

УДК 538.911: 004.932.2

## НЕЛІНІЙНА ФІЛЬТРАЦІЯ ТА КЛАСТЕРИЗАЦІЯ РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЕЛЕКТРОННОЇ МІКРОСКОПІЇ

Б. Павлишенко, Р. Шувар.

*Львівський національний університет імені Івана Франка  
вул. Драгоманова, 50, 79005 Львів, Україна.*

Запропоновано алгоритми нелінійної медіанної фільтрації та кластеризації типових растрових зображень електронної мікроскопії.

*Ключові слова:* кластер, електронна мікроскопія.

Комп'ютерний аналіз растрових зображень – один із актуальних напрямів сучасної електронної мікроскопії. Перспективною є розробка алгоритмів фільтрації та кластерної векторизації елементів растрових зображень, отриманих за допомогою електронного мікроскопа.

Розглянемо алгоритми векторизації кластерів простої форми на типових зображеннях електронної мікроскопії. Загалом як кластери розглядаються сукупності елементів, згрупованих за визначеними класами із заданими параметрами, які змінюються у певних межах, характерних для кожного класу. На растрових зображеннях такими елементами будемо вважати пікселі зображення. Як параметри для групування ми вибрали відстань між пікселями та трискладовий вектор яскравості пікселів у триколірному графічному стандарті зображення BMP. Вибір метрики для вимірювання відстані між елементами кластерів у фазовому просторі параметрів кластеризації визначає алгоритми формування кластерів [1,2]. Для апробації алгоритмів фільтрації та кластеризації виберемо мікроскопічне растрове зображення поверхні CdI<sub>2</sub> (рис. 1) з наявними металічними кластерами [3].

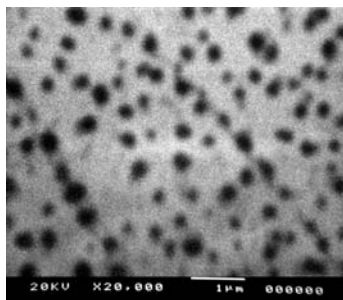


Рис. 1 Мікроскопічне растрове зображення поверхні CdI<sub>2</sub>.

Першим етапом у кластеризації зображення є початкова фільтрація зображення з метою усунення шумових завад. Для цього використовують лінійні згладжувальні фільтри із заданою апертурою, зокрема, гаусові фільтри. Однак в електронній мікроскопії часто спостерігається поряд із гаусовим шумом також імпульсний шум, зумовлений електронною схемою растрової розгортки. Цей шум проявляється на зображенні у вигляді хаотичних крапельок світлих та чорних точок. У разі застосування лінійних згладжувальних фільтрів шляхом реалізації двовимірної цифрової згортки кожна шумова точка буде робити внесок в усі елементи вікна фільтра, водночас спостерігатиметься розмиття меж інформативних сегментів зображення, що є недоліком такого типу фільтрації. Вдалим вирішенням цієї проблеми може бути використання нелінійного медіанного фільтра. У разі медіанної фільтрації також використовують обробку кожного пікселя зображення, а для оцінки значення – вікно фільтра з деяким радіусом. Значення яскравості всіх пікселів розміщують у порядку зростання і для оцінки вибирають значення центрального елемента в цій упорядкованій послідовності. Далі цей процес повторюють для наступної точки. На рис. 2 показано результати застосування медіанного фільтра з радіусом вікна фільтра 2 пікселі. Спостерігається значне усунення імпульсного шуму зі збереженням відносної чіткості кластерних меж.

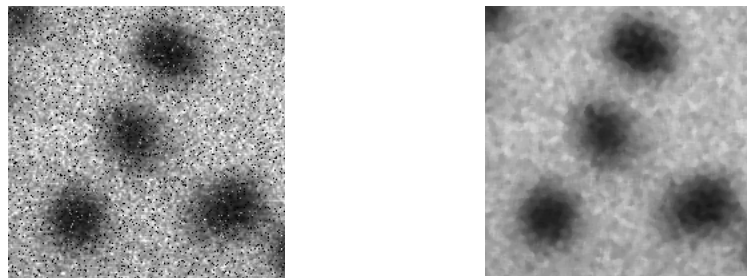


Рис.2. Елементи зображення до застосування медіанного фільтра (а) та після (б).

Наступним етапом у векторизації кластерів після усунення шумових завад є бінаризація зображення, яка полягає у виділенні елементів зображення, що відповідають заданим межах параметра яскравості [4]. Цей параметр визначає кількість елементів, які будуть входити у кластер, та кількість утворених кластерів. Залежність яскравості пікселів від кількості утворених кластерів та їхнє об'єднання відображають за допомогою графіків, які називаються дендрограмами. Для кластеризації елементів бінаризованого зображення було реалізовано один з агломеративних алгоритмів [1,2], який полягає у таких кроках: на першому кроці кожен активний піксель (на бінаризованому зображенні активні пікселі показані чорним кольором) вважають окремим кластером. Якщо відстань між двома кластерами не перевищує заданого порогового значення, то такі кластери об'єднують. Цей крок повторюється доти, доки не завершиться процес об'єднання кластерів. У підсумку реалізованого алгоритму кластеризації отримані масиви пікселів для кожного кластера були апроксимовані геометричними кругами. Координати центрів кругів визначали як середні значення координат пікселів масиву кожного кластера. Лінійні розміри кожного пікселя були вибрані

одиничними. Радіус круга кластера розраховувався з огляду на площу кластера, яка дорівнює сумі площ пікселів масиву кластера. Векторизоване зображення досліджуваної кластерної структури показано на рис. 3.

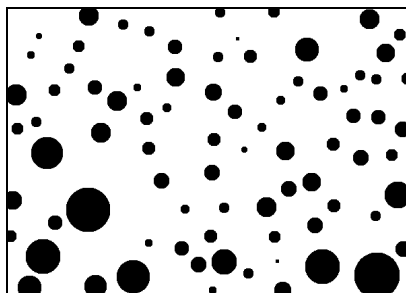


Рис. 3. Векторизоване зображення кластерів металічного кадмію на поверхні  $\text{CdI}_2$

Як кількісні характеристики кластерної структури можна розглядати розподіл густини кластерів за радіусом кластера та середній радіус кластерів. Для характеристики однорідності можна застосовувати відношення середньоквадратичного відхилення до мінімальної відстані між двома кластерами. Міру впорядкованості можна схарактеризувати відхиленням координаційного числа для деякого околу, тобто скільки сусідніх кластерів потрапляє в окіл заданого радіуса одного кластера. З урахуванням масштабу отриманого растрового зображення та його піксельного розміру знайдено лінійний розмір одного пікселя – 0,01 мкм. Для реальних розмірів зображення отримаємо такі значення числових характеристик кластерної структури: мінімальна відстань між кластерами за заданим напрямком  $S_{\min} = 0,58 \pm 0,38$  мкм; відносна похибка  $V_{\min} = 0,65$ ; координаційне число для околу радіусом  $R_{\text{срд}} = 0,6$  мкм –  $N_{\text{срд}} = 3,9 \pm 1,2$ , відносна похибка  $V_{\text{срд}} = 0,32$ .

Отже, з отриманих результатів впливає ефективність застосування нелінійного медіанного фільтра за наявності імпульсних шумів на растрових зображеннях. Запропонована методика та алгоритми кластеризації елементів на растрових зображеннях електронної мікроскопії дає змогу розраховувати низку числових характеристик досліджуваної кластерної структури.

1. Ким Д.О., Мьюллер Ч.У., Клекка У.Р. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989. 215 с. ил.
2. Жамбю М. Иерархический кластер-анализ и соответствия: пер. с фр. М.: Финансы и статистика, 1988. 342 с. ил.
3. Болеста І.М., Грицьків Р.І., Дацюк Ю.Р., Павлишенко Б.М. Електронно-мікроскопічні дослідження та комп'ютерний розрахунок числових характеристик металічних кластерів в кристалах  $\text{CdI}_2$  // Укр. фіз. журн. 2008. Т. 53, № 3, с. 251 - 256.
4. Анисимов Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К. Распознавание и цифровая обработка изображений. М.: Высшая школа, 1983. – 295 с., ил.

**NONLINEAR FILTRATION AND CLUSTERIZATION OF  
BITMAPPED IMAGES OF ELECTRON MICROSCOPY**

B. Pavlyshenko, R. Shuvar

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

Algorithms of nonlinear filtration and clusterization on bitmapped images of electron microscopy have been proposed.

*Key words:* clusters, electron microscopy.

**НЕЛИНЕЙНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ И КЛАСТЕРИЗАЦИЯ РАСТРОВЫХ  
ИЗОБРАЖЕНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ**

Б. Павлишенко, Р. Шувар

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко  
ул. Драгоманова, 19, 79005 Львов, Украина*

Предложены алгоритмы нелинейной медианной фильтрации и кластеризации типичных растровых изображений электронной микроскопии.

*Ключевые слова:* кластер, электронная микроскопия.

Стаття надійшла до редколегії 25.02.2009

Прийнята до друку 25.05.2009