

УДК 004.93

О.В. СПІРИНЦЕВА, П.С. СУХОРИКОВ
Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара**ЗАСТОСУВАННЯ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ В ОБРОБЦІ
ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ**

Досліджено можливість застосування фрактальної обробки до цифрових зображень з метою їх сегментації, а саме, для виділення контурів об'єктів цифрового багатоспектрального зображення. Спосіб двовимірної сегментації, що пропонується авторами, можна розглядати як альтернативний спосіб класифікації зображення за допомогою пакету прикладних програм MatLab.

Ключові слова: мультифрактальний аналіз, сегментація, цифрове зображення.

О.В. СПИРИНЦЕВА, П.С. СУХОРИКОВ
Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара**ПРИМЕНЕНИЕ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА В ОБРАБОТКЕ
ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Исследована возможность применения фрактальной обработки к цифровым изображениям с целью их сегментации, а именно, для выделения контуров объектов цифрового многоспектрального изображения. Предлагаемый авторами способ двухмерной сегментации можно рассматривать как альтернативный способ классификации изображения с помощью пакета прикладных программ MatLab.

Ключевые слова: мультифрактальный анализ, сегментация, цифровое изображение.

O.V. SPIRINTSEVA, P.S. SUKHORUKOV
Oles Honchar Dnipropetrovsk National University**FRactal ANALYSIS APPLICATION TO DIGITAL IMAGES PROCESSING**

The possibility of fractal analysis application to digital images with the view of their segmentation is studied. This task proposes the digital multispectral image object contour extraction. The method of two-dimensional segmentation suggested by authors could be considered as the alternative image classification method by means of MatLab application package.

Keywords: multispectral analysis, segmentation, digital image.

Постановка проблеми

Дані, отримані від обробки цифрових зображень, мають надзвичайно важливе значення в розвитку сучасних технологій, науки та техніки, а також велике народногосподарське значення. Методи обробки цифрових зображень безперервно розвиваються та вдосконалюються в частині покращення візуального сприйняття зображення, його попередньої обробки, знешумлення, сегментації та класифікації зображень з метою виділення об'єктів інтересу.

Із стрімким розвитком комп'ютерних технологій особливу популярність дістали фрактали та фрактальний аналіз на їх основі. Оскільки фрактал, як геометричний об'єкт, має нетривіальну структуру на всіх масштабах, є самоподібним та має розмірність відмінну від топологічної, то сфера досліджень фракталів та їх застосування в науці та техніці виявляється цікавою, зокрема в області обробки цифрових зображень. Таким чином, доцільно досліджувати методи сегментації цифрових зображень, розроблені за допомогою методів фрактального аналізу, зокрема із застосуванням поточної експоненти Гельдера.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Теорія фракталів як потужний математичний інструмент, запропонована Мандельбротом [1], знайшла широке застосування в багатьох сферах природничих наук. Підхід мультифрактальної сегментації зображень не є параметричним та аналізує зображення за допомогою деяких особливостей його мультифрактального спектру [2]. Безумовно, цілком можливо використовувати Weakly Self Affine functions [3] з метою моделювання та сегментації зображень, також як і використовувати мультифрактальні інструменти сегментації одновимірних сигналів. Актуальним є дослідження методу моделювання, що адаптований до виконання двовимірної сегментації.

Формулювання мети дослідження

Фрактальний аналіз цифрових зображень дозволяє здійснювати таку процедуру обробки як сегментація зображення з метою розділення його на складові частини або об'єкти за необхідним рівнем деталізації. Метою роботи є розробка нового способу сегментації та дослідження його властивостей, а саме

виділення контурів об'єктів цифрового багатоспектрального зображення. Цей спосіб можна розглядати як альтернативний спосіб класифікації зображення за допомогою пакету прикладних програм MatLab [4].

Викладення основного матеріалу дослідження

Ефективність комп'ютерної обробки цифрових зображень залежить від адекватності моделі, що описує зображення, необхідної для розробки алгоритмів обробки. Модель зображення представляє собою систему функцій, які описують істотні характеристики зображення: функцію яскравості, що відбиває зміну яскравості в площині зображення, просторові спектри й спектральні інтенсивності зображень, функції автокореляції [5].

Фрактал є математичною множиною, що володіє властивістю самоподібності: об'єкт в точності або наближено збігається з частиною себе самого, тобто ціле має ту ж форму, що і одна або більше частин. Фрактал – це сукупність точок в евклідовому просторі, які мають дробову метричну розмірність (в сенсі Мінковського або Хаусдорфа), або метричну розмірність, відмінну від топологічної, тому їх слід відрізнити від інших геометричних фігур, обмежених кінцевим числом ланок [6, 7].

Принцип сегментації зображення з метою аналізу і класифікації об'єктів інтересу на зображенні полягає у розділенні зображення на складові частини або елементарні об'єкти. Рівень деталізації поділюваних областей залежить від розв'язуваної задачі. Наприклад, коли об'єкт інтересу перестає зберігати цілісність, розбивається на більш дрібні складові частини процес сегментації варто припинити. Алгоритми сегментації зображень найчастіше базуються на розриві і подібності значень яскравості на зображенні. Підхід розривів яскравості базується на основі різких змін значень яскравості, підхід подібності – на поділі зображення на області, подібні згідно з рядом заздалегідь визначених критеріїв. Таким чином, вибір алгоритму сегментації зображення безпосередньо залежить від проблеми, яку необхідно вирішити. Виявлення меж є частиною сукупності методів сегментації зображень, оскільки ефективність вирішення багатьох завдань обробки зображень і комп'ютерного зору часто залежить від якості виділених контурів об'єктів інтересу [8].

Принцип сегментації зображення на основі мультифрактального аналізу полягає в наступному. Згідно з [9], інтуїтивно зрозуміло, що пікселі зображення можуть бути класифіковані за показником чи експонентою Гельдера (відомий як експонента Ліпшиця). Це характеристика регулярності розподілу рівнів яскравості по полю зображення. Поточкова (локальна) експонента Гельдера відображає локальну регулярність, яка пропорційно залежить від поточної величини експоненти. Наприклад, точки, які належать контурам об'єкту, часто відповідають областям зосереджених неоднорідностей карти рівнів сірого. Такі точки взагалі мають низьку гелдерову закономірність. При цьому точне значення показника Гельдера залежить від характеристик зображення. Насправді, точки текстурних областей також взагалі мають низьку закономірність, тому є необхідність відрізнити їх від точок контурів.

Досліджуваний алгоритм сегментації на основі мультифрактального спектру має наступні етапи:

- поточкове обчислення зображення, пікселями якого є розрахункові значення експонент Гельдера у відповідних точках вихідного зображення у відтінках сірого; це отримане зображення описує локальні закономірності вихідного зображення. Експонента Гельдера в певній точці оцінюється з бі-логарифмічного графіку залежності $\ln(Mi(m, n))$ від $\ln(i)$, де $Mi(m, n)$ – сума значень пікселів в околиці даного пікселю з просторовими координатами (m, n) обраного розміру i . Граничне значення поточної експоненти Гельдера оцінюється як кут нахилу прямої лінійної регресії на цьому бі-логарифмічному графіку [10, 11].

- обчислення мультифрактального спектру Хаусдорфа на основі зображення експонент Гельдера;

- обчислення шуканого зображення на основі сукупності зображення експонент Гельдера та відповідного йому мультифрактального спектру шляхом вибору певного типу точок, встановлюючи потрібний поріг, відповідний певним значенням спектру. Шукане зображення відображає глобальні закономірності вихідного зображення та являє собою результат процесу сегментації зображення.

Слід зазначити, що під час обробки розглядалися декілька способів пошуку експонент Гельдера, відомі як Minimum (Min), Maximum (Max), Sum, Iso, Adoptive Iso Holder exponent capacities [10, 11]. Найбільш цікаві результати сегментації у відповідності до цих способів наведені далі у статті.

З метою дослідження алгоритму сегментації у якості тестового використано зображення, яке наведене на рис. 1.



Рис. 1. Вихідне цифрове зображення

Вихідне цифрове зображення є багатоспектральним зображенням та може бути представлено як сукупність трьох каналів, які відповідають червоному, зеленому та синьому кольорам електромагнітного спектру видимого проміння (рис. 2).

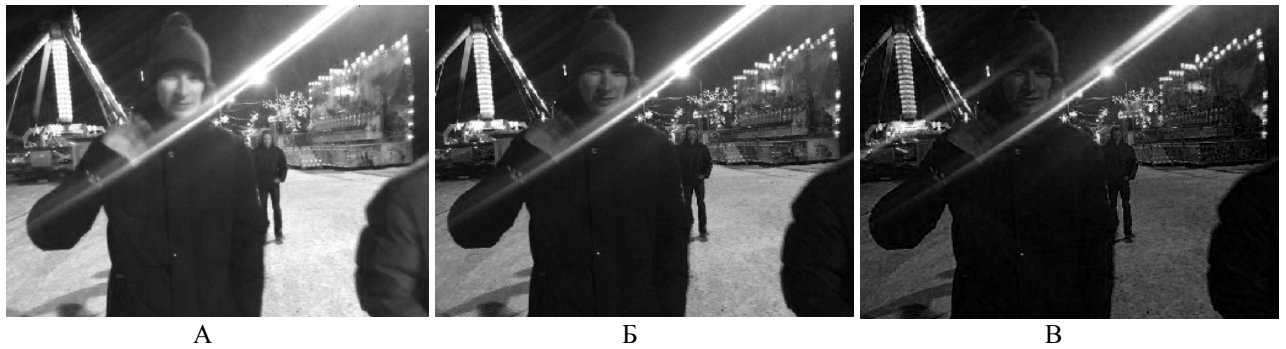


Рис. 2. Вихідне зображення, представлено по каналах

Поточкові значення експонент Гельдера, розраховані за переліченими вище способами, наведені у вигляді зображень у табл. 1 у відповідності до номеру каналу. Відповідні чисельні значення, а саме середні значення експоненти Гельдера по зображенню у відповідності до номеру каналу наведені у табл. 3.

Таблиця 1

Зображення поточкових експонент Гельдера

1* 2*	1	2	3
Max			
Min			
Iso			

*1 – номер каналу, 2 – спосіб розрахунку експоненти Гельдера

З табл. 1 видно, що для зображення першого каналу при застосуванні способу "Max" отримано найбільш якісне виділення контурів у порівнянні зі способами "Min" та "Iso". Порівняно з першим каналом, на другому каналі при застосуванні способу "Max" видно (табл. 1), що зображення контурів стало ще більш

візуально виразним. На зображеннях експонент Гельдера для третього каналу багатоспектрального зображення при застосуванні наведених способів обчислення найкращим чином виділені контури дрібних об'єктів та більша кількість деталей.

Додатково з метою уточнення результатів обробки для зображень експонент Гельдера були обчислені ряд стандартних характеристик, таких як коефіцієнт кореляції між відповідними вихідними зображеннями та зображеннями експонент Гельдера, середньоквадратичне відхилення та середнє значення просторових розподілів рівнів яскравості отриманих зображень, а також інформаційна ентропія для зображень експонент Гельдера. Але з причин обмеженого обсягу статті ці дані наведені неповністю (табл. 3).

У табл. 2 наведені зображення, які представляють собою результати сегментації у відповідності до трьох каналів багатоспектрального зображення при застосуванні способів обчислення експоненти Гельдера "Min" та "Max" за різних порогових значень.

Таблиця 2

Результати сегментації

1* 2	1	2	3
0.75;1.25			
1.00;1.40			
1.50;2.00			

*1 – номер каналу, 2 – порогове значення сегментації

З табл. 2 видно, що при сегментації зображення на першому каналі контур зображення поліпшується, дрібні деталі при цьому зникають. На зображеннях, що відповідають другому каналу, контур об'єктів інтересу найбільш виразний в порівнянні з зображеннями, які відповідають першому та третьому каналам. Порівняно з зображеннями першого та другого каналів, на зображенні результату сегментації зображення третього каналу чітко проявилися дрібні деталі.

Аналогічно з метою оцінки та доповнення результатів сегментації були обчислені стандартні характеристики цифрових зображень: коефіцієнт кореляції між відповідними вихідними зображеннями та зображеннями результатів сегментації, середньоквадратичне відхилення та середнє значення просторових розподілів рівнів яскравості отриманих зображень сегментації, а також інформаційна ентропія для зображень сегментації (табл. 4-7).

Таблиця 3

Середнє значення експоненти Гельдера

2* \ 1*	1	2	3
Max	25.8889	33.5734	59.7446
Min	26.2467	35.1115	82.7212
Iso	240.3539	240.5928	240.9034
adop. iso	249.1197	249.1101	249.0711

* 1 - номер каналу; 2 - спосіб обчислення експоненти Гельдера

Таблиця 4

Коефіцієнт кореляції

2* \ 1*	1	2	3
0.75; 1.25	0.9078	0.9178	0.9232
1.00; 1.40	0.9325	0.9385	0.9223
1.50; 2.00	0.8643	0.8747	0.8834

* 1 - номер каналу; 2 - поріг сегментації

Середньоквадратичне відхилення

2* \ 1*	1	2	3
0.75; 1.25	0.24	0.32	0.3011
1.00; 1.40	0.29	0.37	0.33
1.50; 2.00	0.36	0.43	0.42

* 1 - номер каналу; 2 - поріг сегментації

Таблиця 5

Таблиця 6

Середнє значення

2* \ 1*	1	2	3
0.75; 1.25	0.06	0.12	0.10
1.00; 1.40	0.09	0.17	0.12
1.50; 2.00	0.84	0.74	0.75

* 1 - номер каналу; 2 - поріг сегментації

Інформаційна ентропія

2* \ 1*	1	2	3
0.75; 1.25	0.33	0.53	0.47
1.00; 1.40	0.46	0.66	0.55
1.50; 2.00	0.63	0.81	0.80

* 1 - номер каналу; 2 - поріг сегментації

Таблиця 7

Висновки

Здійснена мультифрактальна сегментація багатоспектрального цифрового зображення шляхом обчислення поточної експоненти Гельдера та мультифрактального спектра цього зображення. Проміжні та остаточні результати оцінені за допомогою стандартних характеристик цифрових зображень, які запроваджені в середовищі MatLab. Проведена візуальна оцінка результатів підтверджується чисельними розрахунковими даними.

Подальші дослідження сегментаційної обробки за допомогою фрактального аналізу доцільно виконувати в частині попереднього знешумлення вихідного багатоспектрального зображення, у тому числі фрактальними методами знешумлення. Також варто розглянути тему об'єднання та продовження контурів об'єктів інтересу, які зазнали розриву під час виконання грубої сегментації.

Список використаної літератури

1. Mandelbrot B.B. Fractional Brownian motions, fractional noises and applications / B.B. Mandelbrot, J.W. Van Ness // SIAM Rev. 10 (4). – 1968. – PP. 422–437.
2. Levy-Vehel J. Thinking in Patterns / J. Levy-Vehel, P. Legrand // Signal and Image Processing with FracLab. – 2004. – PP. 321–322.
3. Levy-Vehel J. Weakly Self Affne Functions and Applications in Signal Processing / J. Levy-Vehel // CUADERNOS del Instituto de Matematica "Beppo Levi". – 2001. – PP. 35–49.
4. Gonzales R.C. Digital Image Processing Using MATLAB / R.C. Gonzales, R.E. Woods, S. Eddins. – Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. – 2004. – 492 p.
5. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера. – 2005. – 1072 с.
6. Морозов А.Д. Введение в теорию фракталов / А.Д. Морозов. – Москва – Ижевск: Институт компьютерных исследований. – 2002. – 162 с.
7. Божокин С. В. Фракталы и мультифракталы / С.В. Божокин, Д.А. Паршин. – Ижевск: "РГД", 2001. – 128 с.
8. Фисенко В. Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений / В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко. – СПб: СПбГУ ИТМО. – 2008. – 192 с.
9. Trujillo L. The Estimation of Holderian Regularity using Genetic Programming / L. Trujillo, P. Legrand, J. Levy-Vehel // GECCO. – 2010. – PP. 861–686.
10. Lévy-Véhel J. Multifractal segmentation of images / J. Lévy-Véhel, P. Mignot // Fractals. – 2004. – Vol. 2. – №. 3. – PP. 379–382.
11. Stojic T. Adaptation of multifractal analysis to segmentation of microcalcifications in digital mammograms / T. Stojic, I. Reljin, B. Reljin // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. – 2006. – Vol. 367. – №. 15. – PP. 494–508.