

Б.М. Гавриш<sup>1</sup>, к.т.н., ст. викл.

О.В. Тимченко<sup>1,2</sup>, д.т.н., професор,

## МЕТОД КОДУВАННЯ І ВІДНОВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ В ГІБРИДНИХ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМАХ

У статті розглядається питання оптимізації методів метод кодування і відновлення зображення шляхом оптичної обробки інформації в гібридних оптико-електронних системах. Розглянуто метод кодування і відновлення зображення, заснований на ортогональних перетвореннях. Метод дозволяє розкласти зображення в спектр двовимірних базисних функцій та порівняно просто реалізувати функцію відновлення зображення за компонентами спектра.

**Ключові слова:** параметри руху, зображення, базисна функція, ортогональні перетворення, кодування.

The article deals with the problem of method optimization of the method of encoding and image restoration by optical information processing in hybrid optoelectronic systems. The method of encoding and restoration of scribing, based on orthogonal transformations is considered. The method allows the image to be rendered in the spectrum of two-dimensional basic functions and a relatively simple one to realize the function of image restoration by components of the spectrum.

**Keywords:** motion parameters, image, basic function, orthogonal transformations, coding.

**Вступ.** Традиційно основною метою стиснення зображень було максимально компактне зберігання відповідних даних під час збереження заданої якості. За останню чверть століття цифрова обробка зображень та відео перетворилася на потужну індустрію з річним оборотом близько трильйона доларів, в основі якої лежать міжнародні стандарти стиснення, або кодування JPEG, MPEG. Ці стандарти в цілому забезпечують широкий спектр суперечливих вимог до інформаційних можливостей відеокодеків, основними серед яких є степінь стиснення, якість відновлення, стійкість і швидкодія. Однак ці вимоги неухильно зростають, і протиріччя між ними загострюється. По-перше, у міру переходу до форматів відеоданих високої чіткості (HD) і наступного покоління (3D, голографічне телебачення) зростає необхідна якість зображення і його роздільна здатність. По-друге, зростає необхідний ступінь стиснення відеоданих, особливо в мобільному і мережевому сегменті мультимедійних додатків з властивим йому жорстким обмеженням

---

<sup>1</sup>, Українська академія друкарства

<sup>2</sup> Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

пропускної здатності каналу передачі даних. По-третє, зростаюча складність обробки зазвичай тягне ускладнення кодека і зниження його швидкодії. Частина цих проблем на передаючій стороні доцільно вирішити методами оптичної обробки інформації.

**Постановка проблеми.** З розвитком техніки стало актуальним передавати зображення необхідної, а не довільної роздільної здатності, оскільки не всі пристрої можуть відобразити зображення вихідної роздільної здатності. У наукових дослідженнях, пов'язаних з вимірюванням параметрів руху, все більш міцні позиції завойовує напрямок, пов'язаний з розпізнаванням образів зображень. В рамках цього напрямку розробляються, наприклад, способи вимірювання кутової та лінійної швидкості об'єктів, а також способи визначення їхніх координат на основі голографічної узгодженої фільтрації. Вирішення цих та аналогічних завдань часто доцільне при оптимальному вирішенні проблеми стиснення і кодування сигналу під час цифрової обробки зображень, яка неминуча в системах вимірювання параметрів руху.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Сучасний арсенал методів кодування відеоданих охоплює широке коло ідей і включає імпульсно-кодову модуляцію (ІКМ), кодування з проорокуванням (диференціальну імпульсно-кодову модуляцію), статистичне (або ентропійне) кодування, групове кодування (або кодування з перетворенням) і ряд інших методів [1-2]. Кодування зображення за допомогою ІКМ є першим історично освоєним методом формування цифрового зображення і зводиться до послідовно виконуваних операцій обмеження спектра аналогового зображення, його дискретизації, квантування дискретних відліків (пікселів) зображення та подання їх у вигляді бінарних слів. ІКМ не дозволяє істотно скоротити обсяг вихідної інформації, оскільки не враховує кореляційні зв'язки між пікселями. Кодування з прогнозом, на відміну від ІКМ, використовує міжпіксельну кореляцію і полягає в побудові прогнозу значення кожного поточного пікселя за сукупністю сусідніх і формуванні різницевого зображення, що представляє собою помилку прогнозу щодо правдивого зображення. При цьому кодуванню і передачі підлягає саме різницевий сигнал, а при декодуванні вихідне зображення відновлюється з різницевого за відомим алгоритмом прогнозу. При точному прогнозі помилка виявляється в середньому малою і кодується більш коротким кодом, ніж вихідне зображення під час ІКМ, що і призводить до стиснення даних. Однак і в цьому випадку можливості скорочення цифрового потоку обмежені, головним чином, попіксельним механізмом передбачення. Інший підхід до врахування статистичних властивостей зображення лежить в основі ентропійного кодування. Оскільки квантовані значення яскравості пікселів зображення нерівномірні, скорочення обсягу пам'яті для збереження даних про зображення можливе шляхом кодування рівнів яскравості словами змінної довжини: більш ймовірні значення яскравості кодуються словами з меншим числом біт, а менш ймовірні – з великим.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Методи стиснення відеоданих можна розділити на два класи: до першого належать методи, що працюють на основі надмірності даних, до другого – методи стиснення даних, в яких досягається за допомогою консервативного перетворення вихідного зображення в нову матрицю, під час якого максимум інформації «упаковується» в мінімальній кількості відліків. Ці методи об'єднуються під загальною назвою «кодування з перетворенням» [1]. Найбільш перспективним у першому класі методів є метод стиснення відеоінформації за допомогою диференціальної кодоімпульсної модуляції, заснованої на декореляції сигналу за рахунок передбачення. Найбільший практичний інтерес у другому класі представляє статистичне кодування зображень на основі ортогональних перетворень [2-3].

Методи на основі диференціальної кодово-імпульсної модуляції порівняно легко реалізуються, але їх ефективність залежить від статичних властивостей даних. Використання диференціальної кодоімпульсної модуляції (ДІКМ) неефективне в тих випадках, коли критерієм якості є імовірність правильного розпізнавання (і тим більше, виявлення) дрібномасштабних зображень. У той самий час метод статичного кодування на основі ортогональних перетворень, як і вся група методів «кодування з перетворенням», забезпечує високі якісні показники, його ефективність мало залежить від статистичних властивостей даних, початкові помилки, характерні для ДІКМ і помилки квантування розподіляються по всьому фрагменту зображення. Забезпечується простота введення захисту від помилок [4].

Серед відомих методів кодування зображень [1-3] найбільший інтерес являє метод, заснований на ортогональних перетвореннях, в результаті яких отримуємо спектр двовимірних базисних функцій. В цьому випадку спектр використовується для передачі і зберігання зображення, що суттєво знижує вимоги до пропускну здатності каналів зв'язку і обсягу оперативної пам'яті, яка забезпечує ці канали [3]. Метод добре реалізується засобами оптико-електронного аналізу зображення. Це дозволяє побудувати систему кодування і відновлення зображення на оптоелектронній елементній базі.

В даний час існує багато способів розкладання зображення на деякій системі ортогональних функцій. Їх теоретична основа розроблена досить давно [2, 3, 5]. З точки зору практичної реалізації найбільш простим є перетворення Адамара [3]. В основі метода лежить перетворення вихідного фрагмента зображення  $X$ , яке представлено матрицею:

$$X = \begin{vmatrix} \epsilon_{11} \epsilon_{12} \dots \epsilon_{1n} \\ \dots \\ \epsilon_{n1} \epsilon_{n2} \dots \epsilon_{nn} \end{vmatrix},$$

в трансформанту  $Y$ :

$$Y = \begin{vmatrix} c_{11}c_{12}\dots c_{1n} \\ \dots \\ c_{n1}c_{n2}\dots c_{nn} \end{vmatrix},$$

елементи якої отримані шляхом ортогонального перетворення зображення. Найбільш дослідженими перетвореннями, які використовуються в цих цілях, є перетворення Фур'є, Карунена-Лоева, Хаара та Адамара. Останнє найбільш просто реалізується оптичним шляхом і є енергетично повним перетворенням. Однак метод не знайшов практичного застосування в зв'язку з обставиною, яку, на перший погляд, неможливо обійти. На оптичних елементах легко реалізується операція розкладання зображення на елементи перетворення. Для цього можуть бути використані як паралельні, так і послідовні схеми оптико-електронних аналізаторів.

Проте для синтезу зображення необхідно зробити зворотне перетворення, яке вимагає виконання таких операцій, як узгоджене по фазі підсумовування добутоків множення на базисні функції значень перетворення для кожного елемента зображення. Складності технічного рішення цього завдання роблять переваги методу кодування відеоданих на основі спектрального розкладання сумнівними.

Пропонується метод ортогональних перетворень зображення, що дозволяє виключити зі зворотного перетворення операцію підсумовування компонент спектра. В рамках методу спектрального розкладання відеоданих по ортогональним базисним функціям пропонується представити зображення у вигляді виразу:

$$F(x, y) = \prod_{i=1}^n [I_i(x, y)]^{a_i}, \quad (1)$$

де  $F(x, y)$  – функція яскравості зображення в точці  $x, y$ ;

$I_i(x, y)$  – довільна функція двох аргументів, які відповідають умові:

$$\iint_S \log_c I_i(x, y) \log_c I_j(x, y) dx dy = 0, \quad i \neq j,$$

де  $a_i$  – коефіцієнт розкладання;

$n$  – порядок матриці перетворення.

Якщо прологарифмувати за основою  $c$  ліву і праву частини виразу (1), отримаємо:

$$\log_c F(x, y) = \sum_{i=1}^n a_i \log_c I_i(x, y). \quad (2)$$

Під час виконання умови ортогональності функцій  $\log_c I_i(x, y)$  коефіцієнти  $a_i$  у виразі (2) можна записати у вигляді співвідношення:

$$a_i = \frac{\iint \log_c F(x, y) \log_c I_i(x, y) dx dy}{\iint_s [\log_c I_i(x, y)]^2 dx dy}. \quad (3)$$

Позначимо у виразі (3) функції  $\log_c F(x, y)$  і  $\log_c I_i(x, y)$  через  $f(x, y)$  і  $\varphi_i(x, y)$  відповідно:

$$\begin{aligned} f(x, y) &= \log_c F(x, y), \\ \varphi_i(x, y) &= \log_c I_i(x, y). \end{aligned}$$

Після підстановки прийнятих позначень вираз (3) можна записати так:

$$a_i = \frac{\iint f(x, y) \varphi_i(x, y) dx dy}{\iint_s \varphi_i^2(x, y) dx dy}. \quad (4)$$

У зв'язку з тим, що умова ортогональності виконується тільки для знакозмінних функцій, а оптичними методами можна реалізувати тільки позитивну функцію, доцільно скористатися поданням базисних функцій у вигляді зміщених функцій:

$$\varphi_i(x, y) = \frac{\varphi_i(x, y) + A}{2} - \frac{A - \varphi_i(x, y)}{2}. \quad (5)$$

Зміщені функції  $\frac{\varphi_i(x, y) + A}{2}$  та  $\frac{A - \varphi_i(x, y)}{2}$  позначимо через  $G_i(x, y)$  і  $D_i(x, y)$  відповідно. Подання (5) перепишемо, підставивши в нього прийняті позначення:

$$\varphi_i(x, y) = G_i(x, y) + D_i(x, y). \quad (6)$$

Зміщені функції зручно задати таким чином, щоб виконувалася умова  $A = \max \varphi_i(x, y)$ .

З врахуванням подання (6) перепишемо вираз (4):

$$a_i = \frac{\iint G_i(x, y) f(x, y) dx dy - \iint_s D_i(x, y) f(x, y) dx dy}{\iint_s [G_i(x, y) + D_i(x, y)]^2 dx dy} \quad (7)$$

Відповідно  $a_i = a_{i1} - a_{i2}$ , причому:

$$a_{i1} = \frac{\iint_s G_i(x, y) f(x, y) dx dy}{\iint_s [G_i(x, y) + D_i(x, y)]^2 dx dy},$$

$$a_i = \frac{\iint_s D_i(x, y) f(x, y) dx dy}{\iint_s [G_i(x, y) + D_i(x, y)]^2 dx dy}.$$

Слід зазначити, що в разі дискретного перетворення Адамара переходу від дискретної функції  $\varphi_i(x, y)$  зі значенням «+1» до дискретної функції  $\varphi_i(x, y)$  зі значенням «-1» буде відповідати перехід «позитив-негатив» в оптичній схемі, що реалізує цю операцію. Тож обчислення виразу  $\iint_s [\varphi_i(x, y)]^2 dx dy$  (7) під час оцінки значень коефіцієнтів  $a_i$  труднощів не викликає. За необхідності ця операція може бути реалізована спеціальною маскою  $[\varphi_i(x, y)]^2$ . На кожній з масок записана одна з аналізуючих функцій  $\varphi_i(x, y)$ . Очевидно, що в цьому випадку для формування  $i$ -го коефіцієнта в аналізаторі потрібно дві маски, а для відновлення  $i$ -ї складової зображення (1) в синтезаторі з урахуванням знаків функції  $\varphi_i(x, y)$  і коефіцієнта  $a_i$  – два (негативний і позитивний).

Таким чином, суть описаного методу в оптико-цифрових системах обробки зображень полягає в наступному. В аналізаторі зображення описується набором оптично сформованих лінійних ознак (коефіцієнти розкладу за деяким двовимірним ортогональним базисом), ці ознаки оцифровуються і піддаються заданому перетворенню (обробці), потім знову надходять в оптичну систему (синтезатор), де за ними формується вихідне зображення.

**Висновки.** Наведений метод кодування і відновлення зображення, заснований на ортогональних перетвореннях дозволяє не тільки розкласти зображення в спектр двовимірних базисних функцій, а й ефективно реалізувати функцію відновлення зображення за компонентами спектру. Описаний спосіб може знайти застосування в гібридних оптико-електронних системах розпізнавання зображення, в системах управління, зокрема, при компенсації параметрів руху. Спосіб становить інтерес і для систем передачі зображення по каналу зв'язку у вигляді групи чисел, що представляють собою елементи перетворення. Слід зазначити, що, передаючи тільки низькочастотну частину перетворення, в якій передається основна частина енергії [6, 7] – коефіцієнти з малими номерами, можна домогтися ще більш високого ступеня стиснення інформації. У процесі кодування в цьому

випадку необхідно використовувати зональний або пороговий метод відбору компонентів перетворення.

1. *Красильников Н.Н.* Теория передачи и восприятия изображений и ее приложения. - М.: Радио и связь, 1986.
2. Возможности реализации адамаровского спектроанализатора / К.Ф. Берковская [и др.] // Оптическая обработка информации. - Л.: Наука, 1978.
3. *Ахмед Н., Рао К.* Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов / пер. с англ. М.: Связь, 1980.
4. *Дурняк Б.В., Тимченко О.В., Колодій Р.С., Сабат В.І.* Інтернет-технології передавання мовних сигналів. – Львів: Вид. УАД, 2010. – 256 с.
5. *Hongqing Zhu.* Image analysis by discrete orthogonal Racah moments / Hongqing Zhu, Huazhong Shu, Jun Liang, Lumin Luo, Jean-Louis Coatrieux // Signal Processing. – April, 2007. – V. 87, No. 4. – P. 687-708.
6. *Pratt W. K.* Digital Image Processing. — Wiley, 2001.
7. *Taubman D., Ordentlich E., Weinberger M., Seroussi G.* Embedded block coding in JPEG2000 // Signal Processing — Image Communication. — 2002. — Vol. 17, no. 1. — P. 49—72.

*Поступила 20.08.2018р.*

УДК 004.62

В.Р. Сподарик, НУ «Львівська політехніка»

## **ПРОГНОЗУВАННЯ ЧАСУ ПРИБУТТЯ АВТОБУСА НА ЗУПИНКУ НА ОСНОВІ GTFS ДАНИХ ТА ФІЛЬТРУ КАЛМАНА**

Розглянуто проблему визначення часу прибуття на зупинку громадського транспорту при відхиленнях від розкладу у зв'язку корками чи іншими факторами. Запропоновано рішення автоматичного прогнозування часу прибуття за допомогою фільтру Калмана. Система може використовуватись для відображення на інформаційних табло на зупинках, онлайн сервісах та мобільних додатках.

**Ключові слова:** GPS, GTFS, фільтр Калмана, прогнозування прибуття на зупинку, громадський транспорт, графік руху.

In this article analyzed the problem of determining the time of arrival at the stop of public transport in case of deviations from the schedule in connection with the crust or other factors is considered. The solution of automatic forecasting of arrival time with Kalman filter is proposed. The system can be used to display on information boards at stops, online services and mobile applications.

**Keywords:** GPS, GTFS, Kalman filter, prediction arrival to stop, public transport, timetable.