

DOI 10.26886/2311-4517.1(100)2025.2

УДК 621.391:519.728

КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ОБРОБКИ І СТИСКУ БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Юрій Ломоносов, кандидат технічних наук

<https://orcid.org/0000-0002-6115-6194>

e-mail: y.lomonosov@khai.edu

Ганна Страшненко, кандидат технічних наук

<https://orcid.org/0000-0001-5962-0413>

e-mail: h.strashnenko@khai.edu

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут", Україна, Харків

Розробка та практичне використання нових методів обробки і стиснення медичних даних сприятиме виконанню важливої державної програми щодо створення системи національних електронних інформаційних ресурсів, що дозволить вирішити стратегічне завдання входження України до світової інформаційної спільноти.

Однак, незважаючи на суттєві досягнення в цій галузі, стає очевидним той факт, що розроблені в рамках класичної теорії методи наближаються до властивої їм межі ефективності кодування зображень і залишається все менше можливостей збільшення ступеня стиснення інформації, зростання якої підпорядковується експоненційному закону.

З іншого боку найефективніший на сьогоднішній момент кодер – зоровий аналізатор людини – знижує обсяг оброблюваної інформації щонайменше, ніж сім порядків, що дає надію створення принципово нових підходів до кодування зображень.

Тому дуже актуальною є розв'язання проблеми розробки та дослідження нових інформаційних технологій скорочення статистичної, структурної, психофізичної та змістовної надмірності повідомлень на основі об'єднання та комбінування різних методів стиснення даних та методів розпізнавання образів, що дозволить розробити та застосувати ці методи з єдиних системних позицій.

Ключові слова: Обробка зображень, класифікація методів, ефективність кодування.

PhD, Associate Professor, Lomonosov Yu. V., PhD, Associate Professor, Strashnenko H. M. Classification of processing and compression methods of biomedical images / National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute». Ukraine, Kharkiv

The development and practical use of new methods of compression of medical data will contribute to the implementation of an important state program on the creation of a system of national electronic information resources, which will allow solving the strategic task of Ukraine's entry into the world information community.

However, despite the significant achievements in this field, it becomes obvious that the methods developed within the framework of the classical theory are approaching their inherent limit of image coding efficiency, and there are fewer opportunities to increase the degree of information compression, the growth of which is subject to an exponential law.

On the other hand, today's most effective coder - the human visual analyzer - reduces the volume of processed information by at least seven orders of magnitude, which gives hope for the creation of fundamentally new approaches to image coding.

Therefore, it is very urgent to solve the problem of developing and researching new information technologies, reducing statistical, structural,

psychophysical, and meaningful redundancy of messages based on combining and combining various methods of data compression and pattern recognition methods, which will allow the development and application of these methods from a single system positions

Key words: Image processing, classification methods, coding efficiency.

Вступ. Протягом багатьох років і до сьогодні головний напрямок у дослідженнях проблеми стиснення даних та зображень складають в основному методи обробки сигналів та методи теорії інформації, які використовують декорелюючі властивості різних лінійних перетворень та можливості квантування та ентропійного кодування коефіцієнтів цих перетворень.

Розвиток цих методів призвів до створення на практиці так званих JPEG-форматів, які використовують субоптимальні косинусні перетворення Фур'є та методи вейвлет-перетворень, що дозволяють у 30 і більше разів скоротити обсяг графічних даних, зберігши при цьому гарну візуальну якість [1, с. 27-36; 2, с. 27-39; 3, с. 234-256].

Окремий клас методів, корисних для обробки спектрозональних зображень, становить основу кластерного кодування (кодування ознак), при якому ділянки зображень зі схожими ознаками групуються в області на основі попереднього визначення множини кластерних центроїдів. В останні роки знайшли відображення теоретичні та практичні результати, що ґрунтуються на методах другого покоління, що використовують ефективну модель “контур + текстура”, класифікацію методами кластеризації за допомогою гаусових сумішей, а також алгоритми поділу фону та переднього плану для стиснення зображень [1, с. 27-36]. Однак метод мультимасштабної кластеризації не завжди дає очікувані результати при визначенні, що

є передній план (об'єкт), а що є фон, а при кодуванні напівтонових зображень метод DjVu взагалі перестає працювати і зводиться до традиційного алгоритму вейвлет-компресії, як у JP2.

Постановка задачі. Проведення детального та системного аналізу методів стиснення біомедичних даних та побудова класифікації цих методів за критерієм ефективності та якості стиснення з метою обґрунтування та розвитку концепції агрегативного кодування інформації.

Данні дослідження. Дані фактично є тим засобом, за допомогою яких інформація передається або зберігається, і для подання однієї й тієї ж кількості інформації може бути використана різна кількість даних. Якщо дані несуть несуттєву чи повторювану інформацію, то кажуть, що ці дані надмірні. Надмірність даних є центральним поняттям цифрового стиснення даних. Всі методи стиснення даних за класифікаційною ознакою - виду надмірності, що усувається - можуть бути розділені попередньо на класи методів. При цьому методи зменшення розмірності повинні розглядатися в тісному зв'язку із загальними завданнями дослідження об'єкта: класифікації, ідентифікації, виділення та ін., які є, предметом теорії розпізнавання образів, прийняття рішень, виділення та виявлення об'єктів тощо. Класифікація методів стиснення даних здійснюватиметься на прикладі обробки зображень, які використовуються практично у всіх технологічних та культурних галузях людської діяльності та найбільшою мірою відображають агрегативний підхід до кодування на основі об'єднання незалежних методів стиснення даних та методів розпізнавання та аналізу зображень.

Інтерес до методів цифрової обробки зображень визначають дві основні сфери її застосування. Це підвищення якості зображення для покращення його візуального сприйняття людиною та обробка

зображень для їх ефективного зберігання, передачі або подання в автономних системах машинного зору.

У сучасних інформаційних технологіях важко відрізнити, де закінчується обробка зображень та починаються інші суміжні області, наприклад, аналіз зображень та машинний зір. Тому можна говорити, що природним етапом переходу від обробки зображень до їхнього аналізу є розпізнавання та кодування окремих інформативних областей або об'єктів на зображенні. Таким чином термін "інформаційні технології агрегативного кодування та стиснення даних", включає процеси із зображеннями на вході та на виході, а також процеси вилучення ознак із зображень аж до (або включаючи) виділення та розпізнавання індивідуальних об'єктів, рис . 1.1.

Як правило, реєстрація зображень задається у вигляді матриці цифрових відліків і може включати деяку передобробку, наприклад масштабування.

Покращення зображень входить до найпростіших і найпоширеніших областей цифрової обробки зображень. Ця обробка використовує ідею погано помітних деталей або підкреслення характеристик, що цікавлять, на вихідному зображенні. Відомим прикладом покращення є посилення контрасту зображення, тому в результаті воно виглядає суб'єктивно краще.

Вейвлети утворюють фундамент теорії для представлення зображень з кількома ступенями роздільної здатності одночасно. Цей апарат використовується стосовно стиснення даних зображень і звуку, а також для побудови пірамідального вейвлет-перетворення, при якому зображення поетапно представляється контуром і тлом відповідного масштабу.

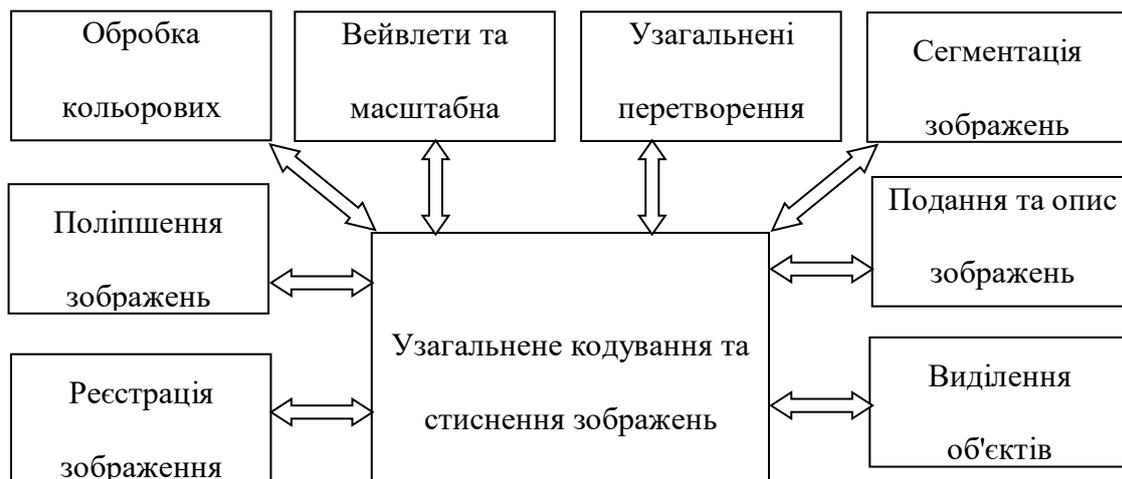


Рис. 1.1. Інформаційні технології агрегативного кодування та стиснення зображень.

Узагальнені перетворення Фур'є є класичними методами обробки та стиснення даних різної фізичної природи, використання яких спирається в основному на перетворення Фур'є, дискретне косинусне та узагальнене перетворення Хаара.

Сегментація поділяє зображення на складові або об'єкти. Потім слідує етап представлення та опису сегментованих даних у термінах кордонів або областей. В цілому автоматична сегментація належить до найважчих завдань цифрової обробки зображень.

Способи стиснення зображень на основі такого підходу (контурно-текстурної надмірності) полягають у його скануванні і виявленні однорідних областей, що повторюються. Таким чином, структурний опис зображень є загальною частиною вирішення проблем розпізнавання, класифікації та стиснення зображень. Існує й інший вид надмірності структурного типу, яка визначається семантичною природою зображення на підставі мети обробки та аналізу зображень – змістовна надмірність.

У завданнях стиснення зображень усунення змістовної надмірності полягає у виділенні об'єктів та фону та кодуванні їх з різною візуальною якістю. Складність такого підходу обумовлена недостатньою формалізацією такого поняття як “об'єкт” і відсутністю можливості мати обов'язковий список об'єктів, що обробляються, кожен з яких заданий детерміновано, наприклад, рівнянням кордонів та розподілом відліків сигналу всередині кордонів, що є характерним для завдань розпізнавання та класифікації.

Змістовна (семантична) надмірність тісно пов'язана з конкретним розв'язуваним завданням. Для того ж самого зображення вона може бути різною залежно від цілей обробки або одержувача інформації, тому формальний її вимір важкий.

Один з можливих підходів до передачі даних з усуненням змістовної надмірності може бути така організація послідовності даних, що передаються, при якій у одержувача інформації забезпечується найбільш швидке прийняття рішення. Коли рішення прийнято, передачу (або вибірку даних із пам'яті) можна припинити, що еквівалентно скороченню обсягу передачі або стиснення даних. Отже, першою повинна вибиратися, передаватися, аналізуватися та якісно кодуватися семантично найбільш насичена частина даних. Такий підхід до кодування на основі скорочення змістовної надмірності застосовується у всіх новітніх інформаційних технологіях стиснення зображень.

Відповідно до цієї класифікації кодер джерела відповідає за скорочення або усунення кодової, міжелементної, візуальної та структурної надмірності. Конкретні додатки та пов'язані з ними критерії вірності визначають той чи інший спосіб кодування або відразу декілька, що є найкращими в даному випадку.

Після поділу методів стиснення за видом надмірності, що усувається, рис. 1.1., другий етап класифікації може полягати в поділі на методи зі збереженням (перша група) і з втратою інформації (друга група). Методи зі збереженням інформації здатні точно відновлювати вихідну картину зображення, тоді як методи з втратою інформації вносять деякі спотворення, які мають бути по можливості непомітні.

Одним із таких додатків є архівація медичних чи ділових документів, стиск із втратами яких зазвичай заборонено законом [4, с. 230-245]. Цей клас алгоритмів широко використовується також для стиснення різної комп'ютерної інформації. Найбільш простим підходом до стиснення зображень без втрат є скорочення лише кодової надмірності. У цьому випадку стиснення інформації досягається за рахунок того, що для представлення найбільш ймовірних значень яскравостей вибирають короткі кодові слова, а для найменш ймовірних – довгі.

Якщо відомий розподіл ймовірностей появи відліків яскравості, то для побудови ефективних алгоритмів скорочення кодової надмірності доцільно скористатися методикою побудови кодів Хаффмена чи Шеннона-Фано.

Розглянувши основні методи скорочення кодової надмірності, перейдемо до розгляду методів стиснення без втрат, які спрямовані на скорочення міжелементної надмірності зображень. Метод, званий кодуванням довжин серій (RLE), – один із найстаріших і найпростіших алгоритмів архівації графіки. Зображення в ньому витягується в ланцюжок байтів рядками растру. Саме стиск RLE відбувається за рахунок того, що у вихідному зображенні зустрічаються ланцюжки однакових байтів.

Наступний метод стиснення без втрат також спрямований на скорочення міжелементної надмірності зображення за допомогою

відображення послідовності символів джерела різної довжини на рівномірний код, не вимагаючи при цьому апріорного знання ймовірностей появи символів, що кодуються. Цей метод називається методом кодування Лемпеля-Зіва-Велча (LZW). Алгоритм LZW дозволяє працювати з будь-яким типом даних і відноситься до алгоритмів підстановок або алгоритмів, що базуються на словниках. Цей алгоритм даних вхідного потоку будує словник даних (також званий кодовою книгою чи таблицею рядків).

У загальному випадку словникові методи стиснення дають кращі результати, ніж статистичні (ентропійні) методи компресії. Тому вони активно використовуються у всіляких компресійних додатках (форматах) або є одним із етапів схем стиснення із втратами.

Іншим підходом до скорочення міжелементної надмірності є кодування розрядних (бітових) площин, тобто бінарних зображень, утворених однаковими розрядами кодових слів. Виявилось, що в площинах старших розрядів значення елементів змінюються рідко, тоді як значення елементів молодших площин флюктуують майже безладно сигналу, що передається. Однак експерименти з моделювання подібних систем показали, що, як правило, навіть з використанням коду Грея, що зменшує ефект перенесення бітів при малих змінах яскравостей, не досягається навіть дворазове скорочення обсягу цифрових даних напівтонового зображення.

На відміну від викладеного підходу до кодування даних без втрат, кодування з втратами ґрунтується на виборі балансу між точністю відновлення зображення та ступенем його стиснення. Якщо допустити появу спотворень у кінцевому результаті кодування за рахунок усунення міжелементної та психовізуальної надмірності, то можливе значне збільшення коефіцієнта стиснення.

Існує два основних підходи до усунення міжелементної (кореляційної) та психовізуальної надмірності: з використанням різницевих уявлень (кодування з передбаченням) та на основі перетворень.

Кодування з передбаченням засноване на усуненні міжелементної надмірності близько розташованих пікселів шляхом виділення та кодування тільки нової інформації, що міститься в кожному пікселі. Нова інформація, що міститься в пікселі, визначається як квантована різниця між істинним та передбаченим значеннями пікселів.

Кодування на основі перетворень радикально відрізняється від класичних методів кодування. Зображення зазнає унітарного математичного перетворення, а отримані в результаті коефіцієнти перетворення квантуються і кодуються для передачі або зберігання пам'яті. Були зроблені дослідження з кодування зображень із застосуванням перетворень Адамара, Корунена-Лоева, Хаара.

Як показав порівняльний аналіз у застосуванні до зображень, для яких підходить марківська статистична модель, косинусне перетворення, що має швидкий обчислювальний алгоритм, наближається за ефективністю до перетворення Карунена-Лоева.

При вейвлет-стисканні зображень коефіцієнти з малими значеннями відповідно до загальної ідеї трансформаційного кодування можуть бути грубо квантовані з мінімальними спотвореннями зображення [5, с. 45-57]. Найбільш широко використовуваними системами функцій розкладання для стиснення на основі вейвлетів перетворення є системи вейвлетів Хаара, Добеші, симетричні вейвлети, а також біортогональні вейвлети Коена-Добеші-Фово.

Висновки. Побудовано перспективну класифікацію методів стиснення даних за критерієм ефективності та якості стиснення, що дозволило виявити проблемні питання цієї предметної галузі; обґрунтовано та отримали подальший розвиток інформаційні технології кодування зображень на основі агрегативно-комбінаторного підходу. Цей підхід відрізняється тим, що він поєднав різні методи скорочення надмірності та методи розпізнавання образів, що дозволило застосувати ці методи з єдиних системних позицій та вирішити завдання економного опису повідомлень.

Література:

1. Ivanov, V.G., Lyubarskiy, M.G., Lomonosov, J.V. (2007). Cutting of content redundancy of images on the basis of classification of objects and background. *Journal of Automation and Information Sciences. Begel House Inc.*, 39 (5), 27-36.
2. Ivanov, V.G., Lyubarskiy, M.G., Lomonosov, J.V. (2009). Compression of Images on the Basis of Automatic and Indistinct Classification of Fragments. *Journal of Automation and Information Sciences. Begel House Inc.*, 41 (1), 27-39.
3. Гонсалес, Р., Вудс, Р. (2012). *Цифровая обработка изображений*. Техносфера, 1104.
4. Grady, L., Funka-Lea, G. (2004). Multi-label image segmentation for medical applications based on graph-theoretic electrical potentials. *In ECCV Workshops CVAMIA and MMBIA*, 230-245.
5. Ivanov, V.G., Lyubarskiy, M.G., Lomonosov, J.V. (2010). Compression of Text Image Based on Characters and Their Classification. *Journal of Automation and Information Sciences. Begel House Inc.*, 42 (11), 45-57.

References:

1. Ivanov, V.G., Lyubarskiy, M.G., Lomonosov, J.V. (2007). Cutting of content redundancy of images on the basis of classification of objects and background. *Journal of Automation and Information Sciences. Begel House Inc.*, 39 (5), 27-36. [in English].
2. Ivanov, V.G., Lyubarskiy, M.G., Lomonosov, J.V. (2009). Compression of Images on the Basis of Automatic and Indistinct Classification of Fragments. *Journal of Automation and Information Sciences. Begel House Inc.*, 41 (1), 27-39. [in English].
3. Gonsales, R., Vuds, R. (2012). *Cifrovaja obrabotka izobrazhenij. Tehnosfera*, 1104. [in Russian].
4. Grady, L., Funka-Lea, G. (2004). Multi-label image segmentation for medical applications based on graph-theoretic electrical potentials. *In ECCV Workshops CVAMIA and MMBIA*, 230-245. [in English].
5. Ivanov, V.G., Lyubarskiy, M.G., Lomonosov, J.V. (2010). Compression of Text Image Based on Characters and Their Classification. *Journal of Automation and Information Sciences. Begel House Inc.*, 42 (11), 45-57. [in English].