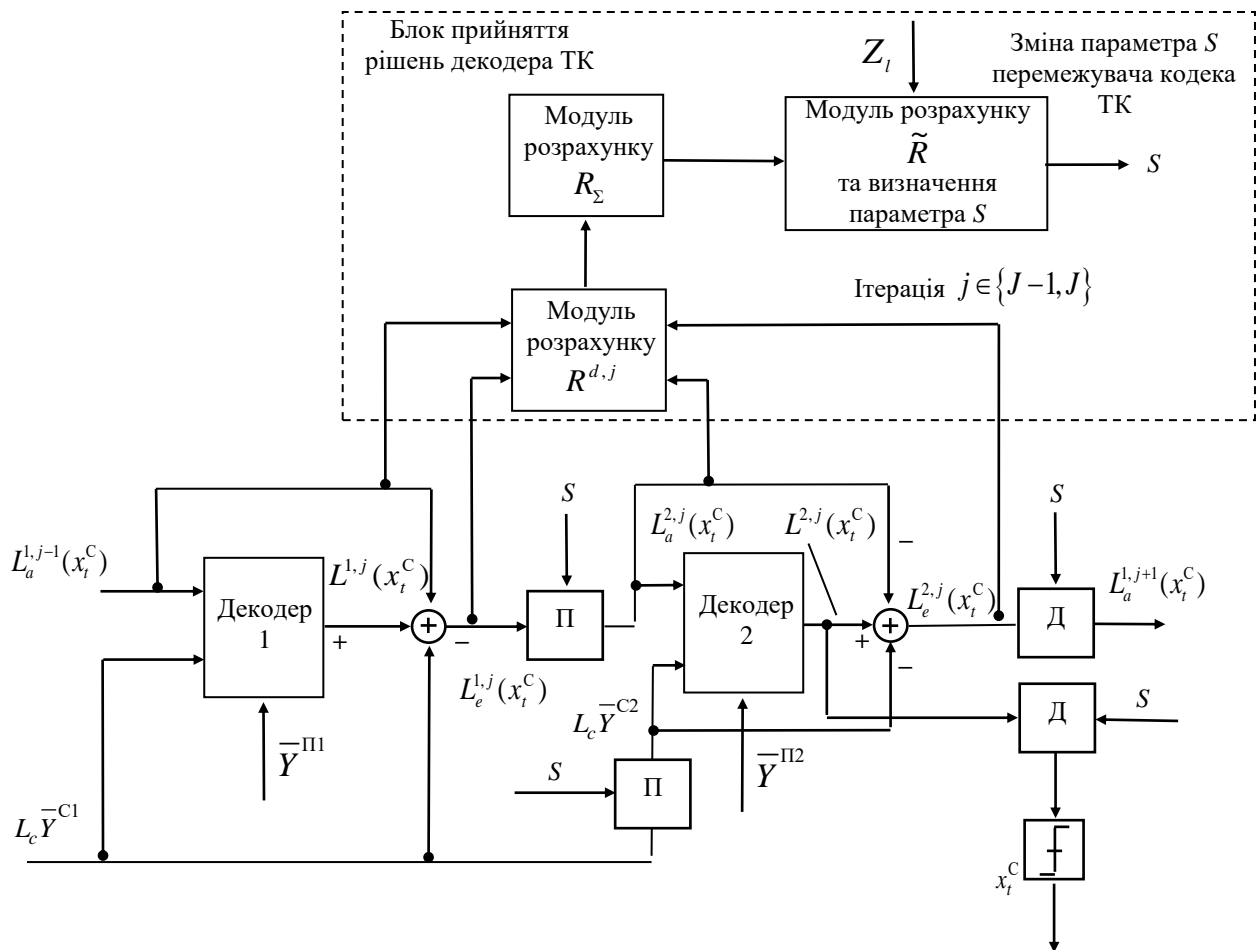


Рис. 4. Структурна схема модифікованого ітеративного декодера ТК

Принцип роботи методу має наступний вигляд.

На першому етапі формуються множини значень систематичних інформаційних бітів, генерованих кодером турбокодів.

$$U^C = \{u_1^C, u_2^C, u_3^C, \dots, u_K^C\}, \quad (8)$$

де K – довжина вхідної послідовності.

На другому етапі визначається початкове значення S -випадкового перемикача, яке дорівнює $S = \lfloor (\sqrt{K}/2) / 2 \rfloor$. При цьому мінімальне значення параметра $S_{\min} = 2$, а максимальне значення дорівнює $S_{\max} = \sqrt{K}$.

На третьому етапі формуються множини апіорних (2) та апостеріорних (3) логарифмічних відношень функцій правдоподібності.

На четвертому етапі відбувається розрахунок сумарного показника невизначеності R_Σ на всіх ітераціях декодування. Для цього виконується цикл – якщо $\text{sign}(L_a^{d,j}(x_t^C)) \neq \text{sign}(L_e^{d,j}(x_t^C))$, то $R^{d,j}(i+1) = R^{d,j}(i) + 1$, де $R^{d,j}(i)$ – показник невизначеності для декодера d , $d \in \overline{1,2}$, ітерації декодування j , $j \in \overline{1,I}$, I – кількість ітерацій декодування, $i \in \overline{1,K}$ для всіх біт блока довжиною K

$R_\Sigma = \sum_{j=1}^I \sum_{d=1}^2 R^{d,j}$. Якщо умова не виконується, то $R^{d,j}(i+1) = R^{d,j}(i)$.

На п'ятому етапі відбувається розрахунок середнього показника невизначеності за результатами приймання B блоків даних.

$$\tilde{R} = \sum_{i \in I}^B R_{\Sigma_i}. \quad (9)$$

На останньому етапі розраховується значення відношення сигнал-завада і за рішенням умовної дискретної задачі оптимізації: $S^* = \min_S f(\|\tilde{R}(S) - R_{зад}(S)\|, Z)$, вибирається параметр розносу перемешування біт даних S для S -випадкового перемешувача. Задані значення показника невизначеності $\tilde{R}_{зад}$ отримуються за допомогою поведінки статистичного імітаційного моделювання системи з турбокодами в умовах впливу флуктуаційного шуму і навмисних завад для заданих значень середньої ймовірності бітової помилки декодування $P_{B дек}$, $f(\cdot)$ – задається у вигляді наперед сформованої за допомогою моделювання таблиці, яка зберігається у базі даних.

У Табл. 1 показані значення нормованих показників невизначеності, які застосовуються при параметричній адаптації (кількість біт в блоці $N = 900$), отримані шляхом проведення імітаційного моделювання для ТК з поліномами (1, 7/5), (1, 13/11), (1, 23/21), (1, 37/35), швидкістю кодування $R=1/3$, алгоритмом декодування LOG-MAP, 8 ітераціями декодування при використанні каналу з адитивним білим гауссівським шумом з різними значеннями відношення сигнал-шум.

Табл. 1. Значення нормованих показників невизначеності для S -випадкового перемешувача (кількість біт в блоці $N = 900$)

ВСШ, дБ	(1, 7/5)	(1, 13/11)	(1, 23/21)	(1, 37/35)
0	$\tilde{R}_{зад} = 0.24$	$\tilde{R}_{зад} = 0.23$	$\tilde{R}_{зад} = 0.22$	$\tilde{R}_{зад} = 0.2$
0.3	$\tilde{R}_{зад} = 0.21$	$\tilde{R}_{зад} = 0.20$	$\tilde{R}_{зад} = 0.18$	$\tilde{R}_{зад} = 0.16$
0.6	$\tilde{R}_{зад} = 0.16$	$\tilde{R}_{зад} = 0.15$	$\tilde{R}_{зад} = 0.13$	$\tilde{R}_{зад} = 0.12$
0.9	$\tilde{R}_{зад} = 0.12$	$\tilde{R}_{зад} = 0.11$	$\tilde{R}_{зад} = 0.10$	$\tilde{R}_{зад} = 0.9$
1.2	$\tilde{R}_{зад} = 0.09$	$\tilde{R}_{зад} = 0.08$	$\tilde{R}_{зад} = 0.07$	$\tilde{R}_{зад} = 0.06$
1.5	$\tilde{R}_{зад} = 0.06$	$\tilde{R}_{зад} = 0.05$	$\tilde{R}_{зад} = 0.04$	$\tilde{R}_{зад} = 0.03$
1.8	$\tilde{R}_{зад} = 0.05$	$\tilde{R}_{зад} = 0.04$	$\tilde{R}_{зад} = 0.03$	$\tilde{R}_{зад} = 0.02$
2.1	$\tilde{R}_{зад} = 0.03$	$\tilde{R}_{зад} = 0.02$	$\tilde{R}_{зад} = 0.01$	$\tilde{R}_{зад} = 0.008$
2.4	$\tilde{R}_{зад} = 0.016$	$\tilde{R}_{зад} = 0.014$	$\tilde{R}_{зад} = 0.004$	$\tilde{R}_{зад} = 0.003$

На Рис. 5 отриманий в результаті імітаційного моделювання графік залежності середньої ймовірності бітової помилки декодування $P_{B дек}$ від відношення сигнал-шум E_b/N_f , де E_b – енергія біта, N_f – спектральна щільність потужності білого гауссівського шуму, без адаптивного вибору параметра розносу перемешування S -випадкового перемешувача (як в стандарті LTE) і з застосуванням адаптації.

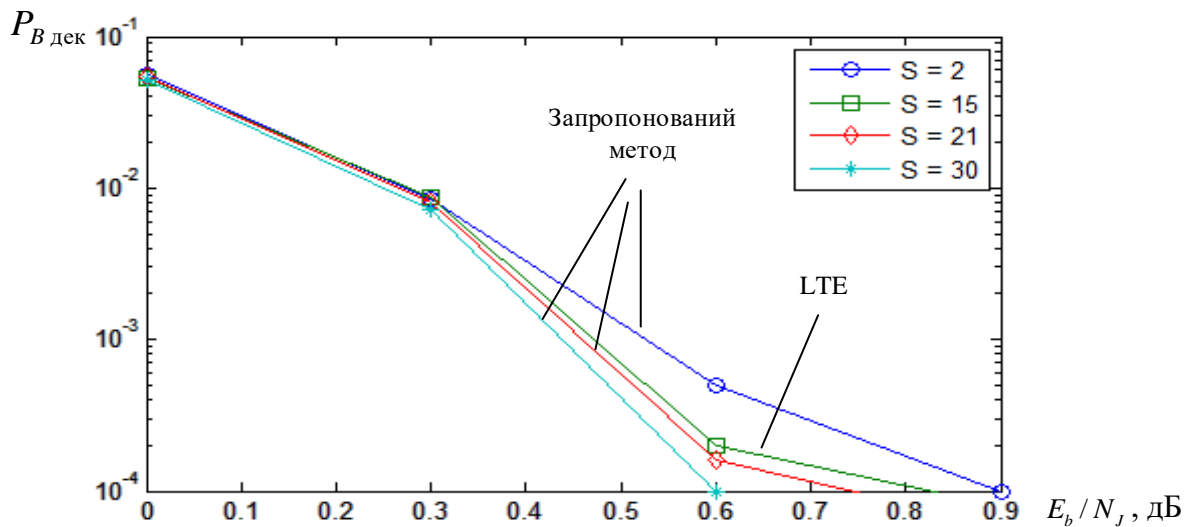


Рис. 5. Результати моделювання характеристик достовірності передачі інформації при використанні розміру блоку даних $N = 900$

Аналіз результатів моделювання, показаний на Рис. 5, свідчить про те, що кількість помилок зменшується в 1,1 разів, виходить енергетичний виграв у відношенні сигнал-шум на 0,15 дБ. І навпаки, зі зменшенням спектральної щільності потужності шуму в каналі зменшується значення параметра s , за умови підтримки заданої достовірності передачі інформації, при цьому зменшується складність реалізації процесу кодування/декодування інформаційної послідовності біт даних.

В **четвертому розділі** предсавлено класифікацію систем контролю за помилками, їх особливості та відмінності.

Розглянуто основні типи ARQ, а саме: stop-and-wait ARQ, go-back-N ARQ та ARQ вибіркового повтору, їх процес роботи та головні особливості. Встановлено, що найбільш ефективним протоколом є ARQ вибіркового повтору. Але в той же час даний протокол має найбільш складну реалізацію за рахунок впровадження буферів для зберігання проміжної інформації.

Розглянуто класифікацію систем HARQ за типом передачі. Встановлено, що синхронна неадаптивна система HARQ має найменші накладні витрати, а також забезпечує мінімальну гнучкість. З іншого боку, асинхронна адаптивна схема забезпечує максимальну гнучкість за рахунок великих накладних витрат.

Розглянуто основні типи HARQ систем, які використовуються для підвищення надійності передачі даних в бездротові стандарти, такі як LTE, LTE-Advanced та WiMAX.

Представлено модифікований метод формування гібридного запиту на повторну передачу в умовах невизначеності. Суть методу полягає в повторній передачі біт даних, які визначилися як помилкові, з використанням додаткової інформації про ЛВФП для цих біт при обчисленні результуючих функцій правдоподібності декодером турбокоду. Існуючі методи формування гібридного автоматичного запиту на повторну передачу використовують при кожній наступній передачі повторно цілий блок даних, значно знижуючи при цьому пропускну здатність каналів передачі даних.

На Рис.6 представлена структурна схема модифікованого адаптивного ітеративного декодера ТК.

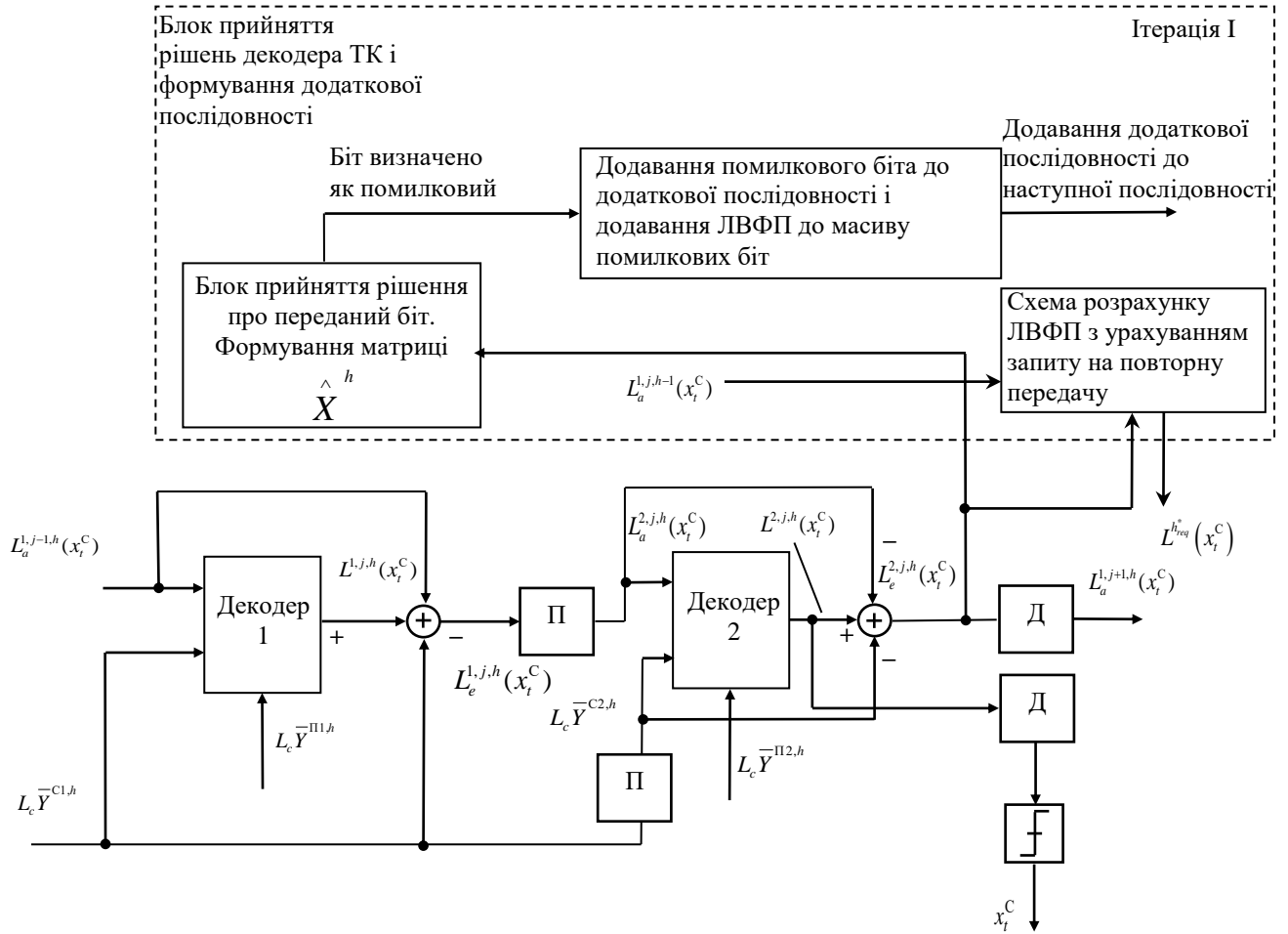


Рис. 6. Структурна схема модифікованого адаптивного ітеративного декодера ТК

Крок 1. Введення початкових даних:

- кількість автоматичних запитів на повторну передачу h , $h \in \overline{1, H}$;
- параметри кодера ТК $\{I, N, P, K, \vec{G}, R\}$, де I – кількість ітерацій декодування ТК, N – розмір блоку даних в бітах, P – вид перемешувача, K – кількість компонентних кодерів (декодерів), $\vec{G} = (g_1^0, g_0^0, g_1^1, g_0^1, \dots, g_1^H, g_0^H)$ – вектор поліномів кодера ТК, R – швидкість кодування ТК.

Крок 2. Параметр автоматичних запитів повторної передачі $h=1$, необхідний для відстежування кількості запитів.

Крок 3. Розрахунки ЛВФП біта даних x_t , $t \in \overline{1, N}$ i -м декодером, $i \in \overline{1, 2}$, j -ї ітерації декодування, $j \in \overline{1, I}$, для всіх біт блоку довжиною N , декодера 1 і 2, ітерацій декодування $j \in \overline{1, I}$, де I – загальна кількість ітерацій декодування.

$$\begin{aligned}
 L^{i,j,h}(x_t) &= \log \frac{\sum_{\substack{(s',s) \\ u_t=1}} \tilde{\alpha}_{t-1}^{(i)}(s') \cdot \tilde{\beta}_t^{(i)}(s) \cdot \gamma_t^{(i)}(s', s)}{\sum_{\substack{(s',s) \\ u_t=0}} \tilde{\alpha}_{t-1}^{(i)}(s') \cdot \tilde{\beta}_t^{(i)}(s) \cdot \gamma_t^{(i)}(s', s)} = \\
 &= L_c^{i,j,h}(y_t) + L_a^{i,j,h}(x_t) + L_e^{i,j,h}(x_t),
 \end{aligned} \tag{10}$$

де $L_c^{i,j,h}(y_t)$ – канална інформація, $L_a^{i,j,h}(x_t)$ – апіорне ЛВФП біта даних x_t , $L_e^{i,j,h}(x_t)$ – апостеріорне ЛВФП біта даних x_t , $\tilde{\alpha}_{t-1}^{(i)}(s')$ – нормалізоване значення прямої рекурсії $\alpha_{t-1}^{(i)}(s')$, де $\alpha_{t-1}^{(i)}(s')$ – спільна ймовірність у стані s' для моменту часу $t-1$, $\tilde{\beta}_t^{(i)}(s)$ – нормалізоване значення зворотної рекурсії $\beta_t^{(i)}(s)$, де $\beta_t^{(i)}(s)$ – умовна ймовірність у стані s для моменту часу t , $\gamma_t^{(i)}(s',s)$ – це умовна ймовірність того, що існує перехід із стану s_{t-1} у стан s_t , викликаний символом x_t .

Формування матриць значень ЛВФП про передані біти x_t , $t \in \overline{1, N}$, блока розміром N для i -го декодера, $i \in \overline{1, 2}$, j -ї ітерації декодування, $j \in \overline{1, I}$:
 $L^h = [L^{i,j,h}(x_1) L^{i,j,h}(x_2) \dots L^{i,j,h}(x_N)]$.

Крок 4. Розрахунок апостеріорного ЛВФП біта даних x_t , $t \in \overline{1, N}$ i -м декодером, $i \in \overline{1, 2}$, j -ї ітерації декодування, $j \in \overline{1, I}$, для всіх біт блока довжиною N , декодера 1 та 2, ітерацій декодування $j \in \overline{1, I}$:

$$L_e^{i,j,h}(x_t) = L^{i,j,h}(x_t) - L_c^{i,j,h}(y_t) - L_a^{i,j,h}(x_t). \quad (11)$$

Формування матриць значень апостеріорних ЛВФП про передані біти x_t , $t \in \overline{1, N}$, блока розміром N для i -го декодера, $i \in \overline{1, 2}$, j -ї ітерації декодування, $j \in \overline{1, I}$:
 $L_e^h = [L_e^{i,j,h}(x_1) L_e^{i,j,h}(x_2) \dots L_e^{i,j,h}(x_N)]$.

Крок 5. Після завершення всіх ітерацій декодування виносяться «жорсткі» оцінки про декодовані біти. Якщо $h = H$, то здійснюється перехід до кроку 12.

Крок 6. Прийняття рішення про значення декодованих біт інформації:

$$\hat{x}_t^h = \begin{cases} 1, & L_e^{i,j,h}(x_t) > 0 \\ 0, & L_e^{i,j,h}(x_t) < 0 \end{cases}$$

Формування матриці декодованих біт даних $\hat{X}^h = [\hat{x}_1 \hat{x}_2 \dots \hat{x}_N]$.

Контроль наявності помилок в прийнятому блоці даних. Визначення елементів матриці \hat{X}^h біти яких декодовані, як помилкові. Формування відповідно матриці X_{err}^h , яка містить помилково декодовані біти даних: $X_{err}^h = [x_{1,pos} x_{2,pos} \dots x_{k,pos}]$, де pos – позиція біта в блоці.

Крок 7. Формування сигналу HARQ, який передається на декодер для модифікації алгоритму декодування і надходить по каналу зворотного зв'язку для повторної передачі блоку X_{err}^h розміру K , який містить помилкові біти даних, разом з наступним блоком.

Крок 8. Параметр автоматичних запитів повторної передачі $h = h + 1$. Якщо $h < H$, то виконується перехід до кроку 9, якщо ні – до кроку 5.

Крок 9. Формування наступного блоку даних $X_{err}^h = [\hat{X}_{err}^h, \hat{X}_{err}^{h-1}, \dots, \hat{X}_{err}^1]$.

Крок 10. Виконання основних етапів кодування, передачі біт даних дискретно-неперервним каналом, декодування прийнятого блоку даних.

Розрахунки ЛВФП біт даних x_m , $m \in \overline{1, N + \sum_{r=1}^{h-1} K_r}$, де K_r – кількість помилкових біт для відповідного блоку. Формування матриць ЛВФП про передані біти x_m ,

$m \in \overline{1, N + \sum_{r=1}^{h-1} K_r}$ для блоку розміром $(N + \sum_{r=1}^{h-1} K_r)$ для i -го декодера, $i \in \overline{1, 2}$, j -ї ітерації декодування, $j \in \overline{1, I}$: $L^h = [L_F^h, L_{S_{err}}^h] = [L_F^h, L_{err}^{h-1}, \dots, L_{err}^1]$, де L_F^h – матриця ЛВФП переданого блоку даних розміром N , $L_{S_{err}}^h$ – матриця ЛВФП помилкових біт даних розміром $\sum_{r=1}^{h-1} K_r$:

$$\begin{aligned} L_F^h &= [L_F^{i,j,h}(x_1) L_F^{i,j,h}(x_2) \dots L_F^{i,j,h}(x_N)], \\ L_{err}^{h-1} &= [L_S^{i,j,h-1}(x_1) L_S^{i,j,h-1}(x_2) \dots L_S^{i,j,h-1}(x_{K_r})], \dots, \\ L_{err}^1 &= [L_S^{i,j,1}(x_1) L_S^{i,j,1}(x_2) \dots L_S^{i,j,1}(x_{K_r})]. \end{aligned} \quad (12)$$

Крок 11. Виконання операцій розрахунку сумарних ЛВФП про передані біти, які класифікуються як помилкові:

$$L_{err}^{h-1} = [L_S^{i,j,h-1}(x_1) + L_S^{i,j,h-2}(x_1) L_S^{i,j,h-1}(x_2) + L_S^{i,j,h-2}(x_2) \dots L_S^{i,j,h-1}(x_{K_r}) + L_S^{i,j,h-2}(x_{K_r})]. \quad (13)$$

Перехід до кроку 5.

Крок 12. Передача декодованого блоку одержувачу даних.

На Рис. 7 показаний графік залежності нормалізованого значення $Q = S/(n * N)$ (S – кількість біт, які передані при запиті на повторну передачу, n – кількість блоків, N – кількість біт в блоці) від відношення сигнал/завада в каналі E_b / N_j без застосування і з застосуванням запропонованого методу.

При моделюванні застосовувався ТК з двома компонентними кодерами, поліноміальними генераторами (1, 23/21), S -випадковим перемешувачем (деперемешувачем), кількістю біт в переданому блоці $N = 900$, алгоритмом декодування LOG-MAP, швидкістю кодування ТК $R = 1/3$, 8 ітераціями декодування. Аналіз результатів моделювання показує, що з використанням модифікованого методу формування гібридного запиту повторної передачі кількість повторно переданих біт даних зменшилася в 13~16 разів.

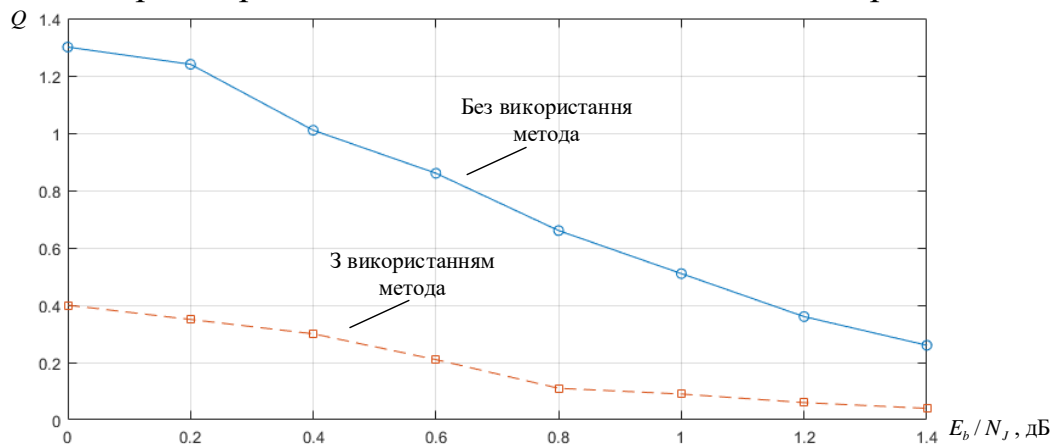


Рис. 7. Результати моделювання характеристик передачі додаткових біт для блоку даних розміром $N = 900$

Аналіз результатів моделювання показує, що з використанням запропонованого методу кількість повторно переданих біт даних зменшилася в 3~6 разів.

У висновках викладено найбільш важливі наукові і практичні результати, отримані в роботі, сформульована вирішена наукова задача, обґрунтовано

достовірність отриманих результатів і наведені рекомендації щодо їх наукового і практичного використання.

У додатках до роботи представлені документи, що підтверджують практичне використання результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі були розроблені методи, які у своїй сукупності утворюють нову інформаційну технологію забезпечення достовірності інформації в безпроводових системах передачі даних в умовах апріорної невизначеності, яка представлена у вигляді алгоритмів збору, зберігання та оброблення кодованих даних у процесі багаторівневої параметричної адаптації кодових конструкцій. Основні результати роботи такі:

1. Проведено аналіз існуючих методів забезпечення достовірності інформації в умовах апріорної невизначеності, аналіз сучасного стану безпроводових систем передачі даних та систем запитів на повторну передачу, який показав, що перспективним напрямком вирішення задачі забезпечення достовірності інформації в умовах апріорної невизначеності є застосування параметричної адаптації кодових конструкцій турбокодів.

2. Розроблено метод трирівневої адаптації каскадних кодів, який, на відміну від наявних, включає триступеневу адаптацію параметрів турбокодів: на першому етапі здійснюється вибір параметра розносу S-випадкового перемежувача, на другому – кількості запитів на повторну передачу з урахуванням динамічного розміру блока даних, на третьому – швидкості кодування та алгоритмів декодування турбокодів.

Використання методу дозволяє досягти поставленої достовірності передачі інформації та підвищити достовірність передачі інформації, при цьому кількість помилок зменшується в 4-6 разів.

3. Розроблено метод адаптивного вибору параметрів S-випадкового перемежувача в безпроводових системах передачі даних з турбокодуванням, який, на відміну від наявних, в залежності від ВСШ в каналі та значень нормалізованої кількості змін знаку апостеріорно-апріорних ЛВФП про передані біти даних декодера ТК здійснює адаптивний вибір параметрів S-випадкового перемежувача кодека ТК.

Використання методу за рахунок адаптації S-випадкового перемежувача дозволяє одержати енергетичний вигравш 0,03-0,15 дБ у порівнянні з відомими методами.

4. Отримано подальший розвиток метод формування гібридного запиту на повторну передачу в умовах невизначеності для підвищення надійності передачі інформації в умовах підвищеного рівня шуму в каналі передачі даних за рахунок повторній передачі біт даних, які визначилися як помилкові, з використанням додаткової інформації про ЛВФП для цих біт при обчисленні результуючих функцій правдоподібності декодером турбокоду.

Результати імітаційного моделювання показали, що використання модифікованого методу гібридного запиту на повторну передачу дозволяє зменшити кількість повторно переданих біт в 1.9~16 разів в залежності від блоку передечі даних.

Результати досліджень можуть бути використані для забезпечення достовірності передачі інформації в безпроводових системах передачі даних.

Результати впровадження підтверджено відповідними актами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Зайцев С.В., Приступа В.В., Василенко В.М. Оцінювання завадозахищеності безпроводних мереж із сигналами OFDM з внутрібітовою псевдовипадковою перебудовою піднесучих частот. Вісник Чернігівського державного технологічного університету, 2013. № 2(65). С. 192 – 202.

2. Зайцев С.В., Казимир В.В., Василенко В.М., Яриловец А.В. Адаптивный выбор параметров S-случайного перемежителя в беспроводных системах передачи данных с турбокодированием. Радиоэлектроника. Известия высших учебных заведений, 2018. Том 61, №1(667). С. 22 – 33.

3. Kazymyr Volodymyr, Zaitsev Sergei, Vasylenko Vladyslav, Usik Anna. Adaptive turbo codes for safety in wireless Internet of Things. The 9th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2018, 2018. С. 195 – 200.

4. Василенко В.М. Дослідження ефективності детермінованих та псевдовипадкових перемежувачів турбокодів. Математичне моделювання в економіці, 2018. Том. 2 (11). С. 40 – 49.

5. Василенко В.М. Метод параметрической адаптации в условиях неопределенности. ISSN 1028-9763. Математичні машини і системи, 2018. № 3. С. 76 – 88.

6. Трофимчук О.М., Василенко В.М., Зайцев С.В. Аналіз систем автоматичного запиту на повторну передачу. Математичне моделювання в економіці, 2018. Том. 3 (12). С. 41 – 51.

Праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Василенко В.М., Зайцев С. В., Лівенцев С. П., Дунай В. П. Адаптація s-випадкового перемежувача кодеків турбокоду. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях : зб. наук. праць за матеріалами XV міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, Пуща-Водиця, 3 - 6 жовтня 2016 р.). К. ; Х. : НАН України, Ін-т телекомунікацій і глоб. інформ. простору [та ін.], 2016. С. 189–192.

7. Василенко В.М. Адаптивный выбор параметров турбокодов в условиях действия мощных шумовых помех. Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях : зб. наук. праць за матеріалами XVII міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 25 - 26 вересня 2018 р.). К. ; Х. : НАН України, Ін-т телекомунікацій і глоб. інформ. простору [та ін.], 2018. С. 106–108.

8. Владислав Василенко, Сергей Зайцев, Формирование гибридного запроса повторной передачи в условиях неопределенности. IV Міжнародна науково-практична конференція «Україна – ЄС. Сучасні технології, економіка та право» (м. Кошице, Словаччина, 2018 р.). С. 123–126.

9. Василенко В.М. Аналіз ефективності перемешувачів турбокодів. III Міжнародна науково-практична конференція «Теорія та практика актуальних наукових досліджень» (м. Запоріжжя, 2018 р.). С. 27–31.

10. Р.Б. Андрущенко, А.Д. Бескостий, С.В. Зайцев, Я.Ю. Усов, М.А. Письменюк, В.М. Василенко. Методи підвищення цілісності пакетів передачі даних систем публічного управління. Тридцята міжнародна науково-практична конференція «Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС 2018» (м. Київ-Чернігів-Жукін, 25 - 29 червня 2018 р.) М-во освіти і науки України, Нац. Акад. наук України, Академія технологічних наук України, Інженерна академія України та ін. – Чернігів : ЧНТУ, 2018. С. 139–141.

АНОТАЦІЯ

Василенко В. М. Засоби адаптивного управління системою передачі інформації в умовах апріорної невизначеності. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології». – Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору Національної академії наук України, Київ, 2018.

Дисертація присвячена дослідженню актуальних проблем безпроводових систем передачі даних, їх подальшого розвитку, а також створення та впровадження засобів та методів для забезпечення заданого рівня достовірності інформації за рахунок багаторівневої параметричної адаптації кодових конструкцій під впливом завад в процесі передачі даних.

Вперше запропоновано метод трирівневої адаптації параметрів турбокодів, який, на відміну від наявних, включає триступеневу адаптацію параметрів турбокодів за запропонованим показником невизначеності.

Вперше запропоновано метод адаптивного вибору параметрів S-випадкового перемешувача в безпроводових системах передачі даних з турбокодуванням, який, на відміну від відомих, здійснює вибір параметра розносу S в залежності від значень показника невизначеності декодування.

Встановлено, що використання модифікованого методу гібридного запиту на повторну передачу дозволяє зменшити кількість повторно переданих біт в 1.9~16 разів в залежності від розміру блоку переданих даних.

Отримав подальший розвиток метод формування гібридного запиту на повторну передачу, який, на відміну від існуючих, для забезпечення заданих показників достовірності здійснює повторну передачу тільки помилкових біт даних, отриманих за результатами декодування з урахуванням невизначеності.

Вдосконалено процес прийняття рішення при декодуванні турбокодів за рахунок використання додаткової апріорної інформації та невизначеності декодування.

Ключові слова: передача даних, системи безпроводового зв'язку, завадостійкі коди, турбокод, адаптація, логарифмічне відношення функцій правдоподібності, перемешувач.

ANNOTATION

Vasylenko Vladyslav. Means adaptive management of the system of information transmission in a priori uncertainty. – Manuscript.

Dissertation research for degree of PhDs. by specialty 05.13.06 – Information technology. Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2018.

The dissertation is devoted to the research of the actual problems of wireless data transmission systems, their further development, as well as the creation and implementation of tools and methods to provide a given level of reliability of information at the expense of multilevel parametric adaptation of code designs under the influence of obstacles in the process of data transmission.

For the first time the method of three-level adaptation of turbo code parameters is proposed, which, unlike the ones available, includes a three-step adaptation of turbo code parameters based on the proposed uncertainty index.

For the first time, the method of adaptive selection of parameters of S-random interleaver in wireless data transmission systems with turbo coding is proposed, which, unlike the known ones, selects the spreading parameter S, depending on the values of the uncertainty decoding index.

It has been established that the use of the modified hybrid repeat request method reduces the number of retransmitted bits by 1.9 ~ 16 times, depending on the size of the data transmission block.

The further development of the method of forming a hybrid re-request request, which, unlike the existing one, received a further development of the reciprocal transfer of only false bits of data obtained by the results of decoding, taking into account uncertainty, in order to ensure the specified reliability indicators.

The process of deciding when decoding turbo codes is improved by the use of additional a priori information and uncertainty of decoding.

Keywords: data transmission, wireless communication systems, jamming codes, turbo code, adaptation, logarithmic ratio of likelihood functions, interleaver.