

## **ДЕКОДУВАННЯ КАСКАДНИХ КОДІВ В АДАПТИВНИХ ЦСП**

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*Досліджено ефективні алгоритми декодування турбокодів з використанням технік спискового декодування та спільного декодування кодів каналу і джерела. Обґрунтовано застосування розглянутих алгоритмів в мережі 3GPP LTE для поліпшення якості передачі телефонних сигналів.*

**Ключові слова:** *завадостійкість, декодер турбокоду, телефонний сигнал.*

### **Abstract**

*Effective algorithms for decoding turbo codes using the techniques of list decoding and co-decoding of channel and source codes are investigated. The application of the considered algorithms in 3GPP LTE network to improve the quality of telephone signal transmission is substantiated.*

**Keywords:** *noise immunity, turbocharger decoder, telephone signal.*

### **Вступ**

Турбокоди з упевненістю можна назвати одними з найбільш затребуваних в сучасних мережах. Вони довели свою ефективність в стандартах WiMax і DVB-RCS. Але найбільшого поширення ці коди отримали в мобільних мережах третього і четвертого покоління UMTS і 3GPP LTE. Їх широке практичне застосування обумовлене ефективним ітеративним (турбо-) декодером, можливістю використання одного і того ж кодера для різних довжин інформаційних слів і гнучкою схемою регулювання швидкості коду [1].

Поліпшення параметрів турбокодів в розроблюваних системах можливо за рахунок вибору компонентних кодів і перемежителя з одного боку, та використання іншого алгоритму декодування з іншого. Однак, беручи до уваги те, що в існуючих стандартах і в телекомунікаційному обладнанні немає можливості змінити передавальну частину, важливим є завдання поліпшення параметрів декодування. Сучасні технології і зростання продуктивності апаратної бази дозволили використовувати більш складних і оригінальних декодерів для зменшення ймовірності помилки в прийнятих даних. Враховуючи зростаючу популярність паралельної обробки, актуальною є задача розробки розпаралелювання алгоритмів декодування [2].

У дослідженні розглядається два способи поліпшення декодера турбокоду: списочне декодування і спільне декодування турбокоду і коду джерела. Обидва підходи враховують специфіку передачі в сучасних мобільних мережах, зокрема використання CRC для виявлення помилок в декодованому слові і структуру інформаційного слова, яка включає в себе заголовки протоколів різних рівнів. Оскільки передача телефонії залишається одним з найважливіших видів трафіку і важливим пунктом доходу операторів зв'язку, основна увага при розробці алгоритму спільного декодування кодів каналу і джерела приділено. Тому доцільно здійснювати моделювання для турбокодів стандарту 3GPP LTE і вокодерів AMR-NB і AMR-WB [3].

Метою роботи є дослідження ефективних алгоритмів декодування турбокодів з використанням технік спискового декодування та спільного декодування кодів каналу і джерела. Застосування розглянутих алгоритмів в мережі 3GPP LTE для поліпшення якості передачі телефонних сигналів.

### **Основна частина**

Аналіз існуючих методів спискового декодування показав, що вони дають вигоду лише в області насичення ймовірності помилки, або на маленьких довжинах інформаційних слів. У цій праці запропонований інший підхід до спискового декодування - паралельне списочне декодування. Відмінною рисою цього підходу є те, що спочатку процесу турбодекодування генерується список апріорних ймовірностей, які, в свою чергу, подаються на вхід незалежних турбо-декодерів. За

аналогією з алгоритмом недвійкового поширення довіри, мета даного методу полягає в тому, щоб різні декодери зійшлися до різних інформаційних слів, серед яких далі вибирається правильне.

При декодуванні згорткових кодів часто використовують віконний підхід для більш ефективної реалізації декодера [1]. Віконний підхід для декодування згорткових кодів дозволяє реалізувати декодер з меншими витратами на пам'ять і обчислювальні ресурси. Також даний підхід дозволяє розпаралелювати обчислення.

Можна виділити два підходи віконного декодування згорткових кодів: зі змінним вікном і паралельне віконне декодування. Оскільки алгоритм зі ковзним вікном в кожен момент часу розраховує надійність одного символу і не будує шляхи на решітці, тому він не може замінити запропонований алгоритм. Паралельний підхід розбиває грати на вікна певної довжини а отже і декодування виконується паралельно. Нижче розглянуто використання цього підходу для розрахунку списку м'яких рішень [2].

Віконний списковий алгоритм будує списки на дільницях решітки, які в подальшому використовуються для отримання послідовності апріорних ймовірностей для всього інформаційного слова. Для обчислення списку у вікні використовується той же підхід, що й у алгоритмі, який був описаний вище, однак замість звичайних алгоритмів Вітербі і Log-MAP, використовуються їх віконні варіанти. Оскільки списки будуються в кожному вікні незалежно, то це дає можливість прискорити процес генерації списку для паралельного декодування.

Таким чином, для спискового декодування турбокоду можливо два варіанти генерації апріорної надійності для незалежних турбо-декодерів.

У першому випадку список генерується відразу для всієї решітки з використанням одного з композитних кодів. Тоді, в залежності від того який компонентний код використовувався для знаходження списку, буде залежати на який компонентний декодер будуть подаватися м'які рішення для подальшого турбодекодування. У разі каналу з незалежними помилками, таким як АБГШ, вибір компонентного коду для побудови списку не грає ролі.

У другому випадку, з урахуванням більш довгих інформаційних слів, спершу розраховуються списки м'яких рішень за допомогою віконного алгоритму, після чого генерується загальний список для ініціалізації незалежних турбо-декодерів. Для того, щоб знайти м'яке рішення для всього інформаційного слова, в кожному вікні береться по одному елементу списку і їх конкатенація є елементом результуючого списку. Така послідовність операцій виконується повторно поки не будуть розглянуті всі можливі комбінації [4].

Позитивною рисою розглянутого алгоритму є те, що він дозволяє виконувати списочне декодування в паралель, що забезпечує меншу затримку обробки у порівнянні зі звичайним ітеративним декодером. Результати моделювання в каналі з АБГШ показали, що алгоритм дозволяє отримати вигоду від 0,15 до 0,4 дБ в залежності від довжини інформаційного слова для списку довжиною 16. Також розглянута віконна модифікація алгоритму генерації списку, яка дозволяє прискорити обчислення без погіршення продуктивності.

## Висновки

Розглянуті принципи побудови турбокоду, а також дано опис згортальних кодів. Описано принцип ітеративного декодування турбокодів на основі м'яких декодерів згортальних кодів. Оскільки на даний момент ітеративний спосіб є основним методом декодування турбокоду, наведені результати моделювання на основі різних м'яких декодерів згортальних кодів і розглянуто їх продуктивність при різній кількості ітерацій.

Також, отримані результати говорять про те, що після 8 ітерацій декодера зростання продуктивності значно сповільнюється для всіх розглянутих алгоритмів.

Віконний варіант спискового декодера без зменшення виграшу на великих довжинах інформаційних слів дає можливість прискорити процес формування списку і зменшити затримку декодування.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Васильківський М. В., Паламарчук Р. П., Вовк В. Л. «Коригування характеристик кодерів засобів мобільного зв'язку,» *Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2019)»*, Вінниця, 2019. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/mn/mn-2019\\_netpub.pdf](https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/mn/mn-2019_netpub.pdf) Дата звернення: Берез. 2020
2. Акмалходжаев, А. И. Совместный списочный декодер турбокода и вокодера AMR-NB для сетей четвертого поколения / А. И. Акмалходжаев // Информационно-управляющие системы. — 2014. — Т. 69, № 2. — С. 63–70.
3. Akmalhodzhaev, A. I. NewNon-intrusive Speech Quality Assessment Algorithm for Wireless Networks / A. I. Akmalhodzhaev, A. V. Kozlov // Intelligent Interactive Multimedia Systems and Services. — 2015. — P. 215–225.
4. Акмалходжаев, А. И. Сравнительный анализ алгоритмов декодирования турбокодов на примере turboкода стандарта 3GPP LTE / А. И. Акмалходжаев // Вестник Таджикского технического университета. — 2014. — Т. 28, № 4. — С. 44–47.

**Васильківський Микола Володимирович** – канд. техн. наук, доцент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [mvasylkivskiy@gmail.com](mailto:mvasylkivskiy@gmail.com).

**Макогон Віталій Іванович** – асистент кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [vim1986@i.ua](mailto:vim1986@i.ua).

**Вовк Віктор Леонідович** – аспірант кафедри телекомунікаційних систем та телебачення, факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [vityavovkk5@gmail.com](mailto:vityavovkk5@gmail.com).

**Vasykivskiy Mikola V.** – Phd, Assistant Professor of Telecommunication Systems and Television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [mvasylkivskiy@gmail.com](mailto:mvasylkivskiy@gmail.com).

**Makogon Vitaliy I.** – Assistant Professor of Telecommunication Systems and Television Department of Infocommunication, Electronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [vim1986@i.ua](mailto:vim1986@i.ua).

**Vovk Viktor L.** – Department of Infocommunication, Electronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [vityavovkk5@gmail.com](mailto:vityavovkk5@gmail.com)