

## КОМБІНОВАНИЙ МЕТОД ДЕКОДУВАННЯ TURBO-PRODUCT-КОДІВ

Крайник Ярослав, Перов Владислав

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

### Анотація

У даній роботі представлений комбінований метод декодування завадостійких Turbo-Product-кодів, який передбачає використання жорсткого та м'якого підходів при обробці даних. Запропонований метод призначений для застосування для побудови декодерів, що працюють в умовах середньої зашумлення каналу.

### Abstract

Combined method for decoding Turbo-Product Codes is presented in this work. It supposes usage of soft and hard approaches in data processing, Proposed method should be used for development of the decoders that work in the circumstances of middle noised channel.

### Вступ

Turbo-Product-коди (турбо-коди добутків, англ. Turbo-Product Codes, TPC) [1] є одними з найпоширеніших завадостійких кодів, які використовуються в сучасних системах передачі інформації. Такі системи часто використовують декілька рівнів кодування, тому ТР-коди є однією зі складових. ТР-коди, які розглядаються у даній роботі є блочними кодами на основі добутку кодів Хеммінга, а також їх різновидів. Їх основною перевагою є простота формування коду з необхідними параметрами для передачі в каналі з шумами. Тим не менш, основною проблемою при їх використанні є організація процесу декодування з необхідною виправною здатністю та швидкістю видачі даних.

### Основна частина

Метою даної роботи була розробка комбінованого методу декодування ТР-кодів, який дозволяє поєднати простоту та швидкодію жорсткого декодера з перевагами використання м'яких вхідних значень при представленні сигналу, що дозволить спростити апаратну реалізацію декодера.

При декодуванні ТР-кодів найчастіше використовуються декодери, входи та виходи яких пов'язані між собою та обмінюються інформацією. В залежності від послідовності виконання кодування, рядковий декодер передає інформацію декодеру стовпців та навпаки. Даний принцип був запропонований у 90-х рр. ХХ ст. С. Berrou зі співавторами [2].

З точки зору представлення вхідної інформації розрізняють:

– жорсткі декодери (вхідними даними є 1 або 0);

– м'які декодери (окрім знаку сигналу працюють також з величинами, що представляють його амплітуду).

Жорсткі декодери є простими в реалізації, мають високу швидкодію, проте поступаються декодерам, що використовуються м'які значення, у виправній здатності. Декодери м'яких значень є складнішими з точки зору реалізації, а їх швидкодія залежить від алгоритму декодування. Найбільшого поширення набули такі алгоритми декодування: алгоритм Чейза, алгоритм максимуму апостеріорної імовірності (Max Aposteriori Probability) та їх різновиди [3]. Саме останній алгоритм демонструє найбільшу виправну здатність. Тим не менш, його апаратна реалізація є складною, оскільки потребує великої кількості обчислень. Через цю обставину в якості базового алгоритму для декодування при реалізації комбінованого методу було обрано алгоритм Чейза [2, с. 277-280].

Передбачається генерація тестових векторів  $v_i$ , де  $i = \overline{1, 2^k}$ , а  $k$  – кількість позицій, для яких проводиться пошук мінімальних значень. Після етапу генерації векторів, на відміну від алгоритму Чейза, слідує не розрахунок метрик, а вибір базового рішення на основі синдрому  $V_i$  з використанням наступних правил:

– якщо синдром жорсткого рішення для вектору, що відповідає м'яким вхідним значенням, є нульовим, то необхідно збільшити модуль м'яких вхідних значень;

– якщо синдром жорсткого рішення для вектору, що відповідає м'яким вхідним значенням, не є нульовим, але вказує на наявність помилки та дозволяє її виправити, то інвертувати знак у необхідній позиції, а модулі інших м'яких значень вхідного вектору – збільшити;

– якщо синдром жорсткого рішення для вектору, що відповідає м'яким вхідним значенням, не є нульовим, але серед синдромів  $V_i$  наявні такі, що мають значення 0, то встановити знаки м'яких рішень вхідних даних відповідно до знайденого;

– якщо синдром жорсткого рішення для вектору, що відповідає м'яким вхідним значенням, не є нульовим, і серед синдромів  $V_i$  нульовий синдром відсутній, то модуль м'яких вхідних значень зменшується.

Організація декодування на основі вищенаведених правил дозволяє комбінувати простоту та швидкість жорсткого декодування з використанням м'яких рішень у процесі декодування. Варто зазначити, що виправна здатність декодера, який працює за даними принципами є вищою, ніж жорсткого декодера, зокрема, він здатен виправляти «прямокутні» помилки (розташування помилок утворює прямокутник) у коді, що є добутком кодів, для яких величина Хеммінгової відстані становить 3 (прості коди Хеммінга) або 4 (коди з виявленням 2 помилок та корекцією 1 помилки – SECDED). Цього вдається досягти за рахунок того, що наявне правило 4, яке дозволяє зменшувати модуль м'якого значення, а, значить, при декодуванні іншим декодером збільшується імовірність вибору необхідного біту в якості біту для перевірки.

Завдяки тому, що даний метод не передбачає стадії розрахунку метрик векторів, також наявні спрощення з точки зору апаратної реалізації, оскільки відпадає необхідність в організації конвеєрних обчислень на основі великої кількості вхідних даних з подальшим порівнянням результатів та мультиплексуванням даних для подальшого використання.

Декодер, що працює відповідно до запропонованого методу декодування було реалізовано з використанням програмовних логічних інтегральних схем (ПЛІС) Altera Stratix IV мовою схемотехнічного опису VHDL. Даний пристрій здатен працювати при тактовій частоті 200 МГц, а пропускна здатність безпосередньо декодеру при такій частоті та 10 ітераціях при роботі з кодом (64, 57)х(46, 39) декодування становить понад 654 Мбіт/с. Висока тактова частота роботи декодеру, а також пропускна здатність підтверджують, що запропонований комбінований метод декодування, дозволяє спростити апаратну реалізацію та досягти високої пропускної здатності.

### Список використаних джерел:

1. Berrou Claude. Codes and Turbo Codes / C. Berrou. – Springer-Verlag, Paris, 2010. – 415 p. – ISBN 978-2-8178-0038-7.
2. Berrou Claude. Near-Shannon Limit error-correcting coding and decoding: Turbo-codes/ C. Berrou, A. Glavieux, P. Thitimajshima. – Proceedings of IEEE International Conference on Communications, Geneva, 1993. – 1064-1070 pp.
3. Lin Shu. Error Control Coding / S. Lin, D. Costello. – Pearson Prentice Hall Pearson Education, Inc., 2004. – 1260 p. – ISBN 0-13-017973-6.