

РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМІВ ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто питання завадостійкого кодування даних у каналах зв'язку. Проведено аналіз і класифікацію корегуючих кодів. Розроблено алгоритми кодування та декодування на основі згортного коду (7, 5) зі швидкістю $R = 1/2$ із застосуванням алгоритму Вітербі. Розроблено програмний засіб мовою C# з модулями кодування, декодування та покрокової візуалізації ґратчастої діаграми станів кодера.

Ключові слова: завадостійке кодування, згортний код, алгоритм Вітербі, ґратчаста діаграма, візуалізація, C#.

Abstract

The paper addresses the problem of error-control coding in communication channels. A classification of error-correcting codes is provided. Encoding and decoding algorithms based on a (7, 5) convolutional code with rate $R = 1/2$ using the Viterbi algorithm are developed. A software tool implemented in C# is presented, featuring modules for encoding, decoding, and step-by-step visualization of the encoder trellis diagram.

Keywords: error-control coding, convolutional code, Viterbi algorithm, trellis diagram, visualization, C#.

Реальні системи передачі даних схильні до дії завад, що призводить до спотворення або втрати інформації. Особливо гостро ця проблема постає у системах супутникового та мобільного зв'язку, при записі на носії з великою щільністю, а також у каналах з підвищеними вимогами до надійності. Типове значення імовірності помилки на біт без кодування в обчислювальних мережах становить 10^{-6} ; застосування надлишкових кодів із невеликою надмірністю дозволяє знизити цю величину до 10^{-9} і нижче. Завади в каналах виникають з різних причин, однак їхній вплив на інформацію незмінний - дані спотворюються або втрачаються. Одним з найефективніших підходів до вирішення цієї проблеми є застосування завадостійкого кодування, що дозволяє виявляти та виправляти помилки без повторної передачі.

Метою роботи є розробка алгоритмів завадостійкого кодування на основі згортного коду та створення програмних засобів для їх наочної візуалізації.

Проведено аналіз і класифікацію завадостійких кодів. Виокремлено два великих класи: блокові та безперервні коди. Серед блокових розглянуто лінійні (систематичні та несистематичні, у тому числі циклічні) і нелінійні коди. Для лінійних блокових (n, k)-кодів розглянуто математичний апарат: породжувальні та перевірочні матриці, рівняння перевірки та синдромне декодування. Встановлено, що серед безперервних кодів найбільш практично застосовними є згортні коди - вони забезпечують ефективне виправлення незалежних помилок без розбиття потоку на блоки і добре поєднуються з оптимальними алгоритмами декодування.

Розроблено алгоритм кодування згортним кодом (7, 5) зі швидкістю $R = 1/2$. Кодер реалізовано на основі зсувного регістра з трьома розрядами та двома суматорами за модулем 2. Для кожного вхідного інформаційного біта на виході кодера формуються два кодових символи, що визначаються поточним вмістом регістра і генераторними поліномами. Процес кодування описано за допомогою діаграми станів та ґратчастої діаграми. Ґратчаста діаграма є розгорткою діаграми станів у часі: після кожного переходу відбувається зсув на один крок управо, а кожній інформаційній послідовності відповідає єдиний шлях по ґратці. Можливе кодування і з іншими швидкостями: наприклад, при $R = 2/3$ на вхід кодера одночасно надходять два інформаційних символи, а на виході формуються три кодових.

Для декодування реалізовано алгоритм Вітербі - оптимальний алгоритм пошуку найбільш імовірного шляху на ґратчастій діаграмі. На кожному кроці обчислюються метрики гілок і вузлів за відстанню Хеммінга між прийнятими символами і очікуваними виходами кодера. Для кожного вузла

зберігається лише шлях з мінімальною накопиченою метрикою — так званій шлях-переможець, а решта шляхів відкидаються. Після обробки всієї прийнятої послідовності виконується зворотне простеження для відновлення вхідної інформаційної послідовності. Алгоритм забезпечує виправлення одиночних і подвійних помилок у межах корегуючої здатності коду.

Програмний засіб розроблено мовою C# в середовищі Visual Studio з використанням платформи .NET та бібліотеки Windows Forms. Реалізовано три ключових модулі:

- модуль кодування;
- модуль декодування;
- модуль графічної візуалізації ґратчастої діаграми.

Відображення діаграми виконується покроково у режимі реального часу: вузли станів (00, 10, 01, 11) та переходи між ними відображаються динамічно разом із ваговими метриками. Правильні шляхи позначаються блакитними гілками, хибні - фіолетовими, що дає змогу наочно простежити весь процес роботи алгоритму Вітербі та легко верифікувати результати декодування (рис. 1).

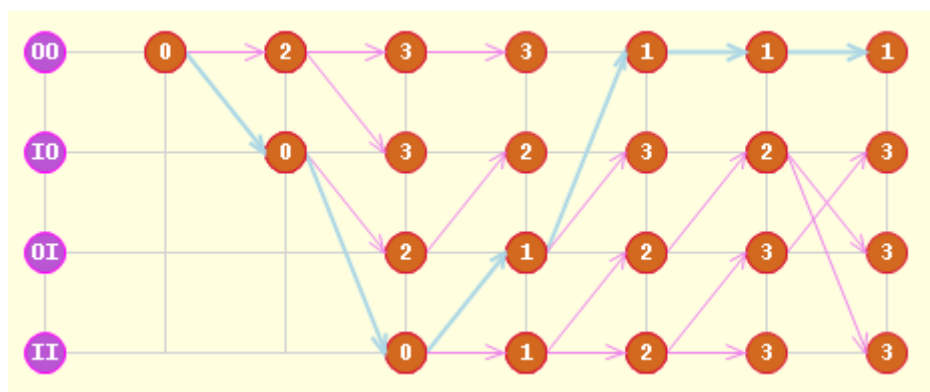


Рисунок 1 – Візуалізація процесу декодування методом Вітербі

Тестування програми підтвердило коректність кодування і декодування для різних вхідних послідовностей при наявності одиночних та подвійних помилок у прийнятій послідовності. Розроблені програмні засоби можуть застосовуватися у навчальному процесі для демонстрації принципів завадостійкого кодування, а також слугувати основою для практичних застосувань у системах захищеної передачі даних. Перспективою подальшого розвитку є підтримка кодів з іншими швидкостями та розробка веб-орієнтованої версії інструменту візуалізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Lin S., Costello D. J. Error Control Coding. – Pearson Prentice Hall, 2004. – 1260 p.
2. Viterbi A. J. Error bounds for convolutional codes and an asymptotically optimum decoding algorithm. *IEEE Transactions on Information Theory*. 1967. Vol. 13, No. 2. P. 260–269.
3. Майданюк В. П. Основи теорії інформації та кодування [Електронний ресурс] : електрон. навч. посіб. комбінов. використання / В. П. Майданюк, О. Н. Романюк, С. Є. Тужанський. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 133 с. – URL: <https://iq.vntu.edu.ua/repository/getfile.php/5107.pdf>.
4. Proakis J. G., Salehi M. Digital Communications. – 5th ed. – McGraw-Hill, 2008. – 1150 p.

Черноволик Галина Олександрівна - кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: lina2433@gmail.com.

Дубенський Владислав Русланович - студент IV курсу групи 5ПІ-22б денної форми навчання, факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, спеціальність 121 «Інженерія програмного забезпечення», м. Вінниця, e-mail: vladdubenskiy18@gmail.com.

Halyna Chernovolyk - Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Department of Software Engineering, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: lina2433@gmail.com.

Vladyslav Dubenskiy - 4th-year student, group 5PI-22b, full-time study, Faculty of Information Technologies and Computer Engineering, Vinnytsia National Technical University, specialty 121 "Software Engineering", Vinnytsia, Ukraine, e-mail: vladdubenskiy18@gmail.com.