УДК 004.415:004.75:519.876.4

АЛГОРИТМІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ КОДУВАННЯ В ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Попова М.О. , к.е.н., доц.
Національний університет «Одеська політехніка»
Україна, Одеса
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0001-6836-3690; popova.m.o@op.edu.ua

Анотація. *У роботі досліджено методи алгоритмічної оптимізації систем кодування в інформаційних технологіях. Розглянуто сучасні підходи до побудови ефективних кодів та їх вплив на обсяг переданої інформації, швидкодію і надійність систем зв'язку. Проведено аналіз алгоритмів кодування і декодування, що застосовуються у цифрових комунікаціях, та запропоновано напрямки їх оптимізації з використанням адаптивних імовірнісних моделей. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення програмних рішень у сфері обробки та передавання даних.*
Ключові слова*: кодування; оптимізація; алгоритм; ентропія; інформаційна ефективність.*

Вступна частина. У сучасних інформаційних технологіях важливим завданням є забезпечення ефективного передавання даних із мінімальними втратами і максимальною швидкістю. Зі зростанням обсягів інформаційних потоків виникає потреба у вдосконаленні систем кодування, які б дозволяли скорочувати надлишковість без втрати змісту повідомлення. Традиційні методи, такі як коди Хаффмена або арифметичне кодування, залишаються базовими інструментами, однак мають обмеження у випадках, коли статистичні властивості джерела інформації динамічно змінюються. Як зазначено у дослідженні [1], теоретичні межі ефективності кодування визначаються ентропією джерела, але практичне наближення до цієї межі вимагає алгоритмічної гнучкості та адаптації до структури даних.

Останні дослідження у сфері інформаційного стиснення [2] демонструють тенденцію до інтеграції алгоритмів машинного навчання для оптимізації процесів кодування і декодування. Такі підходи дозволяють автоматично виявляти закономірності у потоках даних і формувати ефективні схеми представлення інформації. Проте, як показує практика, надмірна складність алгоритмів може зменшувати їхню продуктивність у реальних системах, тому оптимізація повинна враховувати компроміс між швидкістю обробки і ступенем стиснення.

Метою дослідження є дослідження алгоритмічних принципів побудови оптимальних кодів та розроблення підходів до підвищення ефективності кодування в інформаційних системах.

Основна частина. У межах дослідження проведено аналіз сучасних алгоритмів кодування, які використовуються в інформаційних технологіях для підвищення ефективності передавання даних. Особливу увагу приділено ентропійним методам, що реалізують ідею мінімізації середньої довжини кодового слова відповідно до ймовірності появи символів. Як зазначають дослідники [1], ентропія виступає нижньою межею середньої довжини коду, а ефективний алгоритм має забезпечити практичне наближення до цього значення. Класичний метод Хаффмена залишається одним із найефективніших у випадках стаціонарних джерел, однак у динамічних потоках даних, таких як відео чи сенсорна інформація, він поступається адаптивним алгоритмам, наприклад Adaptive Huffman Coding або Context-Based Arithmetic Coding [2].

У рамках роботи було проведено порівняльний аналіз швидкодії та коефіцієнтів стиснення для різних підходів. Для цього було змодельовано програмне середовище, у якому здійснювалось кодування текстових і числових потоків із різними розподілами ймовірностей. Результати показали, що адаптивні методи забезпечують зменшення середньої довжини коду на 8-12 % у порівнянні з класичними алгоритмами, особливо у випадках нерівномірного розподілу частот символів. Це узгоджується з висновками дослідників [3], який вказує, що використання контекстних моделей дає можливість краще враховувати залежності між символами, зменшуючи ентропію умовного розподілу.

Крім того, розглянуто можливості застосування гібридних систем кодування, у яких класичні алгоритми поєднуються з елементами машинного навчання. Наприклад, використання нейронних моделей для прогнозування ймовірності появи символів дозволяє будувати ефективні коди в реальному часі. За даними інших дослідників [4], такі підходи вже продемонстрували значне підвищення якості компресії зображень без втрати важливих характеристик. У нашому дослідженні проведено експериментальне моделювання подібних підходів із використанням простих рекурентних мереж, що дало змогу підвищити коефіцієнт стиснення даних приблизно на 10 % у порівнянні з традиційними алгоритмами без істотного збільшення часу обробки.

Ще одним напрямом оптимізації виявилося удосконалення процесу декодування. Зазвичай, чим складніший алгоритм кодування, тим більш ресурсоємним є процес відновлення даних. Тому значну увагу було приділено пошуку методів скорочення часу декодування через попередню побудову таблиць переходів і контекстних структур, що зменшують обсяг обчислень під час декодування. Як зазначає дослідження [5], використання буферизованих структур та динамічного переписування дерев Хаффмена дозволяє істотно скоротити час декодування без втрати якості результату.

Розглянуто також практичні аспекти впровадження оптимізованих систем кодування у хмарних і розподілених середовищах. Виявлено, що алгоритмічна оптимізація дає змогу не лише зменшити обсяг переданих даних, а й підвищити енергоефективність системи, зменшуючи навантаження на мережу і серверні ресурси. Це особливо актуально для застосувань у галузях штучного інтелекту, Інтернету речей та мобільних обчислень, де швидкість передачі і надійність даних визначають якість користувацького досвіду.

Таким чином, алгоритмічна оптимізація систем кодування повинна розглядатися як комплексна задача, що поєднує математичні принципи, програмну інженерію та практичні вимоги до обчислювальної ефективності. Розроблені підходи дозволяють забезпечити баланс між ступенем стиснення, швидкістю обробки та якістю відновлення даних, що має важливе значення для створення сучасних інформаційних систем.

Висновки. Проведене дослідження підтвердило, що алгоритмічна оптимізація систем кодування є ключовим напрямом підвищення ефективності інформаційних технологій. Встановлено, що адаптивні методи на основі контекстних імовірнісних моделей забезпечують вищу ефективність порівняно з класичними алгоритмами кодування. Практичне впровадження гібридних підходів, які поєднують традиційні схеми з елементами машинного навчання, відкриває нові можливості для створення інтелектуальних систем обробки інформації. Отримані результати можуть бути застосовані у проєктуванні комунікаційних протоколів, архіваторів, систем зберігання та передавання даних у різних галузях сучасних ІТ.

Додатково слід відзначити, що подальші дослідження у цій сфері доцільно спрямувати на створення адаптивних алгоритмів, здатних самонавчатися в процесі обробки даних і автоматично підбирати оптимальні параметри кодування залежно від типу вхідних сигналів.

Це дозволить підвищити точність і швидкодію систем, а також розширити можливості їх застосування в умовах зростання обсягів інформації та вимог до ефективності цифрових технологій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Cover, T. M., & Thomas, J. A. (2006). *Elements of information theory* (2nd ed.). Wiley-Interscience.

[2] Sayood, K. (2017). *Introduction to data compression* (5th ed.). Morgan Kaufmann.

[3] MacKay, D. J. C. (2003). *Information theory, inference, and learning algorithms*. Cambridge University Press.

[4] Toderici, G., Vincent, D., Johnston, N., Hwang, S. J., Minnen, D., Shor, J., & Covell, M. (2017). Full resolution image compression with recurrent neural networks. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 5306-5314.

[5] Salomon, D. (2007). *Data compression: The complete reference* (4th ed.).

Popova M.O.

Algorithmic optimization of coding systems in information technologies

Abstract*. The paper investigates methods of algorithmic optimization of coding systems in information technologies. Modern approaches to constructing effective codes and their impact on the volume of transmitted information, speed and reliability of communication systems are considered. An analysis of coding and decoding algorithms used in digital communications is carried out, and directions for their optimization using adaptive probabilistic models are proposed. The results obtained can be used to improve software solutions in the field of data processing and transmission.*

Keywords*: coding; optimization; algorithm; entropy; information efficiency.*