УДК 621.391.15
Гнєздовський О.В.[1] , Купін Д.А.[2]

[1] доцент кафедри НУ «Запорізька політехніка»
[2] студент групи БК-235

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ LDPC-КОДІВ

Сучасні системи радіозв'язку функціонують в умовах щільної завадової обстановки та обмеженої енергетики сигналу, що зумовлює необхідність пошуку ефективних методів підвищення достовірності передачі даних без суттєвого збільшення потужності передавача. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають підходи, що базуються на використанні завадостійкого кодування.

Еволюція методів кодування пройшла шлях від класичних блокових кодів, зокрема кодів Ріда–Соломона, та згорткових кодів до сучасних ітераційних алгоритмів декодування. Традиційні методи, що базуються на жорсткому декодуванні, демонструють обмежену ефективність у каналах із високим рівнем завад, оскільки не враховують повною мірою імовірнісну природу прийнятого сигналу. Турбо-коди дозволили суттєво наблизитися до теоретичної межі пропускної здатності, проте мають низку недоліків, зокрема значні затримки декодування та наявність ефекту «підлоги помилок».

У цьому контексті перспективним напрямом є використання кодів із малою щільністю перевірок на парність (LDPC), які поєднують високу коректійну здатність із прийнятною обчислювальною складністю. Однією з ключових переваг LDPC-кодів є можливість ефективного застосування ітераційних алгоритмів декодування, що базуються на обробці м'яких рішень.

Теоретичною основою дослідження є наближення до межі Шеннона, яка визначає максимальну пропускну здатність каналу зв'язку за наявності шуму. Структура LDPC-кодів описується за допомогою двочасткового графа Тан-

нера, що забезпечує ефективну організацію обміну інформацією між вузлами змінних і перевірок у процесі декодування.

Ключовим елементом оцінювання достовірності прийнятого сигналу є логарифмічне відношення правдоподібності, яке дозволяє перейти від множення ймовірностей до більш ефективних операцій додавання. В умовах каналу з адитивним білим гаусовим шумом така модель забезпечує адекватний опис впливу завад та дозволяє досліджувати ефективність застосування LDPC-кодів у реальних умовах.

Для декодування використовується ітераційний алгоритм Belief Propagation, який передбачає послідовне уточнення ймовірнісних оцінок переданих символів. Такий підхід дозволяє підвищити завадостійкість системи та забезпечити стабільну передачу даних навіть при низьких значеннях відношення сигнал/шум.

Важливою складовою сучасних підходів до підвищення завадостійкості є врахування можливостей апаратної реалізації алгоритмів. Структурні особливості LDPC-кодів забезпечують високий рівень паралелізму обчислень, що створює передумови для ефективної реалізації на FPGA та GPU. Використання таких платформ дозволяє значно підвищити швидкодію систем декодування та забезпечити їх адаптацію до вимог високошвидкісних радіоелектронних систем.

У межах подальших досліджень передбачається виконання імітаційного моделювання процесу передачі даних із використанням LDPC-кодів у каналі з адитивним білим гаусовим шумом. Основною метою моделювання є оцінювання залежності ймовірності бітової помилки (BER) від відношення сигнал/шум (SNR) та аналіз ефективності ітераційного декодування. Очікується, що застосування алгоритму Belief Propagation дозволить отримати характерну «водоспадну» залежність BER, що свідчить про суттєве підвищення завадостійкості системи порівняно з некодованою передачею.

Отже, застосування LDPC-кодів у поєднанні з ітераційними алгоритмами декодування та сучасними засобами апаратної підтримки розглядається як ефективний метод підвищення завадостійкості радіоелектронних систем. Запропонований підхід створює основу для подальшого математичного моделювання та кількісного аналізу характеристик систем передачі даних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Наритник Т. М. та ін. Аналіз перспектив використання терагерцевого діапазону частот для безпроводових мереж зв'язку спеціального призначення. *Системи і технології зв'язку, інформатизації та кібербезпеки*. 2024. № 5. С. 138–153. URL: https://doi.org/10.58254/viti.5.2024.13.138 (дата звернення: 27.03.2026).

2. Proakis J. G., Salehi M. Digital Communications. New York : McGraw-Hill Education, 2007.

3. Tanner R. M. A recursive approach to low complexity codes. *IEEE Transactions on Information Theory*. 1981. Vol. 27, no. 5. P. 533–547.