

## МЕТОД СТИСНЕННЯ ДАНИХ ДИФРАКЦІЙНИХ ТА ІНТЕРФЕРЕНЦІЙНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

*Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля,  
м. Сєвєродонецьк, Україна*

В роботі розглянуті дифракційні та інтерференційні зображення, що отримані чисельним моделюванням та експериментально при вирішенні фундаментальних та прикладних задач з фотоніки. Зображення є структурами з певним розподілом інтенсивності, сформованої початковим полем та оптичною системою. З метою підвищення швидкодії обробки отриманих зображень розроблено метод стиснення даних дифракційних та інтерференційних зображень за допомогою квантування інтенсивності з подальшим створенням баз даних на їх основі. Розроблено алгоритм проведення квантування зображення: визначено цільові значення інтенсивності, що дозволяють встановити рівні квантування, та прийоми візуалізації даних, за якими визначаються порогові значення для цих рівнів. Алгоритм також містить сегментацію зображення за величиною мінімального розміру топологічного об'єкту. Визначено околицю топологічного об'єкту з виконанням умов певної візуальної реєстрації форми та не перетинання з іншими пороговими областями. Топологічними об'єктами дифракційного поля визначено максимум, мінімум і нуль інтенсивності, а на інтерференційній картині такими топологічними об'єктами є максимум, мінімум та область розщеплення смуги. Важливими параметрами є середнє значення інтенсивності всього зображення – що висвітлює його загальну структуру та середнє значення інтенсивності локального сегменту. Отримані такі результати по стисненню даних з 8-бітного зображення в градаціях сірого кольору: для інтерференційного зображення достатньо 2-х бітів глибини кольору, а для дифракційного зображення вистачає 3-х бітів. Показано відмінності квантування для дифракційних зображень та інтерференційних картин. Розраховані коефіцієнти стиснення даних. З одного боку, застосування отриманих результатів та рекомендацій можливе в різних областях медицини, біології та фармації, в яких використовуються лазерні технології, а з іншого боку в розробці окремої ІТ ідентифікації топологічних об'єктів в світловому полі, обробці оптичних зображень та підтримки прийняття рішень в задачах оптики.

**Ключові слова:** квантування інтенсивності; алгоритм стиснення даних; дифракційне зображення; інтерференційна картина.

### 1. Постановка та аналіз проблеми

В епоху інформаційних технологій основним засобом зберігання і обробки даних є база даних (БД), яка дозволяє сортувати дані та здійснювати вибірку необхідної інформації [1]. В більшості випадків БД створюється для певної прикладної задачі. В фотоніці виконуються фундаментальні та прикладні дослідження оптичного випромінювання, а також створення на їх основі пристроїв різного призначення [2]. Важливим явищем, що спостерігається при проведенні будь-яких оптичних досліджень є дифракція. Лазерний пучок дифрагує при розповсюдженні, як у вільному просторі, так і завдяки проходженню світла крізь апертури оптичних елементів або спеціально розроблені амплітудні та фазові транспаранти [3]. Отримана дифракційна картина містить інформацію, щодо інтенсивності поля, а форму хвильового фронту можна відновити завдяки використанню додаткової світлової хвилі і обробці інтерференційної картини [4].

Зображення є структурами з певним розподілом інтенсивності, сформованої початковим полем та оптичною системою. Отримуються розподіли аналітично, завдяки чисельному моделюванню та експериментально. Важливими питаннями при створенні БД таких зображень є стиснення даних без втрати важливої інформації. В процесі декомпозиції таких зображень важливо визначити загальну структуру поля та такі основні елементи на які можна розкласти інтенсивність поля, щоб з одного боку відтворити з високою точністю дифракційну чи інтерференційну картину, а з іншого боку встановити оптимальний мінімальний набір таких компонентів [5]. Наразі, існує потреба реалізації стиснення даних методом квантування для дифракційних та інтерференційних картин з використанням системного аналізу.

## 2. Алгоритм квантування зображень

Інформація щодо характеристик початкових полів та оптичних елементів міститься в множині  $A$ , результуюче поле та його характеристики в множині  $B$ . Тобто, множина  $B$  є відображенням множини  $A$  і містить елементи, які мають інформацію про структуру синтезованого поля  $f: A \rightarrow B$ . Обидві множини можна розглядати, як сукупність зображень, які підлягають стисненню даних. Стиснення даних можна здійснити завдяки збільшенню розміру пікселя на зображенні з визначенням його величини, як середнього, а також з використанням різних шляхів квантування сигналу з подальшим стисненням завдяки алгоритму Хаффмана [6]. Для того, щоб визначити метод квантування сигналу, спочатку треба визначити, які значення інтенсивності є цільовими.

В попередній роботі [5] проводилась сегментація дифракційної картини з відокремленням областей, що містять один із топологічних об'єктів, а саме мінімум, максимум чи нуль інтенсивності. При такому підході втрачається інформація щодо форми об'єктів і коло буде відображено прямокутником, тому існує потреба відображати форму топологічних об'єктів та загальну структуру всього поля. Наступний недолік запропонованого раніше методу – це відсутність значення інтенсивності для фонові частини зображення, яка не містить топологічних об'єктів.

Отже, попередньо запропонований метод має бути удосконалений та уточнений. Пропонується такий **алгоритм стиснення зображення**:

- 1) Визначаємо мінімальний розмір топологічного об'єкту  $(a,b)$  по осі  $X$  та осі  $Y$ . Проводимо сегментацію всього зображення за цим розміром. Кожен сегмент має містити 20 точок, що є достатнім для відтворення форми об'єктів.
- 2) Визначаємо середнє арифметичне інтенсивності для всієї картини. Наносимо її на карту стисненого зображення.
- 3) Визначаємо значення інтенсивності топологічних об'єктів на картині, як то максимумів, мінімумів та нулів інтенсивності.
- 4) Визначаємо порогову область – околицю топологічного об'єкту з виконанням таких умов: певна візуальна реєстрація форми та не перетинання з іншими пороговими областями. Наносимо на карту форму околиць топологічних об'єктів.
- 5) Області між топологічними об'єктами та середньою інтенсивністю зображення присвоюємо значення локального середнього значення інтенсивності. Заливаємо відповідну область кольором визначеної середньої інтенсивності.

### 3. Стиснення даних дифракційного зображення

В якості приклада для застосування методики стиснення даних розглянемо більш детально розраховане дифракційне 8-бітне зображення в градаціях сірого кольору розміром  $256 \times 256$  пікселів з діапазоном значень інтенсивності  $[0,1]$  (рис.1а) отримане для задачі дифракції гаусова пучка на гелікоїді у вигляді чотирьох сходинок. Це зображення можна представити, як сукупність світлих та темних плям різної геометричної форми та кольору за певними правилами. Для цього застосуємо вищевикладений алгоритм.

- 1) Розділимо зображення на  $3 \times 3$  сегментів. Якщо кожен сегмент містить 20 пікселів, то його розмір стане  $60 \times 60$  пікселів.
- 2) Середнє арифметичне інтенсивності для всієї картини становить  $I_0 = 0.75$ . Наносимо її на карту стисненого зображення пунктирною лінією.
- 3) Визначаємо значення інтенсивності топологічних об'єктів на картині: максимумів  $I_1 = 1$ , та нуля  $I_2 = 0$ .
- 4) Околиця максимуму складає  $0.13 \div 0.19$  довжини картини та позначена білою плямою; околиця нуля становить  $0.04$  довжини картини, позначена чорною плямою. Розміри околиці різні, тому що форма нуля є простою геометричною фігурою – круг, а форма максимуму більш складна.
- 5) 5.1 Область між середньою інтенсивністю зображення та нулем інтенсивності буде мати середнє значення  $I_3 = (I_0 + I_2) / 2 = 0.875$ .  
5.2 Область між середніми лініями зображення в якій розташовані максимуми буде матимете середнє значення інтенсивності для всього зображення  $I_4 = 0.75$ .  
5.3 Область, що між краєм зображення та середню лінію зображення матиме значення локального середнього значення інтенсивності на куті та середнім всього зображення  $I_5 = 0.515$ .

За наведеним алгоритмом проведено квантування інтенсивності (рис. 1а) у динамічному діапазоні  $[0,1]$  з визначенням дискретних рівнів  $\{I_1, \dots, I_L\}$  рис. 1б) та порогів квантування  $\{d_1, \dots, d_L\}$ . Пунктиром відзначено середню інтенсивність. Крайові області  $S_1, S_2, S_3, S_4$  область мають значення інтенсивності  $I_5$ ; область між середніми лініями зображення  $S_5$  має середнє значення для всього зображення  $I_4$ ; області білих плям максимумів  $S_6, S_7, S_8, S_9$  мають значення  $I_1$ ; область  $S_{10}$  між нулем інтенсивності та середньою лінією всього зображення (пунктирна) має інтенсивність  $I_3$ ; чорна область в центрі рисунка  $S_{11}$  має нульове значення інтенсивності  $I_2$ . В розглянутому випадку число рівнів  $L = 5$ . Тобто, достатньо глибини кольору в 3 біта замість 8.

Оцінимо стиснений розмір даних  $V_c$  на рис. 1б у порівнянні з розміром початкового зображення  $V_o$  на фіг. 1а за допомогою формули об'єму:

$$V = N_x \cdot N_y \cdot N_b, \quad (1)$$

де  $V$  - об'єм даних

$N_x$  – кількість пікселів в ширину зображення

$N_y$  – кількість пікселів в висоту зображення

$N_b$  – глибина кольору в бітах на піксель.

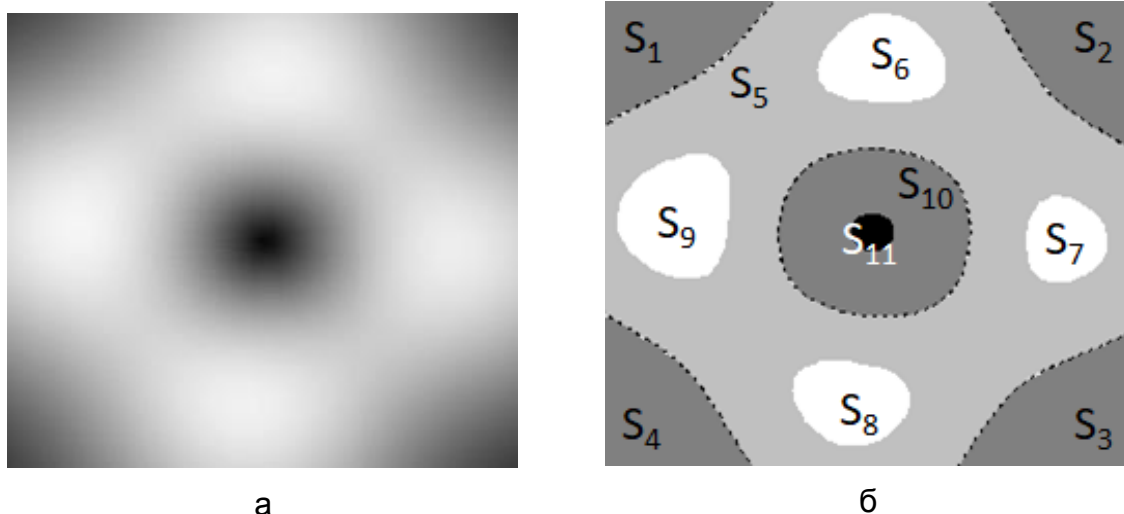


Рис. 1. Чисельне розраховане дифракційне зображення в градаціях сірого (а) зі шкалою від 0 (чорний колір) до 1 (білий колір) та його стиснений вигляд (б) з нанесенням основних топологічних об'єктів та структурної лінії, позначеної пунктиром

Підстановкою значень у формулу (1) знаходимо коефіцієнт стиснення зображення, як  $V_o/V_c = 256 \cdot 256 \cdot 8 / 60 \cdot 60 \cdot 3 = 48.5$  раз.

#### 4. Стиснення даних інтерференційних картин

Розглянемо задачу інтерференції сингулярних пуків при відбитті від скляної пластинки. Інтерференційна картина (рис.2а) це 8-бітне зображення в градаціях сірого кольору розміром  $734 \times 550$  пікселів отримана експериментально; діапазон інтенсивності віднормований таким чином, щоб максимум дорівнював 1. Зображення має смуги, що містять зони розгалуження, які вказують на наявність в інтерферуючих хвилях нулів інтенсивності. Представимо зображення, як сукупність світлих смуг – максимумів, темних смуг – мінімумів та зонами розщеплення смуг.

1. Розділимо зображення на  $16 \times 3$  сегментів. Якщо кожен сегмент містить 20 пікселів, то його розмір стане  $320 \times 60$  пікселів.

2. Середнє арифметичне інтенсивності для всієї картини становить  $I_1 = 0.575$ ; нанесена на карту стисненого зображення пунктирною лінією.

3. Визначаємо значення інтенсивності топологічних об'єктів на картині: максимумів  $I_2 = 1$ , та мінімумів  $I_3 = 0.15$ .

4. Околиця максимуму та мінімуму заповнює всю область до середнього значення.

Застосування алгоритму квантування інтенсивності у динамічному діапазоні  $[0,15-1]$  дозволяє визначити дискретні рівні  $\{I_1, \dots, I_L\}$  та пороги квантування  $\{d_1, \dots, d_L\}$ . Пунктиром відзначено середню інтенсивність. В розглянутому стисненому зображенні інтерференційної картини (рис. 2б) число рівнів  $L=3$ , а саме мінімуми - смуги сірого кольору з інтенсивністю  $I_3$ ,

максимуми - смуги білого кольору з інтенсивністю  $I_2$ , та середня інтенсивність для зображення  $I_1$ , що відбиває структуру інтерференційної картини.

Як видно, для запису інтерференційної картини достатньо 3-х значень або глибини кольору у 2 біти замість 8.

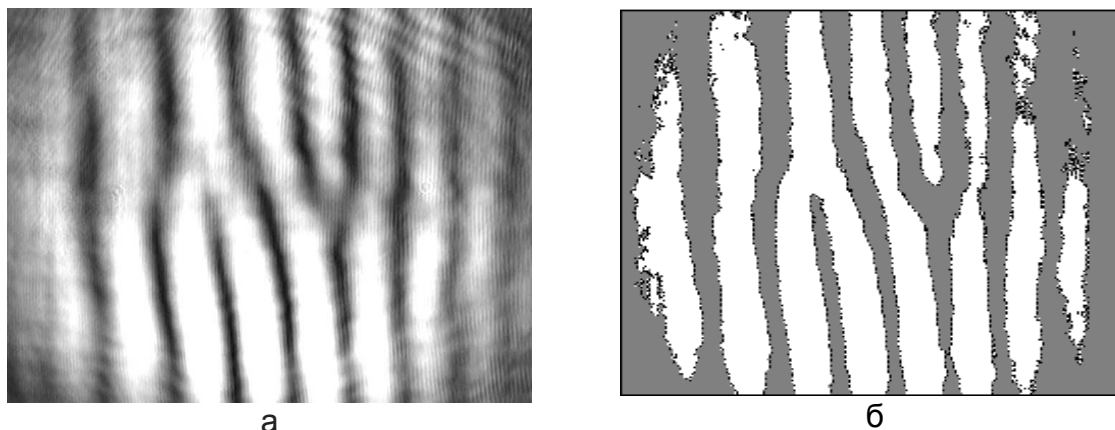


Рис. 2. Експериментальне зображення інтерференційної картини в градаціях сірого (а) зі шкалою від 0 (чорний колір) до 1 (білий колір). Интерферограма в спрощеному варіанті (б) містить області максимумів, мінімумів та зони їх розщеплення. Зліва на зображеннях утворюється розщеплення білої смуги, а справа темної.

Оцінимо коефіцієнт стиснення зображення за допомогою формули (1), як  $V_o/V_c = 734 \cdot 550 \cdot 8 / 320 \cdot 60 \cdot 2 = 84,1$  разів.

### Висновки

В роботі розроблено алгоритм стиснення даних, який застосований до даних дифракційних та інтерференційних зображень. За допомогою квантування інтенсивності з визначенням значень порогів і рівнів квантування методом системного аналізу досягнуті високі показники стиснення зображень.

Для дифракційної картини рівні квантування мають відображати такі цільові значення інтенсивності: як максимум, мінімум, нуль інтенсивності, середнє значення зображення в цілому та окремих частин. Для інтерференційного зображення топологічні об'єкти такі: мінімум, максимум, середнє значення зображення в цілому та області розщеплення інтерференційних смуг. Розглянуто відмінності квантування для дифракційних зображень та інтерференційних картин з метою подальшого створення на їх основі баз даних. Відзначимо, що для стиснутого інтерференційного зображення достатньо 2-х бітів глибини кольору, а для дифракційного – 3-х бітів для розглянутих випадків картин. Застосування отриманих результатів та рекомендацій можливе в різних областях медицини і техніки, в яких використовується лазерне випромінювання.

### Список літератури

1. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных . — 8-е изд. — М.: «Вильямс». - 2006. — ISBN 0-321-19784-4. — 1328 с.
2. Matveev A.A., Optics, Mir publishers, Moscow. – 1988. - 445 p.

3. Khoroshun A, Ryazantsev A, Ryazantsev O, Sato S, Kozawa Y, Masajada J, Popiolek-Masajada A, Szatkowski M, Chernykh A and Bekshaev A, Formation of an optical field with regular singular-skeleton structure by the double-phase-ramp converter /, J. Opt. – 2020. - Vol. 22. - N 2. <https://doi.org/10.1088/2040-8986/ab61c9>

4. Khoroshun G.M., Chernykh O., Tatarchenko H.O., S. Sato,Y. Kozawa,, A.Popiolek-Masajada M. Szatkowski, W. Lamperska Chain of optical vortices synthesized by a Gaussian beam and the double-phase-ramp converter. OSA Continuum, Vol. 2, . - 2019. - Issue 2. - pp. 320-331 <https://doi.org/10.1364/OSAC.2.000320>

5. Хорошун Г. М., Метод опису явища дифракції по сукупності топологічних об'єктів та алгоритм розрізнення мінімуму від нуля інтенсивності, Харків, Сучасні Інформаційні Системи, прийнято до друку, вересень. – 2020

6. Томас Х. Кормен, Чарльз И. Лейзерсон, Рональд Л. Ривест, Клиффорд Штайн. Алгоритмы: построение и анализ— 2-е изд. — М.: [Вильямс](#), 2006. — 1296 с. — [ISBN 0-07-013151-1](#).

### References

1. Dejt K. Dzh. Vvedenie v sistemy baz dannyh . — 8-e izd. — М.: «Vil'yams». - 2006. — ISBN 0-321-19784-4. — 1328 s.

2. Matveev A.A., Optics, Mir publishers, Moscow. – 1988. - 445 p.

3. Khoroshun A, Ryazantsev A, Ryazantsev O, Sato S, Kozawa Y, Masajada J, Popiolek-Masajada A, Szatkowski M, Chernykh A and Bekshaev A, Formation of an optical field with regular singular-skeleton structure by the double-phase-ramp converter /, J. Opt. – 2020. - Vol. 22. - N 2. <https://doi.org/10.1088/2040-8986/ab61c9>

4. Khoroshun G.M., Chernykh O., Tatarchenko H.O., S. Sato,Y. Kozawa,, A.Popiolek-Masajada M. Szatkowski, W. Lamperska Chain of optical vortices synthesized by a Gaussian beam and the double-phase-ramp converter. OSA Continuum, Vol. 2, . - 2019. - Issue 2. - pp. 320-331 <https://doi.org/10.1364/OSAC.2.000320>

5. Khoroshun H. M., Metod opysu yavlyshcha dyfraktsiyi po skupnosti topologichnykh ob'yektiv ta alhorytm rozriznyannya minimumu vid nulya intensyvnosti, Kharkiv, Suchasni Informatsiyini Systemy, pryynyato do druku, veresen'. – 2020

6. Tomas H. Kormen, CHarl'z I. Lejzerson, Ronal'd L. Rivest, Klifford Shtajn. Algoritmy: postroenie i analiz— 2-e izd. — М.: Vil'yams, 2006. — 1296 s. — ISBN 0-07-013151-1.

Поступила в редакцию 15.09.2020. Рассмотрена на редколлегии 16.09.2020.

## THE METHOD OF DIFFRACTION AND INTERFERENCE IMAGES COMPRESSION

In the paper the diffraction and interference images received by numerical simulation and experimentally in solving fundamental and applied problems of photonics. Images are structures with a special intensity distribution formed by the initial field and the optical system. To increase the speed of processing of the image data compression method with further implementation in databases is developed.

The method of diffraction and interference images compression is based on the intensity quantization. An algorithm for image quantization has been developed: target intensity values have been determined, which allow setting quantization levels, and data visualization techniques, which determine the threshold values for these levels. The algorithm also contains image segmentation by the size of the minimum size of the topological object. The vicinity of topological object is defined under the conditions of a visual registration form and do not crossing with other regions. The topological objects of the diffraction field determine as the maximum, minimum and zero intensity, and in the interference pattern such topological objects are the maximum, minimum and the region of the band splitting. Important parameters are the average value of the intensity of the whole image - which highlights its overall structure and the average value of the intensity of the local segment. The following results were obtained by compressing data from an 8-bit image in grayscale to 2 bits of color depth are enough for an interference image, and to 3 bits, which are enough for a diffraction image. The quantization differences for diffraction images and interference patterns are shown. Data compression ratios are calculated. On the one hand, the application of the obtained results and recommendations is possible in various fields of medicine, biology and pharmacy, which use laser technology, and on the other hand in the development of separate IT identification of topological objects in the light field, optical image processing and decision support in optical problems.

**Key words:** intensity quantization; data compression algorithm; diffraction image; interference pattern.

#### **Сведения об авторе**

**Хорошун Ганна Миколаївна** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри будівництва, урбаністики та просторового планування, докторант по спеціальності 05.13.06 Інформаційні технології.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Україна. e-mail: [an\\_khor@i.ua](mailto:an_khor@i.ua); ORCID ID: [0000-0002-1272-1222](https://orcid.org/0000-0002-1272-1222).

#### **About the Authors**

**Khoroshun Ganna** – Dr. of Philosophy in Optics and Laser Physics, Associated Professor of Department of Construction, Urban and Spatial Planning, doctoral student on the speciality 05.13.06 - Information technologies. Volodymyr Dahl East Ukrainian National University Tsentralniy av. 59-A, Severodonetsk, Ukraine, 93404 E-mail: [an\\_khor@i.ua](mailto:an_khor@i.ua); ORCID ID: [0000-0002-1272-1222](https://orcid.org/0000-0002-1272-1222)