

УДК 538.911: 004.932.2

PACS number(s): 07.78.+s, 07.05.Pj, 87.64.vt

## КОМБІНОВАНІ АЛГОРИТМИ АНАЛІЗУ КЛАСТЕРНИХ СТРУКТУР НА РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

**Б. Павлишенко**

*Львівський національний університет ім. І.Франка  
вул. Драгоманова, 19, 79005 Львів, Україна*

Запропоновано комбіновані алгоритми аналізу кластерних структур на растрових зображеннях електронної мікроскопії. Розраховано чисельні характеристики розглянутих кластерних систем.

*Ключові слова:* кластер, електронна мікроскопія.

Сучасні методи розпізнавання оптичних образів дають змогу виявити шукані сегменти зображень та розраховувати їхні кількісні характеристики. З цих позицій є актуальним застосування таких методів для аналізу растрових зображень електронної мікроскопії, наприклад, у дослідженні поверхні твердого тіла, біологічних мікрооб'єктів тощо. Одним із напрямів розпізнавання є векторизація кластерів на растрових зображеннях електронної мікроскопії. Під кластерами розглядають сукупності елементів, згрупованих за визначеннями класів із заданими параметрами, які змінюються у певних межах, характерних для кожного класу [1, 2, 3]. На растрових зображеннях такими елементами вважатимемо пікселі зображення. Як параметри для групування ми обрали відстань між пікселями та трьохскладовий вектор яскравості пікселів у триколірному графічному стандарті зображення BMP.

У праці [4] розглянуто агломеративні алгоритми кластеризації типових зображень електронної мікроскопії. На основі отриманих кластерних векторів розраховано низку кількісних характеристик, які описують досліджувану кластерну структуру. Описаний процес векторизації полягав у послідовному застосуванні алгоритмів згладження зображення, бінаризації та агломеративної кластеризації. Наявність лише трьох базових алгоритмів, розглянутих у роботі, зумовлена відносно простими зображеннями з погляду векторної кластеризації.

Для розширення класу растрових зображень електронної мікроскопії, до яких можна застосувати ефективні методи розпізнавання, необхідно розширити структуру базових алгоритмів. У нашій статті розглянемо комбіновані алгоритми кластерної сегментації, які дають змогу виділити для аналізу значимі кластерні сегменти та відокремити їх від подібних неінформативних елементів зображення.

Одним із ефективних методів дослідження просторового розподілу кластерів можна вважати спектральний аналіз. У випадку, коли аналізується, наприклад, кристалічна ґратка, можна виявити характерні просторові частоти розподілу елементів ґратки. На векторизованому зображенні наявні лише інформативні елементи кластерної структури, на відміну від початкового растрового зображення електронної мікроскопії. Тому у досліджуваному спектрі просторових частот будуть відсутні складові, зумовлені

шумовими ефектами та неінформативними сегментами зображень. Як приклад розглянемо растрові поверхні атомної ґратки золота [5] (рис. 1). Послідовно застосуємо алгоритми розмиття зображення, бінаризації та агломеративної кластеризації.

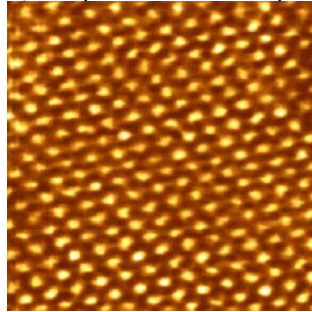


Рис. 1. Початкове растрове зображення поверхні атомної ґратки золота (111), (3нм)

Утворені кластери змодельовано у вигляді кругів, центри яких є середніми значеннями координат точок, які входять у ці кластери. Радіуси цих кругів визначають за формулою  $r = \sqrt{S/\pi}$ ; де  $S$  – площа круга, яка чисельно дорівнює кількості пікселів, що входять у цей кластер. Векторизоване зображення наведено на рис. 2. На цьому зображенні відфільтровано кластери радіусом меншим за 5 пікселів. Чисельні статистичні характеристики отриманої кластерної структури мають такі значення: кількість розпізнаних кластерів  $N_{cl}=257$ ; середній радіус кластерів  $R_{cl}=7,17\pm 1,36$  пікселів; координаційне число для околу радіусом 45 пікселів  $N_{cd}=7,17\pm 1,2$ ; Різний радіус кластерних елементів зумовлений особливостями отримання растрового зображення кристалічної ґратки. Тому для подальшого електронного аналізу використаємо векторне зображення із однаковими усередненими апроксимуючими моделями кластерів (рис. 3).

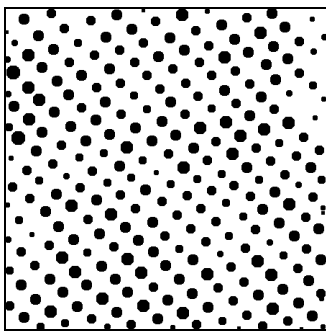


Рис. 2. Векторизоване зображення атомної ґратки золота

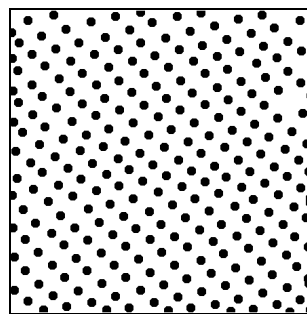


Рис. 3. Векторизоване зображення із усередненим радіусом кластерів

Проаналізуємо просторовий спектр отриманої кластерної структури за допомогою двовимірного перетворення Фур'є:

$$F(u, v) = \int \int_{-\infty}^{\infty} g(x, y) e^{-2\pi i(ux+vy)} dx dy. \quad (1)$$

На рис. 4 показано трьохвимірний просторовий спектр, отриманий шляхом реалізації двовимірного алгоритму швидкого перетворення Фур'є.

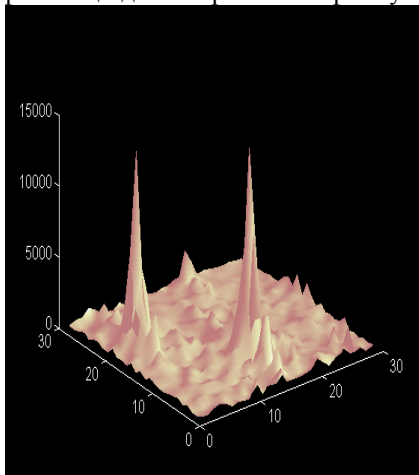


Рис. 4. Просторовий спектр кластерної структури

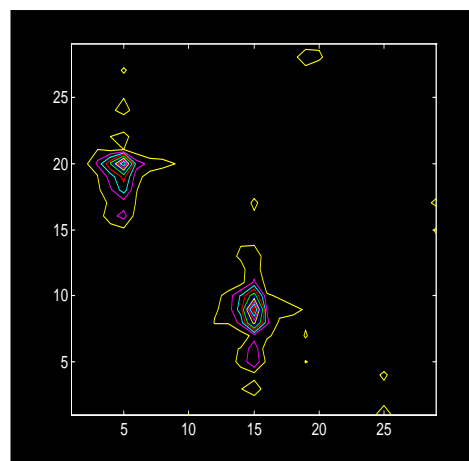


Рис. 5. Ізолінії просторового спектра

На рис. 5 наведено ізолінії однакових значень на спектрі просторових частот. Спостерігаються два чітких максимуми, які характеризують дві просторові частоти кристалічної ґратки по двох осях  $x$  і  $y$  площини початкового зображення. З рис. 5 за ізолініями можна чітко визначити величини складових просторових частот. Ціна поділок для осей –  $dx=0,0022px^{-1}$ ,  $dy=0,0023px^{-1}$ , де  $px$  – піксель зображення. Знаючи масштаб електронного зображення, можна легко перейти до розмірностей, прийнятих для зображень електронної мікроскопії. Чітка спектральна структура без шумових складових є результатом попередньої бінаризації і агломеративної кластеризації.

У деяких випадках суттєвим для аналізу є внутрішня структура кластерів, для якої характерна своя текстура. На рис. 6 наведено зображення структури біологічних мікрооб'єктів – рота вірусів [6]. Проведемо кластерний аналіз цього зображення. Бінаризацію проведемо за кольороподілом, виділяючи ті ділянки, для яких значення трьохколірного вектора розміщені у визначених межах. Виділені ділянки векторизуємо за допомогою алгоритму агломеративної кластеризації. Векторизоване зображення показано на рис. 7. Для цієї кластерної структури розраховані такі чисельні статистичні характеристики: кількість розпізнаних кластерів  $N_{cl}=59$ ; середній радіус кластерів  $R_{cl}=11,1\pm 1,34$  пікселів; координаційне число для околу радіусом 50 пікселів  $N_{crd}=5,40\pm 1,18$ .

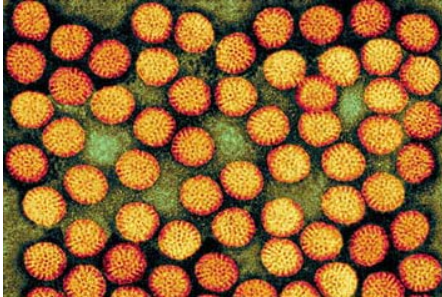


Рис. 6. Початкове растрове зображення ротавіруса (збільшення 82 000, TEM)

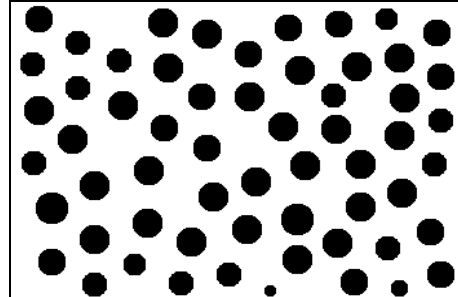


Рис. 7. Векторизоване зображення ротавіруса

Однак така кластеризація виділяє та векторизує області, в які об'єднуються елементи, близько розміщені один до одного. Цього недостатньо для аналізу, наприклад, мікробіологічних об'єктів, де є суттєвим також і внутрішня структурна текстура досліджуваних кластерів. Тобто, може виникати потреба відбору, наприклад, мікробіологічних об'єктів лише певного типу. Таку задачу можна розв'язати, застосовуючи алгоритми цифрової фільтрації за допомогою двовимірної цифрової згортки:

$$R_{ij} = \sum_{u, \vartheta} H_{u, \vartheta} F_{i+u, j+\vartheta}, \quad (2)$$

де  $F$  – початкове зображення,  $H$  – ядро фільтра,  $R$  – результуюче зображення. Коли ядро фільтра є матрицею, яка трансформується у зображення шуканого шаблону, тоді на результуючому відфільтрованому зображенні, у місцях збігу шаблону із сегментами зображення, знаходяться яскраві точки. Ці яскраві точки відповідають початку координат на шуканому шаблоні. Якщо ж збіг не є абсолютно точним, тоді такі точки перетворюються у розмиті світлі області. За яскравістю цих областей можна судити про степінь збігу сегментів зображень із шуканим шаблоном. Для нашого випадку обрано розмитий шаблон одного із досліджуваних біологічних мікрооб'єктів (рис. 8). На рис. 9 показано зображення, відфільтроване за допомогою дискретної двовимірної згортки (2). Світлі області відповідають розпізнаним за шаблоном сегментам. Рівень яскравості цих областей визначається рівнем збігу сегментів із шаблоном, як за зовнішнім розміром, так і за формою та внутрішньою текстурною структурою. Чорним кольором на цьому зображенні виділено найяскравіші області, трьохколірний вектор яких є в однакових наперед заданих межах. Саме у цих сегментах знаходяться мікробіологічні об'єкти, які найбільше відповідають заданому шаблону.

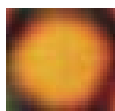


Рис. 8. Шаблон кластера

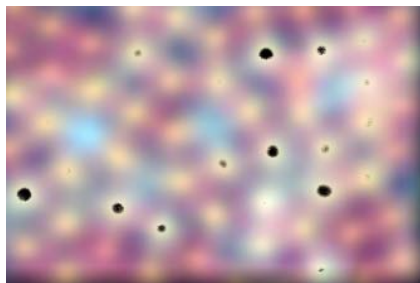


Рис. 9. Відфільтроване зображення із виділеними сегментами

Отже, векторизація растрових зображень методами агломеративної кластеризації є ефективним доповненням спектрального аналізу кластерної структури. З іншого боку, поєднання методів агломеративної кластеризації з методами цифрової фільтрації за допомогою цифрової згортки дає змогу поглибити аналіз кластерної структури через виділення сегментів із заданою структурною текстурою.

1. *Ким Д.О., Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р.* Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с.
2. *Жамбю М.* Иерархический кластер-анализ и соответствия: пер. с франц. М.: Финансы и статистика, 1988. 342 с.
3. *Анисимов Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К.* Распознавание и цифровая обработка изображений. М.: Высшая школа, 1983. 295 с.
4. *Павлишенко Б.М.* Векторизація кластерів на растрових зображеннях електронної мікроскопії // Вісн. Львів. ун-ту. Серія фіз. 2007. Вип. 40. С. 117–121.
5. Surface Physics Group // ел. ресурс: <http://ufrphy.lbhp.jussieu.fr/nano/index.html>
6. Science Stock Photography // ел. ресурс: [http://www.denniskunkel.com / product\\_info.php?products\\_id=9291](http://www.denniskunkel.com/product_info.php?products_id=9291)

## COMBINED ALGORITHMS OF CLUSTERS' ANALYSIS ON BITMAPPED

**B. Pavlyshenko**

*Ivan Franko Lviv National University  
Dragomanov Str., 50, UA-79005 Lviv, Ukraine*

Combined algorithms of clusters' structures analysis vectorization on bitmapped images of electron microscopy have been proposed. Numerical characteristics of described clusters system are calculated.

*Key words:* clusters, electron microscopy.

**КОМБИНИРОВАННЫЕ АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА КЛАСТЕРНЫХ  
СТРУКТУР НА РАСТРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ****Б. Павлышенко***Львовский национальный университет им. И.Франко  
ул. Драгоманова, 19, 79005 Львов, Украина*

Предложено комбинированные алгоритмы анализа кластерных структур на растровых изображениях электронной микроскопии. Рассчитаны численные характеристики рассмотренных кластерных систем.

*Ключевые слова:* кластер, электронная микроскопия.

Стаття надійшла до редколегії 17.12.2007

Прийнята до друку 20.07.2009