

Р. Н. Кветний, д. т. н., проф.; А. В. Олесенко

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІДКИДАННЯ ПЕВНИХ ЕТАПІВ МЕТОДУ СЕГМЕНТАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАВСА НА ЇЇ РЕЗУЛЬТАТ

У статті запропоновано метод сегментації зображень, який ґрунтується на використанні енергетичних характеристик Лавса, і проведено аналіз впливу відкидання певних його етапів на результат сегментації. Використовуючи цей метод, можна якісно визначати сегменти зображення з метою їхнього подальшого використання у процесі обробки зображень.

Ключові слова: зображення, сегментація, енергетичні характеристики Лавса, модель, вибірка тестових зображень.

Вступ

У зв'язку з поширенням великої кількості інформації у вигляді цифрових зображень особливої актуальності набувають розпізнавання певних об'єктів на зображенні й виділення їхніх контурів. Ці проблеми розв'язують за допомогою сегментації, яка дозволяє визначити необхідні об'єкти на зображенні.

Зазвичай сегментація виступає в якості одного з основних етапів обробки зображень. Виходячи з різноманітності зображень і задач, застосовують різні методи сегментації, наприклад, кореляційні, порогові методи, методи аналізу кольору тощо.

Метою цієї статті є підвищення якості сегментації зображення шляхом використання енергетичних характеристик Лавса, які дозволяють описувати різні типи текстур із високою точністю. Також у статті проведено аналіз впливу відкидання певних етапів запропонованого методу сегментації на її результат. Оскільки сам метод є доволі громіздким, що впливає на його складність і швидкодію, зроблено припущення щодо того чи справді всі його етапи є необхідними для ефективної роботи методу. Мета дослідження полягає в підвищенні якості сегментації, яку визначають відношенням площі правильно ідентифікованих сегментів зображення до їхньої реальної площі.

Поняття текстури може бути визначене за двома основними підходами. Згідно зі структурним підходом, текстура є множиною текселів, розташованих у певному регулярному порядку або в порядку, що повторюється. Є також статистичний підхід, який полягає в обрахунку чисельних характеристик текстур. У цьому випадку текстура є кількісною характеристикою розподілу значень інтенсивності в галузі обробки зображення [1 – 3].

Відповідно до вищеописаних підходів можна виділити дві категорії методів опису текстурних зображень: статистичні (обрахування матриць збігів, енергетичних характеристик Лавса [4, 5]) і структурні (побудова мозаїки Вороного).

Якщо провести аналіз сучасного стану проблеми сегментації текстурних зображень, то можна зазначити, що на сьогодні вона розв'язана лише для часткових завдань за визначених обмежень на тип зображень, наявність геометричних спотворень і спотворень яскравості тощо. Отже, подальші дослідження в галузі розробки методів сегментації текстурних зображень є досить актуальними й необхідними.

Метод сегментації на основі використання енергетичних характеристик Лавса

Математична модель задачі сегментації зображень із використанням характеристик Лавса має вигляд:

$$D \rightarrow \{D_1, \dots, D_S\}, \quad (1)$$

де область $D = \bigcup_{r=1}^S D_r$;

$$D_r = \{(i, j) \mid \rho(\bar{E}(x_r, y_r), \bar{E}(i, j)) < \delta\}, r = \overline{1, S},$$

$$\rho(\bar{E}(x_r, y_r), \bar{E}(i, j)) < \delta, \quad (2)$$

де $\rho(\bar{E}(x_r, y_r), \bar{E}(i, j)) < \delta$ – критерій, визначений як міра подібності, яку можна обрахувати за одним із відомих способів; δ – певне порогове значення; $\bar{E}(x_r, y_r)$ – вектор $\bar{E}(x_r, y_r) = (E_1(x_r, y_r), \dots, E_9(x_r, y_r))$ енергетичних карт еталону класу r ; (x_r, y_r) – точка-еталон класу текстур r , (i, j) – точка, належність якої до класу текстур r визначають у поточний момент.

Формули й безпосередньо спосіб обрахунку енергетичних карт описані в джерелі [4].

На основі моделі (1) було розроблено методи поточної й фрагментарної сегментації.

Під час поточної сегментації для всього зображення будують енергетичні карти, унаслідок чого кожен піксель $(i, j) \in D$ характеризується вектором $\bar{E}(i, j)$ із 9 значень, що використовуються в якості ознак для сегментації зображення.

Для прийняття рішення щодо належності точки (i, j) одному класу текстур r у запропонованому методі використовували критерій (2), де міру подібності обчислюють за формулою:

$$\rho_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^9 |E_k(i, j) - E_k(x_r, y_r)|}{9}, \quad (3)$$

де $|E_k(i, j), E_k(x_r, y_r)|$ – значення пікселів $(i, j), (x_r, y_r)$ на поточній та відповідно еталонній k -ій енергетичній карті; $(i, j), (x_r, y_r) \in \frac{D}{D_{r-1}}$.

Розглянемо тепер, як реалізується фрагментарна сегментація. Зображення розбивають на фрагменти розміром 15×15 пікселів. Для всіх фрагментів будують вектори характеристик $\bar{E}(i_f, j_f)$, де i_f і j_f – порядкові номери фрагменту по вертикалі і горизонталі. Вектори $\bar{E}(i_f, j_f)$ для фрагментів отримують за допомогою усереднення значень енергетичних характеристик для кожного пікселя, що входить до фрагменту. Отримані вектори текстурних ознак фрагментів застосовують, обчислюючи міру подібності між ними. Отже, у формулі (3) координати (i, j) і (x_r, y_r) є координатами фрагмента, який визначають, і еталонного фрагмента відповідно. Алгоритм сегментації зображень із використанням описаних характеристик Лавса зображено на рис. 1.

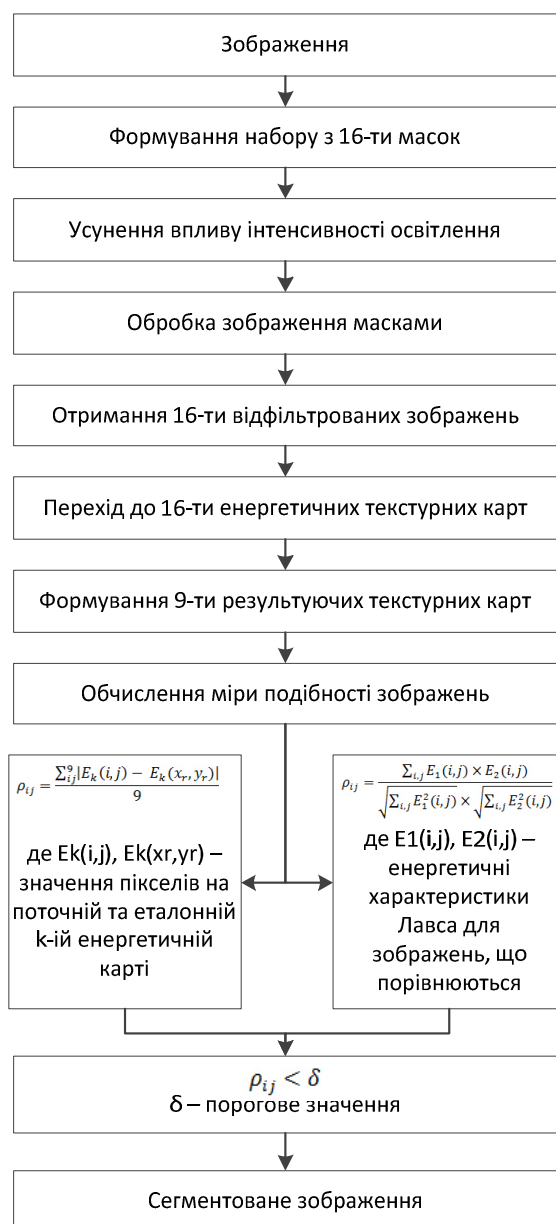


Рис. 1. Алгоритм сегментації з використанням енергетичних характеристик Лавса

Розроблений алгоритм плануємо використовувати в подальших розробках як складник комплексного методу стиснення зображень, який ґрунтуватиметься на вже існуючих методах компресії [6, 7].

Із метою перевірки доцільності застосування характеристик Лавса для сегментації графічної інформації було вирішено використовувати кореляційний метод оцінки подібності зображень, оскільки у нього висока точність. Подібність зображень оцінювали за двома методами:

1) за обрахунком міри подібності між самими зображеннями за виразом:

$$\rho(i, j) = \frac{E_{i,j} B_1(i, j) \times B_2(i, j)}{\sqrt{E_{i,j} B_1^2(i, j)} \times \sqrt{E_{i,j} B_2^2(i, j)}}, (i, j) \in D, \quad (4)$$

де B_1 , B_2 – зображення, які порівнюють;

2) за обрахунком міри подібності енергетичних карт цих зображень. Із цією метою у формулі (4) значення яскравостей замінюють на енергетичні характеристики Лавса:

$$\rho(i, j) = \frac{E_{i,j} E_1(i, j) \times E_2(i, j)}{\sqrt{E_{i,j} E_1^2(i, j)} \times \sqrt{E_{i,j} E_2^2(i, j)}}, (i, j) \in D \quad (5)$$

Було сформовано вибірку тестових зображень, у яку ввійшли текстурні зображення, наведені на рис. 2.

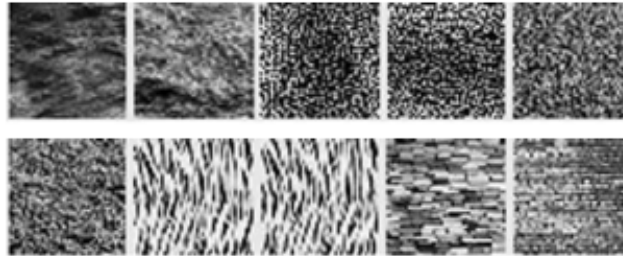


Рис. 2. Тестові зображення

На рис. 3 показані результати обрахунку міри подібності (4) для наведених зображень.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	1	0,847	0,784	0,777	0,843	0,843	0,856	0,856	0,843	0,855
2	0,847	1	0,781	0,781	0,847	0,848	0,849	0,849	0,844	0,848
3	0,784	0,781	1	0,710	0,769	0,765	0,779	0,779	0,765	0,773
4	0,777	0,781	0,710	1	0,769	0,769	0,782	0,782	0,763	0,773
5	0,843	0,847	0,769	0,769	1	0,829	0,837	0,837	0,826	0,837
6	0,843	0,848	0,765	0,769	0,829	1	0,839	0,839	0,828	0,837
7	0,856	0,849	0,779	0,782	0,837	0,839	1	1	0,839	0,851
8	0,856	0,849	0,779	0,782	0,837	0,839	1	1	0,839	0,851
9	0,843	0,844	0,765	0,763	0,826	0,828	0,839	0,839	1	0,843
10	0,855	0,848	0,773	0,773	0,837	0,837	0,851	0,851	0,843	1

Рис. 3. Коефіцієнти кореляції для тестових зображень з рис. 3

Було побудовано симетричну матрицю розміром 10×10, у якій на перетині *i*-го рядка та *j*-го стовпця розташоване значення коефіцієнта кореляції для *i*-го і *j*-го зображень. Лише у двох з десяти експериментів найбільш подібними виявились текстури, що містять візуально схожі зображення. Так, у першому рядку текстура води за своїм коефіцієнтом є найподібнішою до текстури шкіри тигра, а не до іншої текстури води, як очікувалось.

Проаналізуємо тепер результати обчислень за даними енергетичних карт зображень (рис. 2). Вони наведені на рис. 4.

0'113e	0'1a03	0'1828	0'8ee2	0'8253	0'830a	0'8283	0'8283	0'8a12		J
0'817e	0'8022	0'811a	0'8133	0'81e1	0'81e4	0'8072	0'8072		J	0'8072
0'807a	0'8054	0'8085	0'8008	0'8014	0'8400		J	J	0'8072	0'8283
0'807a	0'8054	0'8085	0'8008	0'8014	0'8400		J	J	0'8072	0'8283
0'8121	0'8014	0'8154	0'8021	0'8038		J	0'8400	0'8400	0'81e4	0'830a
0'81a3	0'8011	0'8015	0'8011		J	0'8038	0'8014	0'8014	0'81e1	0'8253
0'8208	0'8085	0'8023		J	0'8011	0'8021	0'8008	0'8008	0'8133	0'80e2
0'8033	0'8043		J	0'8023	0'8015	0'8154	0'8085	0'8085	0'811a	0'1828
0'8012		J	0'8043	0'8023	0'8011	0'8014	0'8054	0'8054	0'8022	0'1a03
	J	0'8012	0'8033	0'8008	0'81e1	0'8121	0'807a	0'807a	0'817e	0'113e

Рис. 4. Коефіцієнти кореляції, обраховані за даними енергетичних карт

Було побудовано матрицю, аналогічну попередній, де показано, що в усіх з десяти експериментів максимальний коефіцієнт (5) був знайдений між найбільш схожими візуально зображеннями.

Отже, аналіз отриманих результатів (рис. 3, 4) доводить, що для візуально подібних текстурних зображень перехід до енергетичних карт суттєво підвищує коефіцієнт кореляції й підкреслює текстурні особливості зображень.

Також було підраховано коефіцієнт якості сегментації текстурних зображень із використанням запропонованого методу. Коефіцієнт обраховували як відношення площі

правильно сегментованих ділянок до їхньої реальної площі. Для поточної сегментації усереднений коефіцієнт якості склав 0,78. Отже, аналіз результатів показав доцільність застосування характеристик Лавса для розв'язання багатьох практичних задач у галузі обробки зображень.

Аналіз впливу відкидання певних етапів методу на результат сегментації

Метод сегментації, що ґрунтується на енергетичних характеристиках Лавса, є досить об'ємним, що зумовлює його швидкодію. Основними етапами роботи цього методу є: отримання енергетичних характеристик (усунення впливу інтенсивності, обробка зображення масками, розрахунок енергетичних карт) і поділ зображення на ділянки з подібними енергетичними характеристиками (за критерієм (2)). Із метою підвищення швидкодії роботи алгоритму було висунуто припущення, що не всі етапи методу є справді необхідними. Тобто для скорочення часу роботи можна знехтувати певним етапом чи навіть кількома етапами. Було оцінено вплив етапів на кінцевий результат сегментації. Результати проведених експериментів наведені на рис. 5.

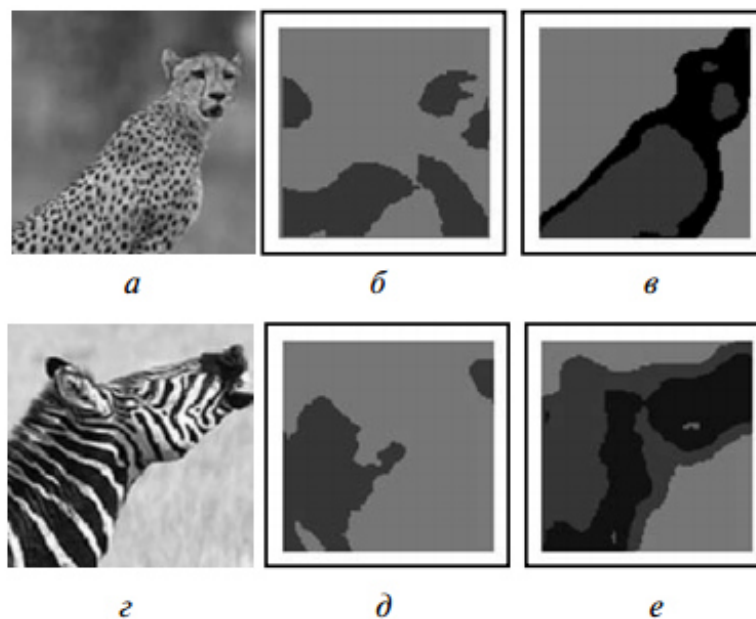


Рис. 5. Результати поточної сегментації: а, г – вихідне зображення; б, д – сегментація без усунення впливу інтенсивності освітлення, поріг $\delta=80$; в, е – сегментація з усуненням впливу інтенсивності освітлення, поріг $\delta=80$

Отже, перший крок алгоритмів, побудованих на основі енергетичних характеристик Лавса, полягає в усуненні впливу інтенсивності освітлення. Було здійснено низку досліджень із програмною моделлю, у яких енергетичні карти тестових зображень обраховували з використанням першого кроку й без нього. Проаналізувавши отримані результати візуально, бачимо, що усунення впливу інтенсивності освітлення на першому етапі обробки зображення методом енергетичних характеристик дійсно є необхідним, оскільки зміна освітлення візуально подібних текстур суттєво впливає на значення характеристик Лавса, а це призводить до належності текстур до різних класів. Отже, цей крок дозволяє зрівняти енергетично всі порівнювані зображення, залишаючи для подальшого дослідження інформацію про текстуру.

Також були проведені дослідження щодо питання необхідності переходу від відфільтрованих зображень до енергетичних карт, які є усередненням результатів обробки зображення масками. Для цього ставили такі експерименти: сегментацію тестових зображень

здійснювали на основі обробленого масками зображення й на основі енергетичних карт. Результат сегментації одного із зображень показаний на рис. 6.

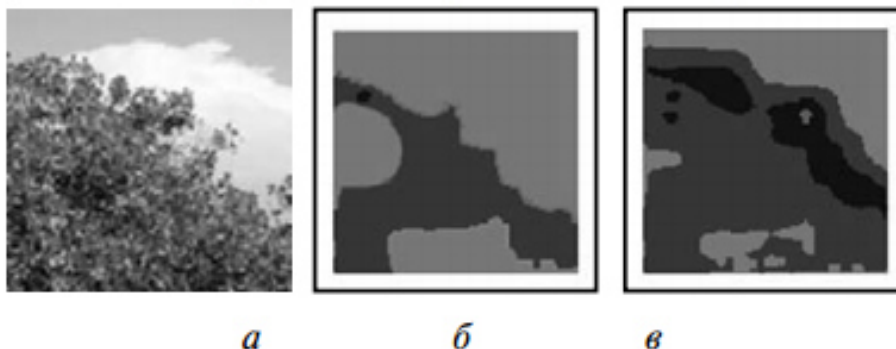


Рис. 6. Результати поточної сегментації: а – вихідне зображення; б – сегментація на основі обробленого масками зображення, поріг $\delta=80$; в – сегментація на основі використання енергетичних карт, поріг $\delta=80$

Проведені дослідження показують, що перехід від відфільтрованих зображень до енергетичних карт дозволяє краще враховувати текстурні особливості зображень, оскільки на значення кожної точки енергетичної карти впливають відфільтровані значення точок її кола.

Отже, як бачимо, етап переходу від відфільтрованих зображень до енергетичних карт, як і етап усунення впливу інтенсивності освітлення, є необхідним для побудови опису текстури зображення й використання такого опису для розв'язання проблеми сегментації.

Висновки

Розроблено метод текстурної сегментації, який ґрунтується на використанні енергетичних характеристик Лавса. Вони суттєво підкреслюють характерні особливості текстурних зображень, а отже, можуть знадобитись у розв'язанні різноманітних задач з обробки зображень, зокрема, задач сегментації. Використовуючи цей метод, виділяти окремі класи текстур значно простіше й ефективніше порівняно з використанням інших підходів. Також з метою підвищення швидкодії роботи методу проаналізовано вплив відкидання певних його етапів на результат сегментації.

Тестування методу показало, що для візуально подібних текстурних зображень перехід до енергетичних карт суттєво підвищує коефіцієнт кореляції й дозволяє з високою точністю виявляти подібність текстур. Також показано, що нехтувати певними етапами методу недоцільно, оскільки всі вони впливають на якість результувального сегментованого зображення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Tuceryan M. Texture analysis / M. Tuceryan, A. K. Jain. // Handbook of pattern recognition and computer vision. – 1993. – P. 235 – 276.
2. Chellapa R. Model based texture segmentation and classification / R. Chellapa, R. L. Kashyap, B. S. Manjunath // Handbook of pattern recognition and computer vision. – 1993. – P. 277 – 307.
3. Lewis J.-P. Texture Synthesis for Digital Painting / J.-P. Lewis // Computer Graphics. – 1984. – Vol. 2. – P. 245 – 252.
4. Laws K. Textured Image Processing, Ph. D. Dissertation / K. Laws. // University of Southern California. – January, 1980. – P. 111 – 143.
5. Laws K. Rapid texture identification / K. Laws. // In SPIE Image Processing for Missile Guidance. – 1980. – Vol. 238. – P. 376 – 380.
6. Modification of fractal coding algorithm by a combination of modern technologies and parallel computations [Електронний ресурс] / 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. – Режим доступу :

<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=2478658>.

7. 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. – С.52 – 56.

Квстний Роман Наумович – д. т. н., професор кафедри автоматки та інформаційно-вимірювальної техніки.

Олесенко Алла Василівна – аспірант кафедри автоматки та інформаційно-вимірювальної техніки.

Вінницький національний технічний університет.