

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗМІРІВ МІКРОКЛАСТЕРІВ НА СТУПІНЬ ДЕКОМПОЗИЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ

© Мельник Р., Тушиницький Р., 2008.

Наведено результати дослідження впливу розмірів мікрокластерів початкового рівня декомпозиції візуальних образів на кількість та площу сегментів зображень різної структури. Пакет містить алгоритми чотирьох рівнів кластеризації: покриття образу мікрокластерами, прямокутниками, побудови з них кластерів неправильної форми та об'єднання останніх у зв'язні області.

The investigation results concerning the dependencies of decomposition degree for visual patterns by different structure from number and square of microclusters formed on the first stage of clustering are presented. The package is based on four levels clustering algorithms: coverage of patterns by microclusters and rectangles, merging the clusters onto the regions of irregular form and grouping the latter onto the closed areas.

Вступ

Робота присвячена дослідженню впливу розмірів мікрокластерів на ступінь декомпозиції зображень на основі алгоритмів та програм кластеризації образів. За результатами досліджень зроблено висновки про доцільність застосування різних алгоритмів сканування та параметрів кластеризації з метою отримання мінімальної кількості початкових мікрокластерів для декомпозиції структурованих зображень.

Методи кластерного аналізу широко використовуються для декомпозиції, дослідження та розпізнавання зображень [1–4]. Зокрема, робота [1] містить класифікацію методів кластеризації та спосіб формування контурів виділених кластерів. Роботи [2, 3] присвячені кластеризації графових моделей, якими відображають частини зображень. У роботі [4] до зображень застосовано підхід кластеризації експериментальних даних, на які накладено сітку з певним кроком. У наведених роботах, як і в деяких інших, не розглядаються засоби керування алгоритмами, такими як крок сітки чи яскравість формованих кластерів. Вони ґрунтуються на одному етапі кластеризації.

Особливістю наведеної роботи є чотири рівні кластеризації: покриття мікрокластерами та прямокутниками, формування з них кластерів неправильної форми – регіонів, та утворення з останніх зв'язних областей. Матеріал статті демонструє практичне застосування керування кроком сітки покриття та яскравістю мікрокластера в алгоритмі декомпозиції зображень.

1. Формування мікрокластерів скануванням образу

Під час розроблення алгоритму декомпозиції візуального образу його завданням є розв'язання таких задач: 1) отримання описів складових образу з усіма можливими характеристиками; 2) виділення тільки певної складової з заданими характеристиками; 3) отримання складових частин інтегральної області, що характеризується різною яскравістю.

Для вирішення поставленого завдання розроблено засоби керування алгоритмом побудови ієрархічного дерева згортання для забезпечення доступу до різних його рівнів та одержання фрагментів різної фізичної природи. Зазначені рівні формування кластерів різної природи позначені на фрагменті ієрархічного дерева, наведеною на рис. 1.

Згортання полягає в поділі візуальних образів на класи – групи об'єктів, схожі між собою за певними ознаками. Початково образ (об'єкт) розбивається на мікрооб'єкти за певним правилом.

Надалі при об'єднанні мікрооб'єктів утворюються мікрокластери, характеристики F_1, F_2, \dots, F_n яких формуються як суми чи інші функції характеристик мікрооб'єктів, що повинні задовольняти обмеження певного виду. Значення функцій ознак мікрокластерів, що формуються, відповідають за яскравість, колір, співвідношення заповнених та пустих клітинок тощо.

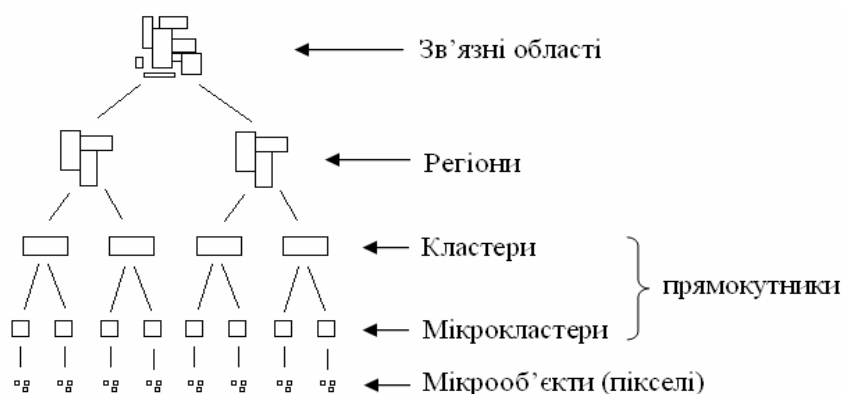


Рис. 1. Фрагмент ієрархічного дерева

Мікрооб'єкти образу утворюються при його поділі сіткою. Кроки сітки вибираються з ряду величин $1 \times 1, 1 \times 2, 2 \times 1, 2 \times 2$ тощо (керує кроком користувач). Кожний елементарний квадрат – піксель – набуває значення у діапазоні від чорного до білого, яке позначимо як b – яскравість мікрооб'єкта. Діапазон яскравості зображено на рис. 2.



Рис. 2. Діапазон значень яскравості мікрооб'єктів та поріг чутливості алгоритму

Керуючи діапазоном чутливості алгоритму, можна аналізувати не все зображення загалом, а окремі сегменти за яскравістю. Цей підхід корисний при аналізі лінійчастих спектрів, коли потрібно проаналізувати лише його певну частину.

Збільшення кроку сітки призводить до виявлення найхарактерніших мікрокластерів, що використовується для формування скелетону зображення.

Значення яскравості мікрооб'єкта (процент заповнення) обчислюється за формулами відносного заповнення клітинки у відсотках від чорного:

$$b = (256 - c_i) \times 100 / 256$$

або у відсотках від білого:

$$b = c_i \times 100 / 256,$$

де c_i ($i=1,2,3$) – значення однієї із компонент R (G або B) кольору сірого пікселя.

У попередніх роботах [5, 6] для формування мікрокластерів використовувався простий алгоритм *однонапрявленого* сканування (рис. 4, а). Для покращання характеристик декомпозиції зображень у межах сітки більших розмірів у цій роботі запропоновано використати такі алгоритми сканування: *однонаправлений із накладанням*, *двонаправлений із формуванням нечітких кластерів*, *двонаправлений із формуванням чітких кластерів*.

В алгоритмі *однонапрявленого сканування* скануюче вікно із розмірами сітки розбиття рухається по зображенню лише за вибраним кроком сітки (рис. 4, а). В алгоритмі *однонапрявленого сканування із накладанням* скануюче вікно із розмірами сітки розбиття $m \times n$ рухається по зображенню за таким правилом: якщо можна сформувати з об'єкта мікрокластер, то переходимо на наступний крок сітки $m \times n$, у протилежному випадку переходимо на крок $m \times 1$ (рис. 4, б).

Вважатимемо кластер *чітким*, якщо він не перетинається із жодним іншим кластером, і *нечітким* – у протилежному випадку. На рис. 3, *а* зображено чіткі кластери, на рис. 3, *б* – нечіткі.

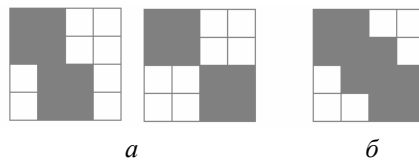


Рис. 3. Чіткі та нечіткі кластери

В алгоритмі *двонапрямого сканування із формуванням нечітких кластерів* скануюче вікно із розмірами сітки розбиття $m \times n$ рухається по зображенню за таким правилом: якщо можна сформувати з об'єкта мікрокластер, то переходимо на наступний крок сітки $1 \times n$, у протилежному випадку переходимо на крок 1×1 . Колір використаних пікселів – білий (0% яскравості), що дає змогу сформувати нечіткий кластер при заданому параметрі яскравості мікрокластера (рис. 4, *в*).

На відміну від попереднього алгоритму, в алгоритмі *двонапрямого сканування із формуванням чітких кластерів* інформація про використані пікселі заноситься до булівської матриці. Такі пікселі у подальшому скануванні використовувати для частково заповнених мікрокластерів є неможливим. Саме завдяки цьому в результаті утворюються лише чіткі кластери (рис. 4, *в*).

Порівняння алгоритмів сканування з кроком сітки 2×2 зображено на рис. 4. На рис. 4, *г* зображено фрагмент зображення із пронумерованими об'єктами, які формуються різними методами сканування. Залежність кількості мікрокластерів від обмеження на яскравість в різних алгоритмах сканування зображення з рис. 4, *г* подано у табл. 1.

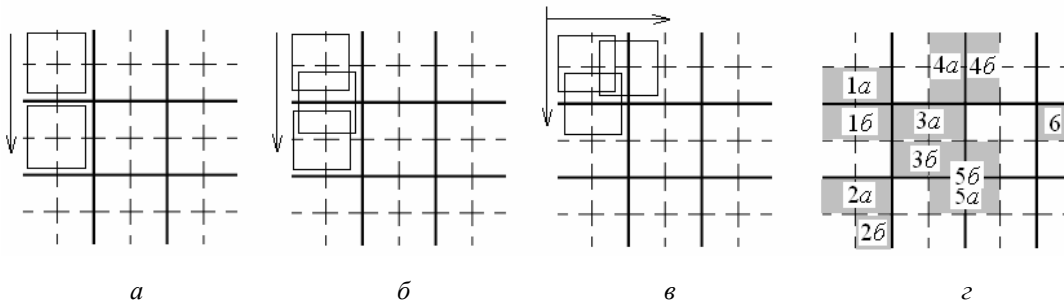


Рис. 4. Алгоритми сканування з кроком сітки 2×2 та фрагмент зображення

Таблиця 1

Залежність кількості мікрокластерів від обмеження на яскравість в різних алгоритмах сканування зображення з рис. 4, г

Алгоритм сканування	Обмеження на яскравість мікрокластера (%), в дужках перелічено номери об'єктів			
	100	≥ 75	≥ 50	≥ 25
Однонаправлений	1 (3)	2 (2, 3)	6 (1a, 1b, 2, 4a, 3, 4b)	10 (1a, 1b, 2, 4a, 3, 5a ₁ , 4b, 5b ₁ , 5b ₁ , 6)
Однонаправлений із накладанням	2 (1, 3)	4 (1, 2, 3a+4a ₁ , 3b+5b ₁)	7 (1a, 1b, 2a, 4a, 3, 4b, 5b ₁ +5a ₁)	10 (1a, 1b, 2, 4a, 3, 5a ₁ , 4b, 5b ₁ , 5b ₁ , 6)
Двонаправлений (нечіткі кластери)	3 (1, 3, 4)	5 (1, 2, 3a+4a ₁ , 3b+5a ₁ , 4)	8 (1a, 1b, 2a, 1b ₁ +3a ₁ +3b ₁ , 4a, 3, 4b, 5)	12 (1a, 1b, 2a, 2a ₁ +3b ₁ , 1b ₁ +3a ₁ +3b ₁ , 4a, 3, 4b, 5, 5b ₁ , 5a ₁ , 6)
Двонаправлений (чіткі кластери)	3 (1, 3, 4)	4 (1, 2, 3a+4a ₁ , 3b+5b ₁)	7 (1a, 1b, 2a, 4a, 3, 4b, 5a)	10 (1a, 1b, 2, 4a, 3, 5a ₁ , 4b, 5b ₁ , 5b ₁ , 6)

*) індекси позначають половину даного кластера.

Отже, при формуванні мікрокластерів керуємося такими параметрами:

1. Кроком сітки розбиття зображення: 1×1 , 1×2 , 2×1 , 2×2 тощо;
2. Порогом чутливості алгоритму в межах $0 \div 100\%$;
3. Процентом заповнення мікрооб'єкта в межах $0 \div 100\%$;
4. Типом опрацьованого образу: сірого, чорно-білого;
5. Методом сканування зображення: однонаправлений, однонаправлений із накладанням, двонаправлений із формуванням нечітких кластерів, двонаправлений із формуванням чітких кластерів.

2. Формування кластерів, регіонів та замкнутих областей згортанням

На наступному кроці з мікрокластерів формуються кластери правильної прямокутної форми.

Використаємо позначення B_k для інтегральної характеристики яскравості кластера як середнє зважене значення яскравостей двох мікрооб'єктів з номерами i та j , що його формують:

$$B_k = \frac{b_i \times a_{i1} \times a_{i2} + b_j \times a_{j1} \times a_{j2}}{a_{i1} \times a_{i2} + a_{j1} \times a_{j2}},$$

де b_i , b_j – яскравості складових мікрооб'єктів, a_{i1} , a_{i2} , a_{j1} , a_{j2} – значення геометричних розмірів мікрооб'єктів (довжини сторін прямокутника).

Введемо такі критерії формування кластерів:

1. Яскравості мікрокластерів b_i , b_j є однаковими;
2. Результуюча яскравість кластера більша або дорівнює величині w_b ;
3. Яскравість шуканого мікрокластера b_j для об'єднання його із кластером b_i є у межах

$$b_i - lo \leq b_j \leq b_i + hi,$$

де lo , hi задають границі чутливості до яскравості мікрокластерів.

Використаємо позначення B_r для інтегральної характеристики яскравості регіону (зв'язної області кластерів) як середнє значення яскравості s кластерів, що його формують:

$$B_r = 1/s \times \sum b_i$$

Із сформованих кластерів формуємо регіони за такими критеріями об'єднання:

1. Яскравості кластерів B_i , B_j є однаковими;
2. Результуюча яскравість регіону більша або дорівнює величині w_B ;
3. Яскравість шуканого кластера B_j для об'єднання його із кластером B_i є у межах

$$B_i - lo \leq B_j \leq B_i + hi,$$

де lo , hi задають границі чутливості до яскравості кластерів.

Крім цього, як умову формування регіону задаємо *головну* та *діагональні відстані* між кластерами.

Використаємо позначення B_a для інтегральної характеристики яскравості замкнутої області (зв'язної області регіонів) як середнє значення яскравості p регіонів, що її формують:

$$B_a = 1/p \times \sum B_r$$

Для формування із отриманих регіонів замкнених областей, застосовуємо такі критерії:

1. Яскравість шуканого регіону B_r для об'єднання його із регіоном B_p є у межах

$$B_p - lo \leq B_r \leq B_p + hi,$$

де lo , hi задають границі чутливості до яскравості регіонів.

2. Регіони, що об'єднуються, мають яскравості кластерів, що відрізняються на задану величину ω .

Крім цього, як умову формування зв'язної області задаємо *головну* та *діагональні відстані* між регіонами.

3. Дослідження структурованих зображень

На рис. 5 зображені сформовані мікрокластери сірого образу відбитка пальця при різних кроках сітки, алгоритму сканування та яскравості кластера. На рис. 5, *a* – крок сітки становить 1×1 ; рис. 5, *б* – крок сітки 2×2 , $b = 100\%$, алгоритм сканування однонаправлений. На рис. 5, *в-е* крок

сітки становить 3×3 , додатково: на рис. 5, $\epsilon - b = 100\%$, алгоритм двонапрявленого сканування (чіткі кластери); рис. 5, $\zeta - b = 50\%$, алгоритм двонапрявленого сканування (нечіткі кластери); рис. 5, $\delta - b = 100\%$, алгоритм однонапрявленний із накладанням; рис. 5, $e - b = 100\%$, алгоритм однонапрявленний.



Рис. 5. Сформовані мікрокластери сірого образу відбитка пальця

Результати досліджень наведено у табл. 2. Для формування кластерів, регіонів та зв'язних областей обрано параметри, отримані експериментально: $w_b \geq 80\%$; $w_B \geq 50\%$; головна і діагональні відстані для формування регіонів = 1; $\omega = 6$; головна і діагональні відстані для формування зв'язних областей = 25. При кроці 1×1 отримано 36030 мікрокластерів, 6075 кластерів, 38 регіонів, 6 зв'язних областей.

Таблиця 2

Залежність кількості мікрокластерів від кроку сітки, параметра яскравості мікрокластера та алгоритму сканування

Алгоритм сканування*	Крок сітки та яскравість мікрокластера, %											
	2×2				2×3				3×3			
	100	≥75	≥50	≥25	100	≥75	≥50	≥25	100	≥75	≥50	≥25
1	5759	7940	10035	12296	2693	4178	6736	7826	1103	2568	3982	5422
2	6807	8776	11100	13110	3896	5109	7970	8515	2217	3052	4990	6006
3	7143	9620	17352	23359	3990	5372	10789	15297	2641	3620	6131	11324
4		9028	11238	13244		5239	8038	8577		3244	5257	6031

*) Алгоритм сканування: 1 – однонапрявленний; 2 – однонапрявленний із накладанням; 3 – двонапрявленний (нечіткі кластери); 4 – двонапрявленний (чіткі кластери).

З отриманих результатів можна зробити такий висновок: із збільшенням кроку сітки є сенс зменшити параметр яскравості мікрокластера та вибрати двонапрявленний алгоритм сканування із формуванням чітких кластерів для подальшого аналізу. Для формування скелетону зображення вибрати двонапрявлене сканування із формуванням нечітких кластерів.

Однонапрявленний алгоритм із накладанням дає кращі результати за однонапрявленний, коли треба детальніше проаналізувати окремий сегмент. Для аналізу всього образу достатньо використати алгоритм однонапрявленого сканування та малий крок сітки.

Таблиця 3

Кількісні характеристики отриманих сегментів

Образ і параметри (рис. 4)	Мікрокластери	Кластери	Регіони	Зв'язні області
<i>a</i>	36030	6075	38	6
<i>б</i>	5759	2441	48	6
<i>в</i>	2641	2296	385	22
<i>г</i>	6131	4885	581	99
<i>д</i>	2217	1927	595	48
<i>e</i>	1103	846	674	67

Для оцінки якісних і кількісних характеристик формування кластерів та регіонів використовуємо гістограму розподілу яскравостей образу. Гістограми з рис. 6 показують кількість об'єктів з яскравостями від 100 до 0% (зліва направо). Зауважимо, що у випадках *г-е* мікрооб'єкти мають яскравості, за значенням близькі тільки до 100% та до 0%.

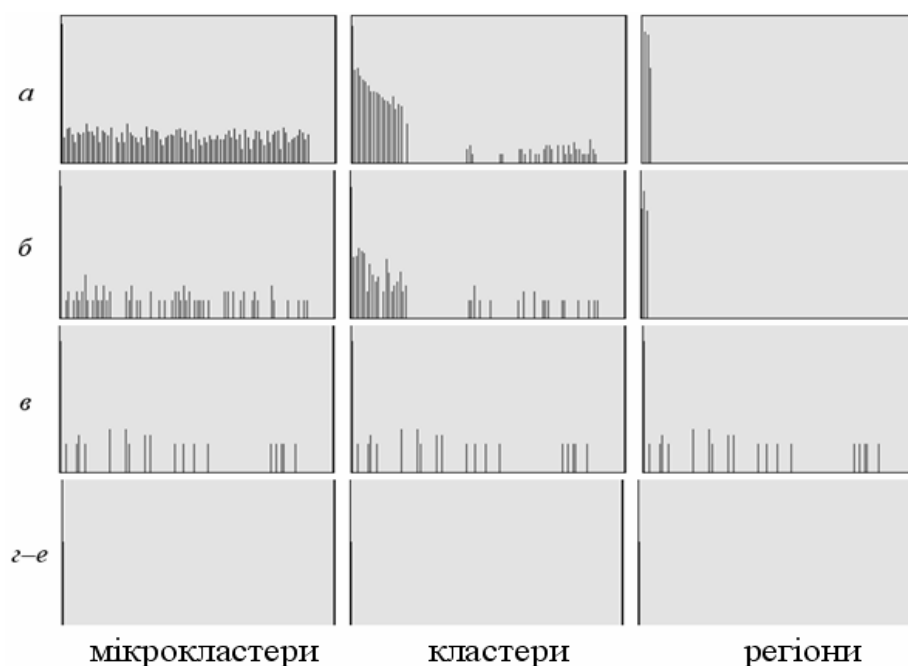


Рис. 6. Гістограми яскравостей для образів відбитка пальця з рис. 5

4. Дослідження слабкоструктурованих зображень

На рис. 7 зображені сформовані мікрокластери медичного образу при різних кроках сітки та параметра яскравості мікрокластера.

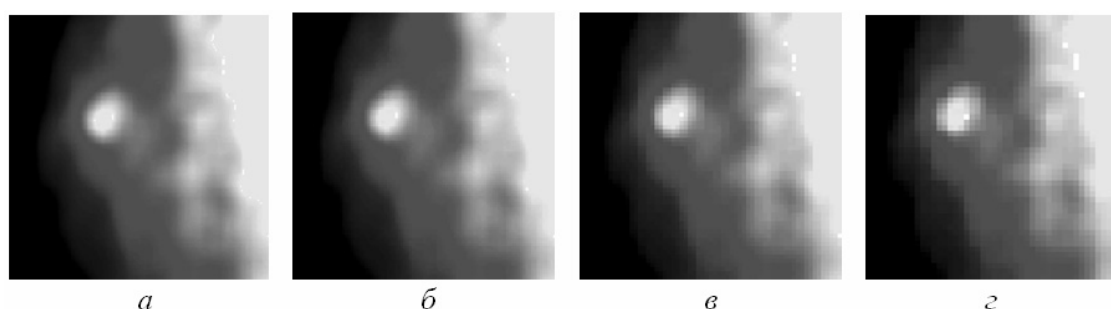


Рис. 7. Сформовані мікрокластери медичного образу;
(алгоритм сканування однонапрямлений, $b = 100\%$): а – крок сітки 1×1 ;
б – крок сітки 2×2 ; в – крок сітки 3×3 ; г – крок сітки 4×4

Результати досліджень наведено у табл. 4. Для формування кластерів, регіонів та зв'язних областей обрано наступні параметри, отримані експериментально: згортання мікрокластерів у кластери за їх однаковими яскравостями; згортання кластерів у регіони за однаковими яскравостями кластерів; головна і діагональні відстані для формування регіонів = 1; $\omega = 6$; головна і діагональні відстані для формування зв'язних областей = 25. При кроці 1×1 отримано 36241 мікрокластерів, 9742 кластерів, 3664 регіонів, 62 зв'язні області.

**Залежність кількості сегментів від кроку сітки
та параметра яскравості мікрокластера**

Сегменти	Крок сітки та яскравість мікрокластера, %							
	2×2		3×3		4×4		5×5	
	100	≥75	100	≥75	100	≥75	100	≥75
Мікрокластери	8992	9010	4002	4027	2234	2256	1397	1403
Кластери	3566	3576	1950	1968	1189	1188	792	798
Регіони	2069	2070	1301	1306	873	876	589	592
Зв'язні області	57	58	55	55	58	58	54	54

Зауважимо, що кількості мікрокластерів, отримані різними алгоритмами сканування, близькі між собою. Тому можемо зробити висновок, що на кількість мікрокластерів для слабкоструктурованих зображень істотно впливає лише крок сітки та параметр яскравості мікрокластера.

На рис. 8, *а* зображено гістограму вихідного зображення у сірих тонах, на рис. 8, *б* – розподіл яскравостей мікрокластерів, кластерів, регіонів та зв'язних областей.

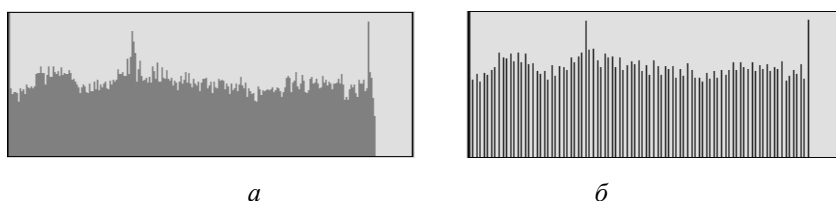


Рис. 8. Гістограми розподілу яскравостей сегментів

На рис. 9 зображено результати декомпозиції вихідного образу (рис. 9, *а*) на регіони (рис. 9, *б*) та зв'язні області (рис. 9, *в*) для кроку сітки 2×2.

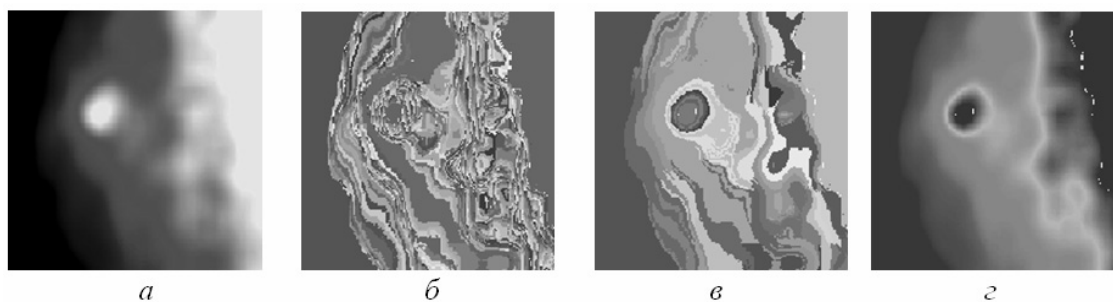


Рис. 9. Декомпозиція початкового образу (*а*) на регіони (*б*) та зв'язні області (*в*), розфарбовані регіони за їх зваженими яскравостями (*г*)

5. Програмний пакет

Розроблено експериментальний програмний пакет з інтерфейсом користувача (рис. 10), що контролює всі етапи роботи: введення окремого образу, контроль параметрів керування, виведення варіантів кластеризації (повної, уточненої), відновленого зображення та повний звіт про хід алгоритму, числові параметри результатів: кількість сегментів, їхня площа, середня яскравість тощо. Пакет реалізує чотири етапи алгоритму кластеризації: формування мікрокластерів, покриття образу прямокутниками, формування регіонів із прямокутників та формування з останніх зв'язних областей. Пакет має засоби для керування як для покриття прямокутниками, так і для формування зв'язних областей. Зокрема, розмір сітки покриття, яскравість мікрокластера, головна та діагональна відстані, алгоритми сканування. Протокол роботи програми заноситься у вихідний інтерфейс.

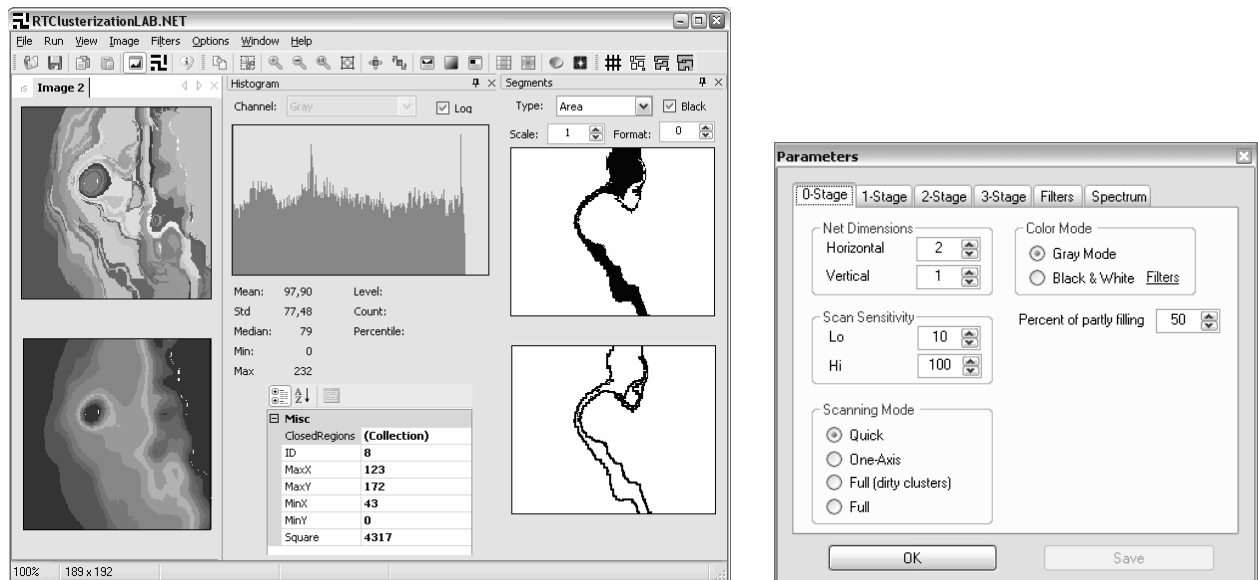


Рис. 10. Інтерфейс пакета та форма налаштування параметрів

Висновки

Проведені дослідження показали значну залежність структурованих і слабкоструктурованих зображень від кроку сітки та параметра яскравості мікрокластера. Від типу алгоритму сканування образу для отримання початкових мікрокластерів залежать лише результати кластеризації структурованих зображень.

Роботою підтверджена можливість застосування програмного пакета декомпозиції образів для опрацювання різних типів зображень. Пакет дає змогу змінювати масштаби контрасту частин зображення, знайти скелетони та контури сегментів зображень, а також виділити фрагменти, що підлягають детальнішому вивченню фахівцями предметних областей досліджуваних зображень.

1. Andy M Yip, Chris Ding, Tony F.Chan. *Dynamic Cluster Formation Using Level Set Methods* // *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.28, n. 6, p.877-889, June, 2006.
2. Leo Grady, Eric L.Schwartz. *Isoperimetric Graph partitioning for Image segmentation* // *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.28, n. 3, p. 469-475, March, 2006.
3. M Pavan, M Pelillo. *Dominant sets and Pairwise Clustering* // *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.29, n. 1, p. 167-172, January, 2007.
4. Zhiven Yu, Hau-San Wong. *GCA: A real-time grid based clustering algorithms for large data set. Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06)*, p. 740-743.
5. Мельник Р., Тушиницький Р. Керування параметрами кластера в алгоритмі декомпозиції спектральних зображень // *Комп'ютерні науки та інформаційні технології*. – 2007. – №598. – С. 3-8.
6. Мельник Р., Тушиницький Р. Застосування пакета кластеризації образів для оцінювання показників стану крові // *Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика*. – 2007. – № 591. – С. 28-33.