

МЕТОД СТИСНЕННЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ З КОРЕКЦІЄЮ ВЕЙВЛЕТ-КОЕФІЦІЄНТІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано метод стиснення цифрових зображень з корекцією вейвлет-коефіцієнтів на основі ліфтингової схеми, який дозволяє збільшити ступінь стискання зображень та зберегти прийнятну візуальну якість.

Ключові слова: зображення, стиснення, вейвлет-перетворення, вейвлет-коефіцієнти, кодер, ліфтинг.

Abstract

A method of digital image compression with correction of wavelet coefficients based on a lifting scheme is proposed, which allows to increase the degree of image compression and maintain acceptable visual quality.

Keywords: image, compression, wavelet transform, wavelet coefficients, encoder, lifting.

Вступ

На основі проведеного аналізу робіт зі стиснення зображень можна виділити алгоритми кодування, спрямовані на перетворення як стаціонарних, так і нестаціонарних сигналів. Для стаціонарних сигналів широкого застосування набув метод стиснення, ґрунтований на дискретному косинусному перетворенні. Він ефективно застосовується для кодування квазіперіодичних сигналів та показує добрі результати. Для нестаціонарних сигналів рекомендується використовувати вейвлет-перетворення, оскільки вони дозволяють отримати високі коефіцієнти стиснення для сигналів, які описуються кусково-поліноміальними функціями. Отже, обробка нестаціонарних сигналів за допомогою вейвлет-перетворення виявляється ефективною стратегією для стискання такого типу сигналів. У роботі також акцентується увага на узагальненні методів Фур'є та вейвлет-перетворень для обробки двовимірних сигналів, що призводить до відомих роздільних перетворень. Зазначається, що ці перетворення мають виражену анізотропію, пов'язану з введенням штучних координатних осей у роздільних алгоритмах кодування. Однак відзначається, що більшість реальних зображень мають ізотропні просторові властивості, що є характерним для роздільних породжуючих фільтрів. У зв'язку з цим, виникає актуальна задача підвищення ефективності кодування широкого спектру зображень за допомогою нероздільних алгоритмів.

Метою роботи є розроблення вейвлет-кодера з корекцією вейвлет-коефіцієнтів, спрямованого на покращення якості кодування для різноманітних класів зображень.

Результати дослідження

Аналіз кодуемого зображення розпочинається з дрібномасштабної сітки, де значення яскравості елементів зображення розташовані у вузлах. Оцінки пікселів будуються на основі дійсних значень відліків, які розташовані у вузлах сітки з кроком два відліки. Цей підхід дозволяє ефективно враховувати шумову складову у множині неповних спостережень. У результаті отримуються більш точні оцінки, що призводить до зменшення дисперсії вейвлет-коефіцієнтів. Вейвлет-коефіцієнти обчислюються як різниця між дійсним значенням пікселя і його оцінкою, що сприяє покращенню якості аналізу зображення. На основі обчислених вейвлет-коефіцієнтів $\bar{\gamma}_1$ виконується операція відновлення. Для отриманої низькочастотної складової \bar{z}_1 в чотири рази меншої за обсягом інформації зображення, яке кодується, повторюються операції оцінювання по множині спостережень \bar{z}_1 відповідні сітці з кроком чотири відліки, обчислення вейвлет-коефіцієнтів $\bar{\gamma}_2$ і формування низькочастотної складової \bar{z}_2 за допомогою операції відновлення. Процес декомпозиції запропоновано виконувати чотири

рази.

У такий спосіб після чотирьох етапів декомпозиції виходить низькочастотна складова \bar{z}_4 відповідна згладженої зменшеної в 16 разів копії вихідного зображення і чотири послідовності вейвлет-коефіцієнтів $\bar{\gamma}_1, \bar{\gamma}_2, \bar{\gamma}_3$ і $\bar{\gamma}_4$.

Потім на основі обчислень низькочастотної складової \bar{z}_4 виконується корекція вейвлет-коефіцієнтів $\bar{\gamma}_4$. Для цього відновлюються відліки зображення

$$\bar{x}_4 = P(\bar{z}_4) + \bar{\gamma}_4, \quad (1)$$

де $P(\bar{z}_4)$ - оцінка значень елементів зображення побудована на основі вейвлет-фільтра.

Отримані значення \bar{x}_4 оцінюються на основі інтерполюючого фільтра $P_2(\bar{z}_4)$:

$$\hat{\gamma}_4 = \bar{x}_4 - P_2(\bar{z}_4). \quad (2)$$

У результаті обчислені помилки оцінювання $\hat{\gamma}_4$ являють собою скоректовані вейвлет-коефіцієнти, що квантуються і стискаються арифметичним кодером. За квантованими значеннями $\hat{\gamma}_4^k$ виконується відновлення вейвлет-коефіцієнтів $\tilde{\gamma}_4$ відповідно до виразу

$$\tilde{\gamma}_4 = \hat{\gamma}_4^k + P_2(\bar{z}_4) - P(\bar{z}_4). \quad (3)$$

За вейвлет-коефіцієнтами $\tilde{\gamma}_4$ формується множина неповних спостережень \tilde{z}_3 і операція корекції вейвлет-коефіцієнтів повторюється для послідовностей $\bar{\gamma}_3, \bar{\gamma}_2$ і $\bar{\gamma}_1$.

Скоректовані квантовані послідовності стискаються арифметичним кодером, на виході якого формується потік стиснених даних.

В якості вейвлет-фільтра і оператора оцінювання доцільно вибрати наступні вирази [3], що приводять до біортогонального вейвлету 9/7, застосовуваному в стандарті JPEG2000, і що вважається, у середньому, кращим при стисненні реальних зображень:

$$\begin{aligned} \gamma_{1,l}^{(1)} &= z_{0,2l+1} + a(z_{1,2l} + z_{1,2l+2}) \\ z_{1,l}^{(1)} &= z_{0,2l} + b(\gamma_{1,l}^{(1)} + \gamma_{1,l-1}^{(1)}) \\ \gamma_{1,l} &= \gamma_{1,l}^{(1)} + c(z_{1,l}^{(1)} + z_{1,l+1}^{(1)}) \\ z_{1,l} &= z_{1,l}^{(1)} + d(\gamma_{1,l} + \gamma_{1,l-1}), \end{aligned} \quad (4)$$

де константи $a = -1.586134342$, $b = -0.05298011854$, $c = 0.8829110762$, $d = 0.4435068522$.

Вираз (4) описує дві операції оцінювання і відновлення. Завдяки цьому вдається побудувати кращий фільтр, що згладжує, на основі якого формуються низькочастотні складові, у порівнянні з вейвлет-фільтром, що містить одну операцію оцінювання і відновлення.

При корекції вейвлет-коефіцієнтів біортогонального вейвлет-фільтра 9/7 оцінка будується відповідно до наступного виразу:

$$\hat{z}_{0,2l+1} = -a(z_{1,l} + z_{1,l+1}) - c(z_{1,l} + z_{1,l+1}). \quad (5)$$

Коефіцієнти коригувального фільтра P_2 визначаються на основі псевдоградієнтної процедури.

У такий спосіб запропонована схема кодування з чотирьохрівневою декомпозицією зображення використовує біортогональний вейвлет-фільтр 9/7, що володіє гарними згладжуючими властивостями, що приводить до зменшення дисперсії вейвлет-коефіцієнтів і збільшенню коефіцієнта стиснення.

Розглянутий алгоритм вейвлет-перетворення з корекцією вейвлет-коефіцієнтів будемо порівнювати з біортогональним вейвлет-перетворенням 9/7 [3, 4]. Корекцію коефіцієнтів даного вейвлет-перетворення будемо здійснювати за допомогою інтерполюючих фільтрів, коефіцієнти яких обчислюються на основі псевдоградієнтної процедури.

Мірою втрат виберемо відносну дисперсію помилки, визначену за формулою:

$$l = \frac{\sigma_{\varepsilon}^2}{\sigma_x^2} \cdot 100\% \quad (6)$$

де σ_{ε}^2 - дисперсія помилок відновлення,

а σ_x^2 - дисперсія зображення.

У табл. 1 представлені дисперсії помилок оцінювання різних рівнів декомпозиції при втратах відновлення 5%.

Таблиця 1 – Дисперсії вейвлет-коефіцієнтів тестових зображень

Метод оцінювання	1-й рівень декомпозиції	2-й рівень декомпозиції	3-й рівень декомпозиції	4-й рівень декомпозиції
Без корекції вейвлет-коефіцієнтів	а) 151 б) 76 в) 34 г) 501	а) 368 б) 187 в) 150 г) 540	а) 720 б) 366 в) 345 г) 843	а) 1238 б) 670 в) 633 г) 1075
З корекцією вейвлет-коефіцієнтів	а) 142 б) 72 в) 30 г) 492	а) 357 б) 176 в) 141 г) 534	а) 708 б) 353 в) 326 г) 821	а) 1202 б) 651 в) 611 г) 1044

З таблиці 1 видно, що дисперсії скоректованих вейвлет-коефіцієнтів менше вихідних. Це створює можливість отримання менших значень ентропії квантованих даних та підвищення коефіцієнта стиснення.

Висновки

Запропонований вейвлет-кодер з корекцією вейвлет-коефіцієнтів демонструє підвищення ступеня стиснення зображень на 3-7% у порівнянні з аналогічним вейвлет-кодером без корекції вейвлет-коефіцієнтів. Це пояснюється, по-перше, невідповідністю моделей тестових зображень і моделі, яка описується інтерполюючим вейвлет-фільтром, і, по-друге, побудовою кращої оцінки за допомогою нероздільного фільтра H2. Алгоритм MrSID показує кращі результати стиснення на 2-6% в порівнянні із запропонованим алгоритмом. Проте, слід врахувати, що обчислювальна складність алгоритму MrSID приблизно в півтора рази вища порівняно з вейвлет-кодером з корекцією вейвлет-коефіцієнтів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гармаш В. Метод стиснення цифрових зображень на основі вейвлет-перетворення [Електронний ресурс] / В. Гармаш, Н. Ольшанська, М. Барабан // Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 27-28 квітня 2020 р. – Електрон. текст. дані. – 2020. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2020/paper/view/8826>.
2. Юдін О. К. Технологія стиснення на базі методу кодування двійкових послідовностей за кількістю бітових переходів / О. К. Юдін, М. Б. Гумен, К. О. Курін // Захист інформації. – 2012. – Т. 14. – №4. – С. 12 – 18.
3. Daubechies L, Sweldens W. Factoring Wavelet Transforms into Lifting Steps // IEEE Trans, on Image Processing. — 2013. — Vol. 9. No. 3. — pp. 480-496
4. Methods and means of processing discrete information in networks with a high level of noise [Electronic resource] / R. N. Kvetnyy, Y. A. Kulyk, B. P. Knysh [etc.] // Proc. SPIE 10808 "Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments 2018", October 1, 2018. – 2018. – Vol. 10808. – DOI: 10.1117/12.2501502.

Шевченко Олександр Васильович — студент групи ЗАКІТР-23м, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sheva.alex95@gmail.com

Гармаш Володимир Володимирович - канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Shevchenko Oleksandr Vasylovych - Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : sheva.alex95@gmail.com

Garmash Volodymyr Volodymyrovych - Ph.D. (Eng), Assistant Professor of Department of Automation and Intelligent Information Technology, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.