

УДК 004.921

Р. Н. Кветний, А. В. Олесенко

## БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ СЕГМЕНТІВ ЗОБРАЖЕННЯ

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

Анотація. Розроблено узагальнену математичну модель класифікації сегментів зображення у відповідності до методів їх компресії. Проаналізовано існуючі популярні методи компресії й обрано ті, які покривають більшу частину типів зображень. Розроблено критерії віднесення сегментів до того чи іншого методу стиснення на основі аналізу характерних особливостей цих методів з метою підвищення коефіцієнту стиснення вихідного зображення. Надано можливість встановлення порогового значення для оцінки відповідності тому чи іншому критерію. Запропоновано алгоритм стиснення зображень з врахуванням багатокритеріальної класифікації їх сегментів. Впроваджено паралельні обчислення з метою підвищення швидкодії роботи методу.

**Ключові слова:** математична модель, зображення, класифікація зображень, стиснення зображень.

Аннотация. Разработано обобщенную математическую модель классификации сегментов изображения в соответствии с методами их компрессии. Проанализировано существующие популярные методы компрессии и сделан выбор в пользу тех, которые покрывают большую часть типов изображений. Разработано критерии сопоставления сегментов тому или другому методу сжатия на основе анализа характерных особенностей этих методов с целью повышения коэффициента сжатия исходного изображения. Предоставлено возможность установки порогового значения для оценки соответствия тому или другому критерию. Предложено алгоритм сжатия изображений с учетом многокритериальной классификации их сегментов. Внедрено параллельные вычисления с целью повышения быстродействия работы метода.

**Ключевые слова:** математическая модель, изображение, классификация изображений, сжатие изображений.

Abstract. The generalized mathematical model of image segment classification according to the methods of compression has been developed. The existing popular methods of compression have been analyzed and those methods that cover most of the types of images have been selected. The criteria of segments referring to the compression methods by analyzing the characteristics of these methods in order to increase the compression ratio of the original image have been developed. The possibility of establishing a threshold for assessing compliance with a given criterion has been provided. The algorithm of image compression considering the multicriterion classification of their segments has been proposed. It was necessary to use parallel computations in order to improve the performance of the method.

**Key words:** mathematical model, image, image classification, image compression.

### Вступ

У наш час зображення є невід'ємною складовою мультимедійної інформації, яка в свою чергу накопичується і зберігається на цифрових носіях і передається за допомогою каналів зв'язку. Напевно неможливо уявити собі навіть дня без роботи зі зображеннями. Вони є одним з основних носіїв інформації фактично у будь-якій сфері людської діяльності. Зокрема такі галузі, як медична, освітня, аерокосмічна, наукова й телевізійна взагалі не можуть функціонувати без мультимедійної й наочної інформації. Також ми не можемо обійтись без графічної інформації навіть у нашому повсякденному житті, дізнаючись новини, роблячи фотознімки чи сидючи в соцмережах.

Таким чином, зображення відіграють величезну роль в житті як спеціаліста певної галузі, так і пересічної людини.

### Актуальність

Компресія графічних файлів має велике значення, оскільки забезпечує підвищення швидкості передачі інформації по мережі й зменшує обсяг пам'яті, необхідний для її зберігання. Тому проблема підвищення ефективності стиснення зображень не втрачає своєї актуальності протягом останніх десятиліть і, скоріш за все, не втратить у майбутньому.

Звісно ж, на сьогоднішній день існує чимало алгоритмів компресії зображень. Є методи стиснення з втратами, а є й без втрат [1-3]. Усе залежить від того, яка задача ставиться, тобто чи допустимо в результаті компресії втратити певну несуттєву інформацію, чи не можна нехтувати нічим, як наприклад у медичній сфері на етапі проведення досліджень й постановки діагнозу. Проблема в тому, що не зважаючи на велику різноманітність методів, усі вони є по суті вузькоспеціалізованими, так як орієнтовані на певний клас зображень, для якого вони дають хороші результати, але водночас застосування їх до іншого класу може привести до негативних наслідків. Зокрема такий метод стиснення без втрат як RLE чудово працює для зображень з великими областями одного кольору, але застосувавши його до графічного файлу з різкими перепадами кольорів, отримаємо навпаки збільшення розміру вихідного зображення. Що стосується такого відомого алгоритму компресії фотореалістичних зображень як JPEG, він дає хороші результати, але в той же час, якщо на зображенні присутня велика кількість самоподібних елементів, застосування фрактального алгоритму дасть набагато вищий коефіцієнт стиснення. Хоча обидва цих алгоритми працюють з втратами, але помітна суттєва різниця в степені компресії.

Зрозуміло, що універсального алгоритму для стиснення зображень не існує і розробити його вкрай важко. Але можна спробувати розробити метод, який би добре працював не для одного, а для декількох

класів зображень і це значно спростило б життя багатьом фахівцям. Таким чином, постає необхідність розбивати зображення на сегменти й класифікувати їх відповідно до найпоширеніших методів стиснення. З цією метою пропонується розробити критерії класифікації, відповідно до яких сегменти зображення будуть віднесені до того чи іншого методу їх обробки, що й ляже в основу класифікатора.

### Мета

Метою роботи є розробити математичну модель класифікації сегментів зображення, яка ляже в основу узагальненого методу стиснення, який міститиме в своїй основі дещо модифіковані існуючі алгоритми компресії.

Мета дослідження поляє в підвищенні коефіцієнту стиснення зображень при збереженні допустимої якості за рахунок використання методів текстурної сегментації та багатокритеріальної класифікації по відомих алгоритмах стиснення.

### Задачі

Відповідно до мети досліджень формулюються такі задачі:

1. Визначення критеріїв класифікації сегментів зображення у відповідності до обраних методів компресії.
2. Розробка математичної моделі класифікації сегментів зображення.
3. Розробка узагальненого алгоритму стиснення зображень з використанням отриманої моделі класифікації.

### Розв'язання задач

З метою коректної оцінки коефіцієнта стиснення, необхідно розглянути поняття класу зображень. Клас зображень - це сукупність зображень, застосування до яких алгоритму компресії дає однакові результати з точки зору якості. Наприклад, для одного класу алгоритм дає дуже високий коефіцієнт стиснення, для іншого – майже не стискає, для третього – збільшує розмір файлу.

Існують наступні приклади неформального визначення класів зображень:

- Зображення з невеликою кількістю кольорів (4-16) і великими ділянками одного кольору. Приклади: ділова графіка - гістограми, діаграми, графіки тощо.
- Зображення з використанням плавних переходів, побудовані на комп'ютері. Приклади: графіка презентацій, ескізні моделі, зображення побудовані по методу зафарбовування Гуро.
- Фотореалістичні зображення. Приклад: відскановані фотографії.
- Фотореалістичні зображення з накладанням ділової графіки.

В якості окремих класів можна виділити неякісно відскановані в 256 градациях сірого сторінки журналів або растрові зображення топографічних карт. Окремі класи можуть бути сформовані і зовсім специфічними зображеннями: рентгенівські знімки або фотографії в профіль з електронного досьє.

Саме тому достатньо складною й цікавою задачею є пошук найкращого алгоритму для конкретного класу, а у нашому випадку для конкретного сегмента вихідного зображення.

Для того, щоб правильно оцінювати напрямок зміни алгоритмів, недостатньо самого визначення класу зображень. Потрібно задати й визначені критерії оцінки алгоритмів:

- 1) Найгірший, середній і найкращий коефіцієнти стиснення. Іншими словами це частка, на яку збільшиться розмір зображення, якщо початкові дані будуть найгіршими; деякий середньостатистичний коефіцієнт для того класу зображень, на який орієнтований алгоритм; і, відповідно, найкращий коефіцієнт. Останній необхідний лише з точки зору теорії, оскільки показує ступінь стиснення найкращого (звичай, абсолютно чорного) зображення фіксованого розміру.
- 2) Клас зображень, на який орієнтований алгоритм. Іноді також зазначається чому на інших класах зображень отримуються гірші результати.
- 3) Симетричність. Характеризує швидкодню й вимоги по ресурсах процесів кодування і декодування. Найбільш важливими є 2 коефіцієнти: відношення часу кодування до часу декодування й вимоги на обсяг пам'яті.

4) Чи є втрати якості? І якщо є, то за рахунок чого змінюється коефіцієнт компресії? У більшості алгоритмів стиснення з втратами існує можливість зміни коефіцієнта стиснення.

5) Характерні особливості алгоритму і зображень, до яких його застосовують [4].

Проаналізувавши існуючі методи компресії зображень з точки зору описаних вище критеріїв, для даної роботи було вирішено обрати такі три з них: RLE (Run Length Encoding), JPEG [5] і фрактальний алгоритм [6].

Run Length Encoding (RLE) – один з найстаріших і найпростіших алгоритмів архівації графіки без втрат. Зображення в ньому витягується в ланцюжок байт по рядках растру. Стиснення в RLE здійснюється за рахунок того, що у зображенні зустрічаються ланцюжки однакових байт. Вони замінюються на пари "лічильник, значення", що зменшує надлишковість даних. Найкращий, середній і найгірший коефіцієнти стиснення - 1/32, 1/2, 2/1. Причому ситуація, коли файл збільшується вдвічі, для цього простого у

реалізації алгоритму є досить поширеною. Її можна спостерігати, застосовуючи групове кодування до оброблених кольорових фотографій.

Перевагами алгоритму є лише те, що він не потребує додаткової пам'яті при роботі і швидко виконується. Алгоритм орієнтований на зображення з невеликою кількістю кольорів: ділову і наукову графіку. Лежить в основі форматів РСХ, TIFF, BMP.

JPEG – один з відносно нових і досить потужних алгоритмів стиснення з втратами. Він є стандартом де-факто для повноколірних зображень. Алгоритм оперує областями  $8 \times 8$ , на яких яскравість і колір змінюються порівняно плавно. В результаті цього, при розкладанні матриці такої області у подвійний ряд по косинусах значущими виявляються лише перші коефіцієнти. Таким чином, стиснення в JPEG відбувається за рахунок малої величини значень амплітуд високих частот в реальних зображеннях.

Коефіцієнт стиснення в JPEG може варіюватись в межах від 2 до 200 разів. Проте JPEG має свої особливості. Найбільш відомими є "ефект Гібса" і розбиття зображення на квадрати  $8 \times 8$ . Перша особливість проявляється біля різких границь предметів, утворюючи так званий "ореол". Розбиття на квадрати відбувається, коли встановлюється дуже високий коефіцієнт стиснення для даного конкретного зображення.

JPEG реалізований у таких форматах як JPG і TIFF.

Група алгоритмів фрактального кодування на даний момент є найбільш перспективною і продовжує розвиватись. Перші результати на практиці були отримані відносно недавно - у 1992 році – і спричинили справжній фурор. Коефіцієнт стиснення у фрактальних алгоритмів коливається у межах 2-2000. Причому великі коефіцієнти досягаються на реальних зображеннях, що є досить нетиповим для попередніх алгоритмів. Крім того, при розархівуванні зображення можна масштабувати. Збільшене зображення не ділиться на квадрати. У фрактальному стисненні все базується на принципово новій ідеї – не на подібності кольорів у локальній області, а на подібності різних за розміром ділянок зображення. Алгоритм орієнтований на повноколірні зображення і на зображення в градаціях сірого.

Проте алгоритм потребує величезних обчислювальних витрат при компресії. При цьому декомпресія потребує менше обчислень, ніж у JPEG. Фактично, це перший суттєво несиметричний алгоритм. Коефіцієнт симетричності фрактального алгоритму коливається в діапазоні 1000-10000. Внаслідок цього велика увага приділяється розпаралеленню його обчислень з метою підвищення швидкодії. Фрактальне стиснення є основою формату FIF.

#### **Отримання математичної моделі класифікації сегментів зображення**

На основі описаних вище характеристик трьох, обраних для використання у роботі, алгоритмів було сформовано критерії віднесення сегментів зображення до того чи іншого методу компресії. Процес розбиття зображення на сегменти описано у роботі [7].

Так як RLE працює з ланцюжками пікселів, однаковими за значеннями, необхідно перевірити чи є у сегменті такі групи і чи розташовані вони послідовно (в протилежному випадку отримаємо навпаки збільшення розміру сегмента). В процесі пошуку подібних за значеннями пікселів, кожний піксель порівнюється з сусіднім і якщо різниця задовольняє пороговому значенню (приблизно 5%, що відповідає  $\pm 10$  значенням з діапазону  $0 \dots 255$ ), то приймаємо пікселі за подібні. Інакше, коли отримуємо перевищення порогового значення, формується нова послідовність з іншими значеннями пікселів і процес повторюється. Таким чином, алгоритм RLE дещо модифікується і перетворюється на алгоритм стиснення з втратами, оскільки ми працюємо не з послідовностями повністю ідентичних елементів, а з подібними за значеннями елементами. Перетворення класичного алгоритму RLE на алгоритм з втратами було необхідним для того, щоб розширити кількість класів зображень, до яких можна буде застосовувати результуючий алгоритм компресії. Зрозуміло, що на практиці дуже рідко зустрічаються зображення чи їх складові, які відповідають особливостям алгоритму RLE, в результаті чого він переважно не використовується як самостійний алгоритм, а входить до складу більш складних алгоритмів компресії. Модифікація алгоритму дала змогу зробити його самостійнішим і при цьому не зробила його обчислювально складним. Для модифікованого алгоритму при кодуванні у вигляді пар [кількість повторів, значення], було прийнято рішення обраховувати значення пікселів послідовності як усереднене з-поміж значень пікселів, які входять до цієї послідовності. Критерій застосування алгоритму RLE до певного сегменту - відношення кількості отриманих послідовностей подібних елементів до загальної кількості пікселів в сегменті не перевищує поріг (в найгіршому випадку 50%).

У випадку, якщо RLE не є ефективним для даного сегменту, відбувається перевірка на відповідність фрактальному алгоритму. Сегмент розбивається на доменні і рангові блоки. Для кожного рангового блоку шукається подібний доменний, як і у класичному алгоритмі фрактального кодування. Критерій віднесення сегменту до фрактального алгоритму - відношення кількості знайдених підходящих доменних блоків до кількості рангових, які покривають весь сегмент зображення, не перевищує встановлений поріг (наприклад, 30%).

Залишається останній третій алгоритм стиснення JPEG. Так як у ньому важко виділити конкретну особливість, на основі якої можна було б побудувати критерій класифікації, було вирішено відносити до нього усі ті сегменти, які не потрапили до двох інших методів через невідповідність попереднім критеріям.

Таким чином, математична модель класифікації сегментів зображення має вигляд:

$$Classification = \begin{cases} \{RLE | RLE \in Set\_of\_alg, \text{ if } \exists segm, \text{ that } \forall a_i, i = 1..n, a_{i+1} - a_i \leq 5\% \ \& \ \frac{Num\_of\_PixelSets}{n} \leq 40\% \}; \\ \{Fractal | Fractal \in Set\_of\_alg, \text{ if } \exists segm, \text{ that } \frac{Num\_of\_Domain}{Num\_of\_Rank} \leq 30\% \ \& \ segm \notin RLE \}; \\ \{JPEG | JPEG \in Set\_of\_alg, \text{ if } \forall segm \rightarrow segm \notin RLE \ \& \ segm \notin Fractal \}, \end{cases} \quad (1)$$

де RLE, Fractal, JPEG – методи компресії, Set\_of\_alg – набір алгоритмів компресії, які використовуються у роботі, segm – сегмент зображення,  $a_i$  –  $i$ -ий піксель сегмента, Num\_of\_PixelSets – кількість сформованих послідовностей подібних за значенням пікселів,  $n$  – кількість пікселів у сегменті, Num\_of\_Domain – кількість доменних блоків, Num\_of\_Rank – кількість рангових блоків.

Використовуючи запропоновану модель класифікації, було розроблено узагальнений алгоритм компресії зображень, блок-схема якого наведена на рис. 1.

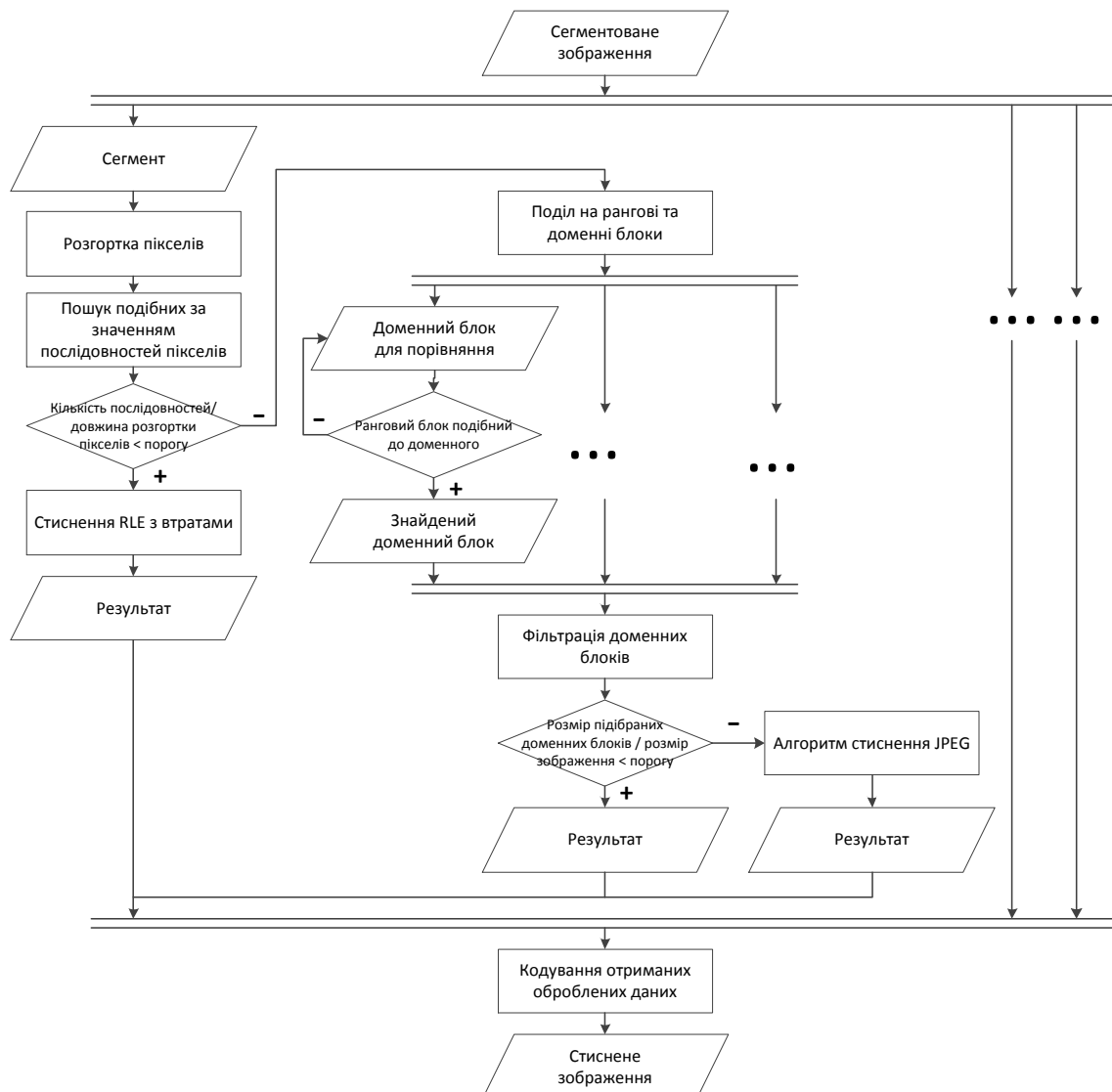


Рисунок 1 – Алгоритм компресії зображення на основі багатокритеріальної класифікації його сегментів

З метою підвищення швидкодії роботи методу було введено паралельні обчислення. Розпаралелення відбувається по сегментах і по рангових блоках у процесі виконання фрактального алгоритму.

Таким чином, запропонована багатокритеріальна модель класифікації зображень, яка дозволяє ефективно розподіляти сегменти зображення між окремими методами компресії з метою досягнення кращих результатів з точки зору коефіцієнта стиснення.

#### Висновки

1. Запропоновано критерії класифікації сегментів зображення у відповідності до обраних методів компресії, що дало можливість обирати для кожного сегмента найбільш доцільний з точки зору ефективності стиснення метод компресії.

2. Розроблено математичну модель класифікації сегментів зображення, яку було покладено в основу розробки нового алгоритму стиснення.

3. Розроблено узагальнений алгоритм стиснення зображень на основі запропонованої моделі класифікації сегментів, в результаті чого з'являється можливість ефективно стискати багатокomпонентне зображення з об'єктами різних типів.

4. Запропоновано впровадження паралельних обчислень, в результаті чого досягається підвищення швидкодії роботи алгоритму.

#### Список літератури

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс ; пер. с англ. Л. И. Рубанова, П. А. Чочиа. – М: Техносфера, 2012. – 1104 с. – ISBN 978-5-94836-331-8.

2. Ватолин Д. С. Тенденции развития алгоритмов архивации графики / Д. С. Ватолин. // Открытые системы. – 2010. – № 2. – С. 15-24.

3. Претт Уильям. Цифровая обработка изображений / Уильям Претт ; пер. с англ. Д. С. Лебедева. – М.: Мир, 2002. – 792 с. – ISBN 978-5-9221-0841-6.

4. Тенденции развития алгоритмов сжатия статических растровых изображений [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.osp.ru/os/1995/04/178685/>. – Назва з екрану.

5. Софина О.Ю. Метод стиснення зображень на основі паралельного алгоритму JPEG / О.Ю. Софина, А.В. Лозун // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2014, № 3. – ст.52-56.

6. Kvyetnyy R.N. Modification of fractal coding algorithm by a combination of modern technologies and parallel computations / R.N. Kvyetnyy, O.Y. Sofina, A.V. Lozun. // Proceedings of SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications 2015. – Lublin – Nałęczów, Poland, 22–25 September 2015. – DOI: 10.1117/12.2229009.

7. Кветний Р.Н. Дослідження впливу відкидання певних етапів методу сегментації з використанням характеристик Лавса на її результат / Р.Н. Кветний, А.В. Олесенко // Наукові праці ВНТУ. – 2016, № 4. – ст.1-7.

Стаття надійшла: 12.06.2017

#### Відомості про авторів

**Кветний Роман Наумович** — член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, д. т. н., професор, завідувач кафедри АІВТ, Вінницький національний технічний університет.

**Олесенко Алла Василівна** — аспірант, асистент кафедри автоматичної та інформаційно-виміральної техніки, Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця.