

СУЧАСНІ МЕТОДИ ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ ДАНИХ У СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто сучасні методи завадостійкого кодування даних у системах передачі інформації. Проаналізовано принципи роботи новітніх методів, таких як LDPC-коди, турбокоди та полярні коди. Обґрунтовано переваги та недоліки, а також сфери застосування в сучасних цифрових комунікаційних системах. Зроблено висновки щодо перспектив розвитку завадостійкого кодування.

Ключові слова: завадостійке кодування, корекція помилок, LDPC-коди, турбокоди, полярні коди, цифровий зв'язок.

Abstract

The modern methods of noise-resistant data coding in information transmission systems were analyzed. The principles of operation of the latest techniques, such as LDPC, turbo, and polar codes, are analyzed. The advantages and disadvantages, as well as the areas of application in modern digital communication systems, are substantiated. Conclusions are drawn regarding the prospects for the development of noise-resistant coding.

Keywords: error-resistant coding, error correction, LDPC codes, turbo codes, polar codes, digital communication.

Вступ

Інформація – неоціненно важливий ресурс. Потрібна інформація в правильний час може означати різницю між життям і смертю. Впродовж всієї історії ми намагаємося знайти способи швидкої та точної передачі даних на великі відстані, але, на жаль, це не завжди вдається.

У сучасному світі інформація передається, як правило, за допомогою електричних сигналів чи радіохвиль. Здавалося б, після виключення людського фактору з цієї системи, більше нема кому спотворювати повідомлення. Але насправді неважливо хто чи що є носієм повідомлення – середовище передачі завжди містить завади, що не дозволяють йому діяти без жодних змін.

Для вирішення таких проблем застосовується завадостійке кодування, ідея якого полягає в додаванні надлишкової інформації, що залежить від змісту основного повідомлення і допомагає виявити та виправити помилки, що виникли при передачі. Робота спрямована на аналіз сучасних методів та пошук інноваційних шляхів підвищення ефективності завадостійкого кодування у системах передачі інформації.

Результат дослідження

Корекція помилок є основою сучасних цифрових систем зв'язку та зберігання даних. Завдяки ефективним методам кодування можна передавати інформацію через зашумлені канали зв'язку та зчитувати її навіть у випадку пошкоджень у запам'ятовуючих пристроях. Існує багато різних класів кодів, що використовуються для виправлення помилок, зокрема класичні блокові коди, такі як коди Геммінга та коди БЧХ, згорткові коди, каскадні коди та коди Ріда-Соломона. Вони застосовуються в багатьох сферах, починаючи від комп'ютерної пам'яті та компакт-дисків і закінчуючи супутниковим зв'язком.

Проте для більшості сучасних цифрових комунікацій ці методи мають значні недоліки. Наприклад, класичні блокові коди та згорткові коди не дозволяють працювати близько до межі Шеннона, тобто не можуть забезпечити максимальну ефективність використання каналу зв'язку. Крім того, їхнє декодування може мати занадто велику складність при високих швидкостях передачі. У зв'язку з цим у сучасних системах передачі інформації набули популярності LDPC-коди, турбокоди та полярні коди.

Вони використовуються в таких технологіях, як мобільний зв'язок (4G, 5G), супутникові системи, оптичні комунікації та сховища даних.

LDPC-коди були відкриті Робертом Галлагером у 1962 році, проте вони не отримали широкого визнання до середини 1990-х років. В основі LDPC-кодів лежить використання розріджених матриць перевірок на парність, що дозволяє суттєво спростити процес декодування. Для корекції помилок використовується ітеративний алгоритм розповсюдження довіри (belief propagation), який поступово уточнює ймовірності правильного значення символів у кодовому слові. Завдяки цьому LDPC-коди дозволяють досягати продуктивності, близької до межі Шеннона. Вони мають високу масштабованість, добре працюють на великих довжинах кодових слів і застосовуються у бездротових технологіях (4G, 5G), супутниковому та космічному зв'язку, оптичних мережах і пристроях зберігання даних [1].

Турбокоди були запропоновані у 1993 році та стали першим класом кодів, що наблизився до межі Шеннона. Основна їхня ідея полягає в тому, що замість одного коду використовується комбінація двох або більше згорткових кодів, які пов'язані між собою через перетворення перестановки (interleaver). Процес декодування у турбокодах є ітеративним: один декодер передає отриману інформацію іншому, і цей процес повторюється кілька разів, поки не буде досягнуто прийнятної точності. Такий метод отримав назву турбодекодування, оскільки він нагадує принцип роботи турбонаддува в автомобільних двигунах. Турбокоди дозволяють використовувати дуже довгі кодові слова при помірній складності декодування. Вони знайшли широке застосування у мобільному зв'язку (3G, 4G), супутникових системах, оптичних мережах та навіть у глибокосмільному зв'язку.

Полярні коди були розроблені Ердалом Аріканом у 2009 році і стали першими кодами, для яких математично доведено, що вони досягають межі Шеннона. Вони відрізняються від LDPC-кодів і турбокодів тим, що їхнє декодування є неітеративним, що дозволяє значно зменшити складність реалізації. Полярні коди мають унікальну структуру, яка дозволяє поділяти каналні символи на «надійні» та «ненадійні» й використовувати тільки корисну частину інформації для передачі. Вони мають низьку складність кодування та декодування, яка становить $O(N \log N)$ для коду довжини N . Полярні коди відзначаються гнучкістю у виборі швидкості кодування, що робить їх ідеальними для мереж нового покоління, зокрема 5G [2].

Висновки

Хоча LDPC-коди, турбокоди та полярні коди є одними з найефективніших методів кодування, у кожного з них є аспекти, які можуть бути покращені. Турбокоди демонструють високу ефективність, але ітеративний процес декодування може бути складним для реалізації у високошвидкісних системах. LDPC-коди мають гарну масштабованість, але ефективність ітеративного декодування залежить від довжини коду та щільності матриці перевірок. Полярні коди досягають межі Шеннона, але їхня продуктивність на малих довжинах кодових слів може бути нижчою за LDPC-коди. Майбутні дослідження можуть зосередитися на комбінації переваг цих кодів для створення ще ефективніших методів корекції помилок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Fundamentals of Classical and Modern Error-Correcting Codes. – [S. l.] : University of Cambridge ESOL Examinations, 2021. – 840 p.
2. Moon T. K. Error Correction Coding: Mathematical Methods and Algorithms / Todd K. Moon. – [S. l.] : Wiley & Sons, Incorporated, John, 2020. – 1008 p.

Атаманенко Владислав Миколайович – студент четвертого курсу групи 2ПІ-216, ФІТКІ, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vladatataman204@gmail.com;

Науковий керівник: **Олександр Миколайович Рейда** – канд. техн. наук, доцент кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця,.

Vladyslav Atamanenko – fourth-year student of group 2PI-21b, FITKI, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: vladatataman204@gmail.com;

Supervisor: **Oleksandr Reyda** – Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Software engineering department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.