

**ЕМУЛЯЦІЙНИЙ МЕТОД ПЕРЕБОРНОГО ПОШУКУ
ОПТИМАЛЬНИХ ЗГОРТКОВИХ КОДІВ**

**EMULATION SELECTION SEARCH METHOD OF OPTIMUM
CONVOLUTIONAL CODES**

Анотація. Пропонується новий метод переборного пошуку оптимальних згорткових кодів за критерієм максимальної вільної віддалі. Розроблено блок-схему даного методу. Проведено тестування на прикладі пошуку двійкових згорткових кодів.

Summary. The new emulation selection search method of optimum convolutional codes is proposed. Block-schema of this method is developed. The method on example of binary convolutional code search is tested.

Розв'язуючи проблему підвищення ефективності систем передачі інформації, значну увагу приділяють вибору коректуючих кодів, які, в свою чергу, підвищують надійність систем зв'язку. Тому вирішення даної проблеми можливо при використанні коректуючих згорткових кодів. Однією з важливих характеристик згорткових кодів (ЗК) є вільна віддаль. Для знаходження оптимальних ЗК використовується критерій максимум вільної віддалі [1]. Відомі методи оптимізації функції за заданим критерієм можливо використати тільки при відомому аналітичному виразі функції від аргументу. В розглянутому випадку для ЗК такі вирази не відомі [2-4]. Для цього єдиним придатним в даному випадку є метод повного перебору, який часто використовується для пошуку кодів [5]. В роботі [6] для знаходження вільної віддалі запропонований метод породжуючих функцій. В роботі [7] для розв'язання аналогічної задачі використаний метод матриці суміжності. Однак, в роботі [6] породжуючу функцію потрібно розраховувати вручну; в роботі [7] потрібно будувати матрицю суміжності, окрему для кожного коду. Тому метою даної статті є розроблення нового методу для переборного пошуку оптимальних згорткових кодів за критерієм максимуму вільної віддалі, який усуває вищезазвані недоліки.

1. Метод знаходження вільної віддалі ЗК. В основі даного методу лежить знаходження вільної віддалі згорткового коду, що характеризує коректуючу здатність коду та визначає нижню межу завадостійкості кодів при використанні алгоритму Вітербі. Вільна віддаль d_f – це мінімальна віддаль між двома довільними випадковими напівнескінченими послідовностями на виході кодера, що відрізняються в першій вітці [2].

В даній статті пропонується метод, який базується на моделюванні кодера та отримав назву “емуляційний метод”. Емуляція – це імітація функціонування всього або частини об'єкта оригінала засобами іншої системи без втрати функціональних можливостей чи спотворення одержаних результатів [8]. В описаному методі використовується *програмний емулятор кодера*.

Принцип роботи такого методу розглянемо на прикладі згорткового коду (7,5), структурна схема якого зображена на рис. 1.

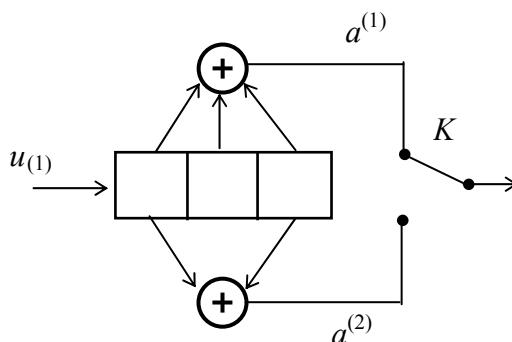


Рисунок 1 – Кодер ЗК (7,5)

До основних параметрів ЗК відносяться:

- довжина кодувального регістра K – показує кількість комірок пам'яті регістра;
- довжина кодового обмеження ν – показує кількість елементів затримки ЗК, що дорівнює $(K-1)$;
- швидкість коду R – відношення вхідних символів до вихідних за один такт роботи кодера;
- породжуючі поліноми – записуються у восьмирічній формі та показують як підключаються на суматор регістри коду;
- решітчаста діаграма – це розгорнена в часі діаграма станів згорткового коду, що показує всі можливі дозволені переходи і шляхи.

Цей метод передбачає моделювання кодера [9] з параметрами R, ν , в якому проводиться перебір породжуючих поліномів та розрахунок для кожного породжуючого поліному коду вільної віддалі. Для цього на вхід кодера подається *тест-пакет* з параметрами:

- загальна довжина тест-пакета N_t – показує кількість символів даного тест-пакета;
- кількість нулів на вході й виході тест-пакета N_z , що потрібні для оновлення регістра кодера та дорівнюють K нулям;
- кількість інформаційних символів тест-пакета N_{inf} , що представляє псевдовипадкову послідовність (ПВП).

На рис. 2 наведена часова діаграма тест-пакета.

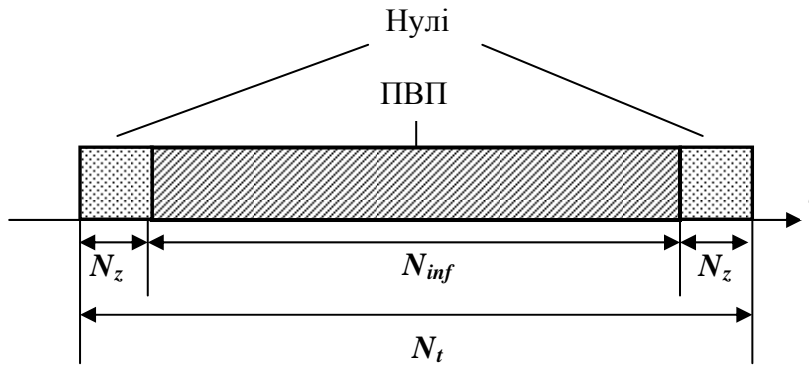


Рисунок 1 – Тест-пакет

Під час кодування кодером даного тест-пакета на виході буде формуватися шлях кодування, який показано на рис. 3.

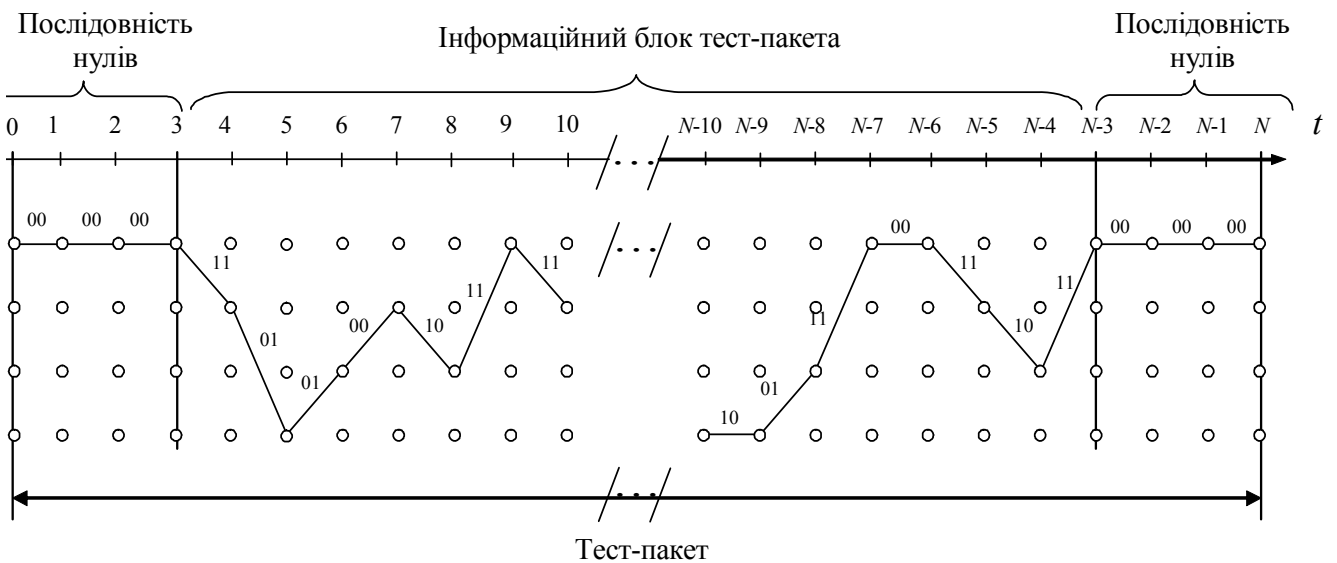


Рисунок 3 – Решітчаста діаграма згорткового коду з $\nu = 2$ зі шляхом, що утворюється під час кодування

З рис. 3 випливає, що кодер перебуває в нульовому стані, коли на вхід надходять нулі. Потім під час проходження інформаційної послідовності кодер виходить з нульового стану і утворює шлях, який можна розбити на частини, які починаються в нульовому стані і закінчуються в нульовому стані. В даному випадку, якщо на вихід кодера підключити пристрій, який підраховує кількість одиниць в цих частинах та занести ці значення до буфера, то отримаємо набір шляхів з різними віддальми за Хеммінгом відносно нульового шляху (набір шляхів та відповідні їм ваги). Шлях, у якого вага буде найменшою, є вільна віддаль даного коду. Алгоритм емуляційного методу описаний у наступному розділі.

2. Алгоритм переборного пошуку ЗК за критерієм максимуму вільної віддалі. Розглянемо алгоритм пошуку оптимальних згорткових кодів. Структурна схема алгоритму представлена на рис. 4. Вихідними даними алгоритму пошуку є довжина кодового обмеження та відносна швидкість коду. Перед початком роботи значення максимально допустимої вільної віддалі коду d_{free} вважають такою, що дорівнює нулю. В процесі перебору породжуючих поліномів коду значення d_{free} перевизначається та після закінчення роботи алгоритму дорівнює максимальному значенню при заданих v та R .

Алгоритм включає в себе такі блоки:

В блоці 1 проводиться моделювання (емуляція) кодера та введення параметрів згорткового коду: відносна швидкість коду R та довжина кодового обмеження v .

В блоці 2 вводиться значення вільної віддалі, що дорівнює нулю.

В блоці 3 проводяться генерації коефіцієнтів породжуючих поліномів кодера генератором випадкових чисел з алфавіту алгебраїчних груп $G(2)$, $G(8)$ або $G(m)$, де m показує основу коду, а також відкидаються катастрофічні та коди зі дзеркальними породжуючими поліномами і явно погані коди (до таких відносяться коди, в яких відсутні відводи від першого й останнього елементу пам'яті кодера, а також коди з сумарним числом відводів від елементів пам'яті кодера менші, ніж вільна віддаль найкращих кодів d_{free}).

В блоці 4 формується тест -пакет для заданого коду.

В блоці 5 проводиться визначення (у відповідності з пунктом 1 даної статті) вільної віддалі кодів, які залишилися з метою вибору найкращого коду. Якщо, знайдений код, має більше значення вільної віддалі або при рівності останнього, то даний код буде кращим серед розглянутих (**блок 6**). Породжуючий поліном цього коду зберігається як тимчасово оптимальний в **блоці 7** і в подальшому використовується для порівняння з вільною віддаллю наступних кодів.

Після повного перебору породжуючих поліномів (**блок 8**) та вибору варіанта, який забезпечує максимальну вільну віддаль (**блок 9**), проводиться виведення на екран параметрів знайденого оптимального коду, в якому вільна віддаль є максимальною.

На основі даного алгоритму було розроблено блок-схему, яка представлена на рис. 5.

Програма реалізації даного алгоритму переборного пошуку, розроблена мовою C++, з використанням пакета візуального об'єктного програмування *HP VEE*.

Цей метод відрізняється простою реалізацією від відомих, описаних в роботах [4, 6, 7]. Тестування методу на базі порівняння знайдених оптимальних кодів з відомими, розглянуто у наступному розділі.

3. Результати тестування методу й алгоритму знаходження оптимальних ЗК. Для перевірки коректності розробленого алгоритму і програми на його основі проведено тестування на прикладі пошуку оптимальних двійкових ЗК, оптимальних за критерієм максимуму вільної віддалі в метриці Хеммінга, оскільки в літературі опубліковані таблиці оптимальних кодів. Покладалося, що результати тестування слід вважати вірними та відповідно, розроблений метод коректним і працездатним, якщо результати пошуку двійкових кодів співпадуть з табличними даними двійкових кодів, опублікованих в літературі [2-5].

Результати такого порівняння наведені в табл. 1. Породжуючі поліноми наведені в загальноприйнятій восьмирічній формі [2], причому знаком + відмічені коди, прозорі до інверсії символів у каналі [3].

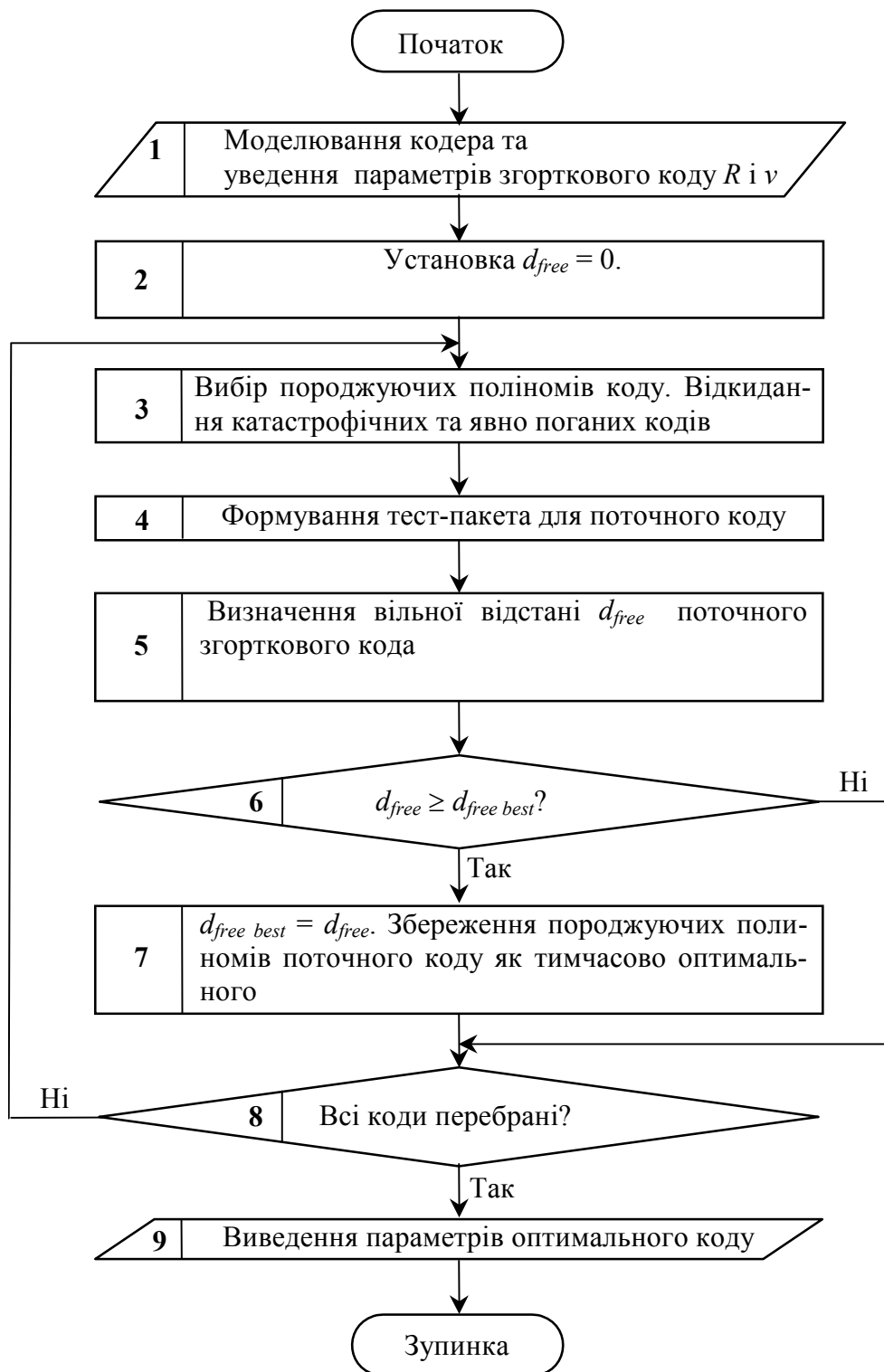


Рисунок 4 – Структура алгоритму для пошуку оптимальних ЗК

Таблиця 1 – Результати пошуку оптимальних двійкових ЗК з параметрами: $R = 1/2$, $v = 2 \div 5$

№ пп.	v	d_{free}	Найдені породжуючі поліноми в результаті пошуку g_1, g_2	Породжуючі поліноми відомих ЗК	Прозорість коду
1	2	5	5,7	5,7	–
2	3	6	15,17	15,17	–
3	3	6	13,15	13,15	+
4	3	6	13,7*		+
5	3	6	17,13*		–
6	4	7	23, 35	23, 35	–
7	4	7	31, 33	31, 33	–
8	4	7	25, 37	25, 37	+
9	4	7	25, 33*		–
10	4	7	23, 33*		–
11	4	7	35, 31*		–
12	5	8	53, 75	53, 75	–
13	5	8	61, 73	61, 73	+
14	5	8	43, 75	43, 75	+
15	5	8	45, 73	45, 73	+
16	5	8	71, 73	71, 73	–
17	5	8	51, 67*		+
18	5	8	45, 77*		–

Знаком* позначені коди, відомості про яких відсутні в таблицях [2-5]

Аналізуючи табл. 1 можна стверджувати, що використаний метод є працездатним, тому що результати пошуку оптимальних ЗК збігаються з відомими. Під час пошуку було знайдено ряд нових кодів (в табл. 1 зазначені знаком *), вільна віддаль яких збігається з оптимальними кодами. Це доводить ефективність даного методу і підкреслює недоліки попередніх методів. Додаткова перевірка шляхом імітаційного моделювання показала, що код (17,13)* забезпечує додатковий енергетичний вигравш майже 0,2 дБ по відношенню до коду (15,17) та 0,32 дБ до коду (13,15). Це пояснюється різними спектрами ваг таких кодів при рівності вільних віддалей.

До висновків даної статті слід віднести наступне:

- розроблений метод є простим для реалізації, тому що базується на емуляції кодера та обчислювача максимального з мінімальних значень;
- метод є універсальний, оскільки він розроблений для розв’язання задач переборного пошуку двійкових та недвійкових кодів;
- описаний метод є придатним для пошуку породжуючих поліномів сигнально-кодових конструкцій (СКК) та просторово-часових кодів (ПЧК). Розробка такого варіанта методу є завданням наступної статті.

Література

1. *Моисеев Н. Н., Иванюков Ю.П., Столярова Е. М.* Методы оптимизации. – М.: Наука, Главная редакция физмат. литературы, 1978. – 352 с.
2. *Банкет В.Л.* Сверточные коды в системах передачи информации: Учебное пособие. – Одесса: ОЭИС, 1986. – 56 с.

3. *Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации* / А.Г. Зюко, А.И. Фалько, И.П. Панфилов, В.Л. Банкет, П.В. Иващенко / Под ред. А.Г. Зюко. – М.: Радио и связь, 1985. – 272 с.
4. *Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение.* – 2-е изд., испр.: Пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
5. *Банкет В.Л., Иващенко П.В., Геер А.Э. Цифровые методы передачи информации в спутниковых системах связи: Учебн. пособ.* – Одесса: УГАС, 1996. – 180 с.
6. *Ляхов А.И. Повышение эффективности сверточного кодирования в каналах с фазовой модуляцией: Дис... канд. техн. наук: № 05.12.02.* – Одесса, 1983. – 170 с.
7. *Салабай А.В. Повышение эффективности сверточного кодирования в каналах с многофазными сигналами: Дис... канд. техн. наук: № 05.12.02.* – Одесса, 1986. – 220 с.
8. *Емулятори вимірових експериментів: Наочні засоби навчання* / М.С. Гаврилюк, Г.М. Єргієв, А.А. Ланько, О.І. Морозов, І.П. Панфілов. – Одеса: ОНАЗ, 2005. – 112 с.
9. *Банкет В.Л., Іщенко М.О. Методика розрахунку вільної віддалі згорткових кодів // Тези 60-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, наукових працівників і молодих вчених академії "Освіта і наука".* – Одеса: ОНАЗ, 2005.

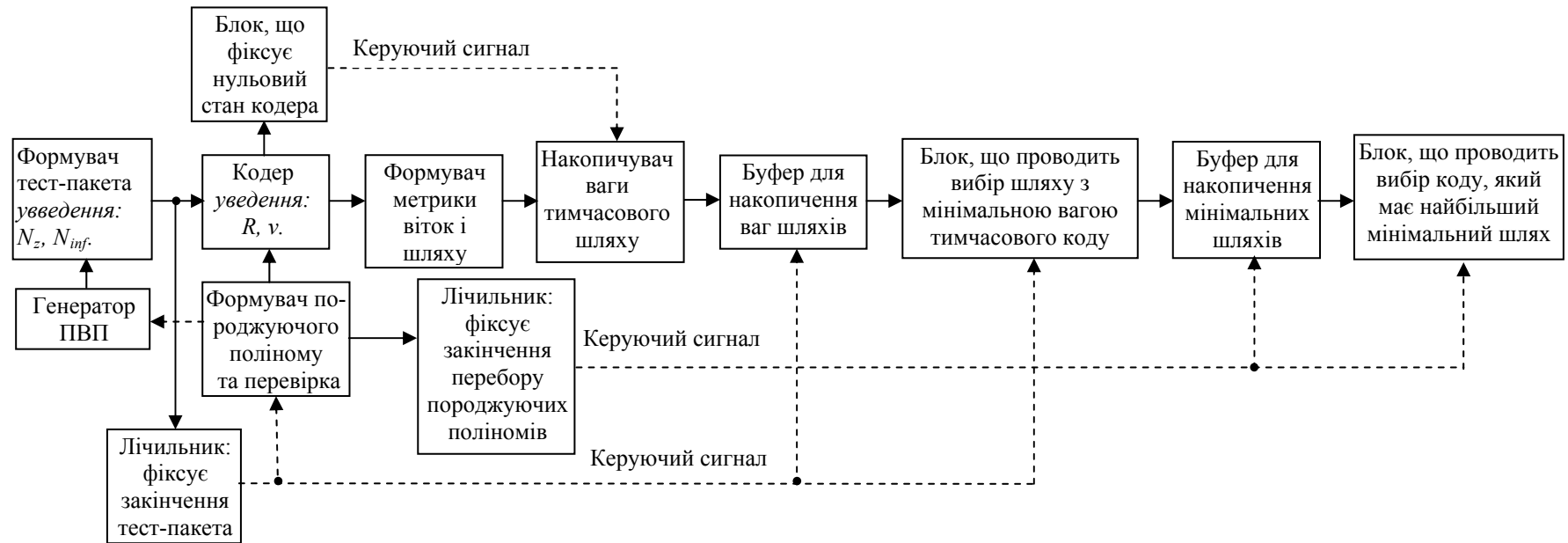


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритму

