



ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ВІЗУАЛЬНИХ ОБРАЗІВ ПАКЕТОМ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ

Роман Мельник ¹⁾, Юрій Роман ²⁾

¹⁾ Національний університет “Львівська політехніка”,
вул. С.Бандери, 12, м. Львів, 79013, gamelnyk@polynet.lviv.ua

²⁾ Національний університет “Львівська політехніка”,
вул. С.Бандери, 12, м. Львів, 79013, bitawa@gmail.com

Резюме: стаття містить результати дослідження впливу графічного формату файлу зображення на кількісну оцінку зміни коефіцієнтів структуризації образу, впливу на якість зображення його деформування та відновлення графічним редактором, а також виявлення змін в структурі зображення, зумовлених процесам руйнування. За базовий інструмент дослідження прийнято пакет кластеризації візуальних образів.

Ключові слова: кластеризація, формат зображення, структурні зміни, коефіцієнт структуризації.

ВСТУП

Постановка задачі декомпозиції образів. Методи кластерного аналізу широко застосовують для декомпозиції, дослідження та розпізнавання зображень [1- 5]. Зокрема, праця [1] містить класифікацію методів кластеризації та спосіб формування контурів виділених кластерів. Праці [2 – 4] присвячені кластеризації графових моделей, якими відображають частини зображень. До зображень застосовано підхід кластеризації експериментальних даних, на які накладено сітку з певним кроком. Наведені праці, як і інші, не містять засобів керування алгоритмами, такими як крок сітки чи яскравість формованих кластерів. Вони базуються на одному етапі кластеризації. Особливістю представленої роботи є дослідження структурних змін у візуальних образах, зумовленими різними причинами, на основі програмного пакета кластеризації. Пакет розроблено на кафедрі програмного забезпечення НУ “Львівська політехніка” на базі трирівневої кластеризації цифрових зображень: покриття прямокутниками та формування з них кластерів неправильної форми (регіонів та областей) [5-7].

Для покращення та декомпозиції зображень використовують різні підходи, зокрема, оцінка локальних характеристик фрагментів зображення, виділення областей спеціальної кривизни чи кластеризація за критеріями статистичних залежностей [1]. Дана робота присвячена декомпозиції за абстрактними

геометричними критеріями. В залежності від типу задачі останні набирають різного фізичного змісту. В роботі формалізація опису візуальних образів досягається розбиттям їх на прямокутники, що дозволяє їх коректувати, розбивати на фрагменти, зменшувати розмір файлів для опрацювання.

Метою роботи є дослідження залежностей коефіцієнтів структуризації кластеризації від якості зображення, методів їх стиснення та структурних змін на образах. Розглянуто графічний формат JPEG та кластеризацію зображень даного формату у порівнянні з іншими графічними форматами.. Розроблено програмний засіб, який дозволяє візуально зафіксувати різницю між кластеризованими зображеннями до та після зміни їх структури.

1. АЛГОРИТМ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ОБРАЗІВ

Згорання 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 обмеженням певного виду. Значення функцій ознак мікрокластерів, що формуються, відповідають за яскравість, колір, співвідношення заповнених та пустих клітинок

тощо. Вершини, що не підлягають подальшому згортанню, відповідають кластерам результату.

Кластеризація здійснюється процедурою, на i -му кроці якої формується множина X_{i+1} вершин дерева (крім початкових мікрооб'єктів X_1), і представляється так:

$$(\forall Q_k, Q_j \in X_i) [F^*(Q_k, Q_j) = \text{opt } F(X^*)], \\ X^* \in D$$

$$(\forall Q_e = Q_k \cup Q_j \in B_i), \\ C_i = X_i \setminus Q_e$$

де D – клас допустимих рішень, а множина B_i утворюється на основі новоутворених вершин, які задовольняють найкращим значенням функції критерію $F(X^*)$. Крім того, в цю множину входять вершини множини C_i попереднього рівня, які не об'єднувались, тобто

$$X_{i+1} = B_i \cup C_i. \quad (2)$$

Приклад формування множин кластерів на різних рівнях дерева наведено на рис.1. Зауважимо, що новоутворені фрагменти образів позначаємо також символом Q_{N+k} з індексом, більшим за кількість мікрооб'єктів N .

Об'єднання двох мікрокластерів відбувається, якщо функція для них приймає мінімальне значення

$$F^* = \min (F_{kj}), \quad k, j \in I, \quad (3)$$

де I – множина всіх можливих пар початкових мікрооб'єктів, мікрокластерів та їх комбінацій. Критерієм об'єднання прямокутників приймається кількість суміжних між прямокутниками клітинок і прямокутна форма мікрокластера в результаті об'єднання.

Послідовність кроків алгоритму згортання є наступною:

1. Розбиття простору. Накладання на образ сітки кроком з ряду $1 \times 1, 2 \times 1, 2 \times 1, \dots, N \times M$, та формування мікрооб'єктів (MO) (заповнених клітинок).
2. Для кожного MO пошук сусіда справа та знизу.
3. Занесення у список кандидатів на об'єднання (CKO) двох MO , якщо при об'єднанні вони формують кластер (MK) прямокутної форми і який відповідає вимозі наповнення.
4. Видалення зі CKO повторень: для кожної пари списку перевірка входження у інші пари елементів, з яких вона складається. Видалення пар при їх наявності. Наприклад, у списку $(a,b), (b,c), (a,d), (d,f)$ пари $(a,d), (b,c)$ будуть видалені.

5. Побудова мікрокластерів вищого рівня на основі CKO .
6. Повторення попередніх кроків зз заміною MO на MK до повного покриття образу прямокутниками.

На рис.1 зображено приклад роботи процедури згортання. Після накладання сітки на образ утворено 11 мікрооб'єктів (рис.1a). На першому кроці алгоритму об'єднуються мікрооб'єкти $(3,4)=12, (5,6)=13, (7,8)=14, (10,11)=15$ (рис.1b), (1) на другому кроці – $(13,14)=16$ (рис.1c). Цей процес зображено деревом згортання на рис.1.d.

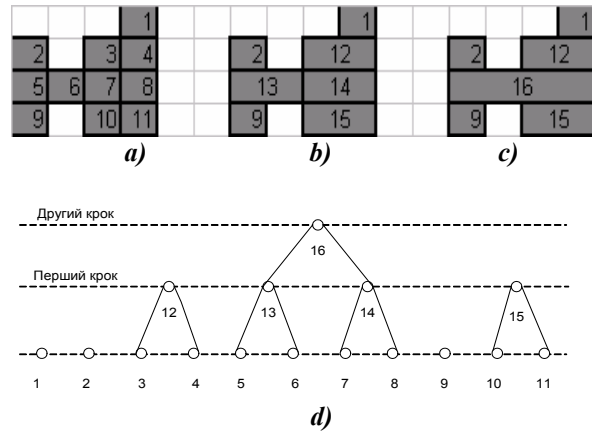


Рис.1 – Приклад згортання.

Введемо деякі інтегральні характеристики вхідних та кластеризованих образів. Позначимо: S_o – як площа образу, що дорівнює кількості чорних пікселів, $S_{ок}$ – площа образу, отриманого покриттям прямокутниками. При безвтратній кластеризації маємо $S_{ок} = S_o$.

При відкиданні надмірної чи шумової інформації корисно розглянути випадок $S_{ок} < S_o$. Процедuru відкидання назвемо очищенням образу (огрубленням), що відповідає фільтруванню тонких ефектів зображення. Протилежним є випадок $S_{ок} > S_o$. Процедuru доповнення пікселів до образу назвемо корекцією образу. В даному випадку приймаємо, що раніше шумом в опрацьованому образі знищені певні чорні пікселі і його картина не відповідає реальній. В обох випадках замість поданого образу після кластеризація з змінами надає певні наближення.

Обчислювальні затрати даного алгоритму визначаються кількістю об'єднань при побудові прямокутників та кількості підрахунків функції критерію. Для найгіршого випадку, коли об'єднань буде $2N-1$ складність алгоритму перевищує значення $O(N^2)$.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН В СТРУКТУРІ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ФОРМАТУ ОБРАЗУ

Зображення відрізняються між собою внутрішньою організацією пікселів згідно існуючих методів внутрішньої компресії для різних форматів файлів.

За вхідне зображення взято фотографію структури дерева (рис.2). Зображення є достатньо складним і містить тонові переходи, що характеризують тріщини в структурі дерева.



Рис. 2 – Зображення структури дерева.

Для досліджень прийнято програму для перегляду графічних файлів XnView [8].

Розмір прикладу тестового зображення по ширині і висоті – 537x358 пікселів, модель кольорів – RGB, бітів на піксель зображення – 24 біт, розширення – 100 пікселів/дюйм.

Для кластеризації зображень було використано програму RTClusters.NET.exe [7].

На рис.3 наведено зображення структури дерева: рис.3а – відповідно після етапу кластеризації, рис.3б – результати кластеризації з позначенням яскравості сегментів, рис. 3с – виділення зв'язних областей (регіонів), позначених різними кольорами (на даному чорно-білому рисунку не видно).

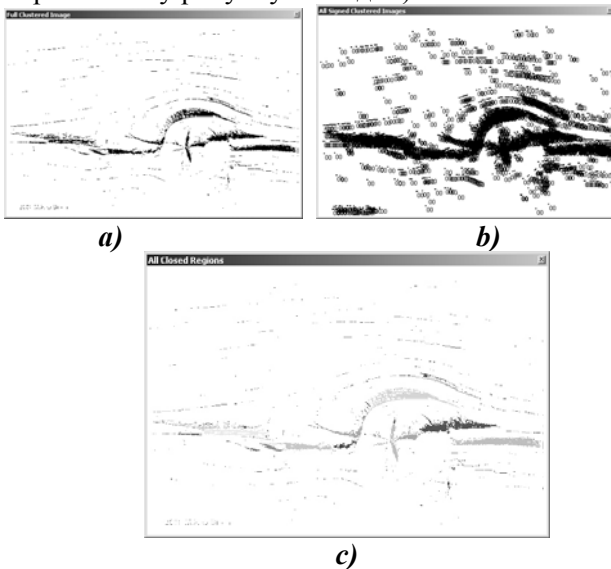


Рис. 3 – Результати кластеризації зображення структури дерева.

Найбільш чутливим для кластеризації виявився графічний формат JPEG [9], оскільки при збільшенні рівня компресії (внутрішнє стиснення представлення пікселів на образі) найбільше небажаних шумів з'являється саме у ньому (рис. 4). Для порівняння, при дослідженні інших популярних у використанні графічних форматів – GIF, PNG, BMP, TIFF – окрім зміни розміру досліджуваного файлу, кількісних та якісних змін в структурі образів виявлено не було.

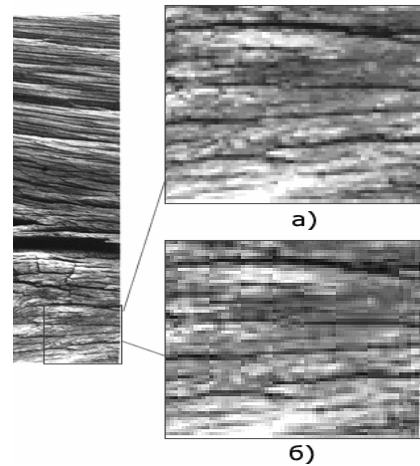


Рис. 4 – Візуальне відображення при а) 100 % та б) 10 % якості (виділені фрагменти збільшено в 3 рази)

Найоптимальнішим для використання пропонується вважати графічний формат PNG – цьому сприяють відкритість формату для дослідження та використання (т.зв. Open License), відносно малий розмір при достатній якості, що є суттєвим для передачі зображень мережею Інтернет, та хороші перспективи подальшого розвитку та оптимізації..

Для оцінки кластеризованого зображення введемо поняття коефіцієнта ступеня структуризації зображення:

$$K_s^2 = C / CR$$

або

$$K_s^1 = MC / C$$

та обернену величину – коефіцієнт ступеня розмитості зображення:

$$K_r^2 = CR / C$$

або

$$K_r^1 = C / MC$$

де MC – кількість мікрокластерів, C – кластерів, CR – зв'язних регіонів. Індекси коефіцієнтів вказують на рівень кластеризації: 1 – від мікрокластерів до кластерів, 2 – від кластерів до зв'язних областей (регіонів).

Введемо також повний коефіцієнт структуризації

$$K_s^3 = K_s^1 * K_s^2,$$

У таблиці 1 наведено результати кластеризації для формату JPEG після зміни (зменшення) рівня якості вхідного зображення і відповідної компресії зображення. Дані таблиці вказують, що із зменшенням якості зображення коефіцієнт розмитості зображення збільшується і, відповідно, коефіцієнт структуризації зменшується. в порівнянні з початковим зображенням. Коефіцієнт встановлюється характеристиками графічного редактора (чи використовуваного переглядача графічних файлів.

Таблиця 1. Вплив рівня якості зображення (формат JPEG) на кількість кластерів

Якість (%)	MC	C	CR	K_r^2	K_s^2
100	6200	1865	658	0,353	2,833
80	6164	1957	715	0,365	2,740
60	6192	2047	804	0,393	2,545
40	6135	1970	780	0,396	2,525
20	6024	1843	772	0,419	2,387
10	6054	1607	736	0,458	2,183

Рис. 5 демонструє різницю пікселів кластеризованих зображень структури дерева з рис.2 з якостями 100% і 10%:

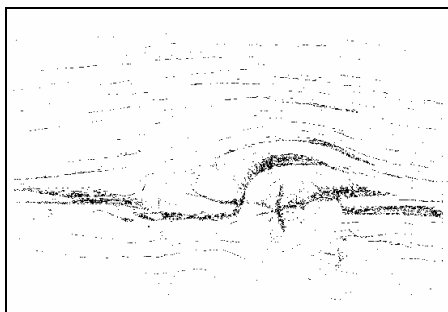


Рис. 5 –Різниця між кластеризованими зображеннями.

Для підтвердження можливості використання коефіцієнтів структуризації для оцінки структурованості зображення чи змін у них наведемо зображення відбитку пальців, з фрагментами з якостями 100% та 10%, збільшеними в 3 рази (рис. 6), а також надлишкові дані, які з'явилися після зменшення рівня якості (рис. 7):



Рис. 6 – Відбиток пальця: а – 100% якості, б – 10%.

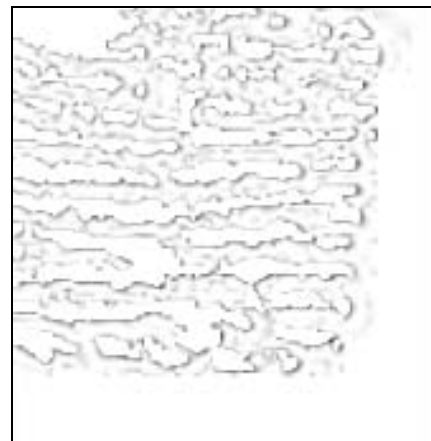


Рис. 7 – Надлишкові пікселі при зміні якості.

В таблиці 2 наведено результати структурних змін в зображенні, отримані пакетом кластеризації.

Таблиця 2. Вплив рівня якості зображення на їх структуризацію (формат JPEG)

Якість (%)	MC	C	CR	K_r^2	K_s^2
100	20756	5941	930	0,157	6,388
50	17239	7382	1269	0,172	5,817
10	13997	5441	1317	0,242	4,131

3. ВИЯВЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ НА ТЕСТОВОМУ ЗРАЗКУ СТРУКТУРИ ДЕРЕВА

Нанесемо з допомогою графічного редактора MS Paint (формат зображення – BMP) на зображення структури дерева у довільному порядку тріщини – умовні пошкодження (рис.8):

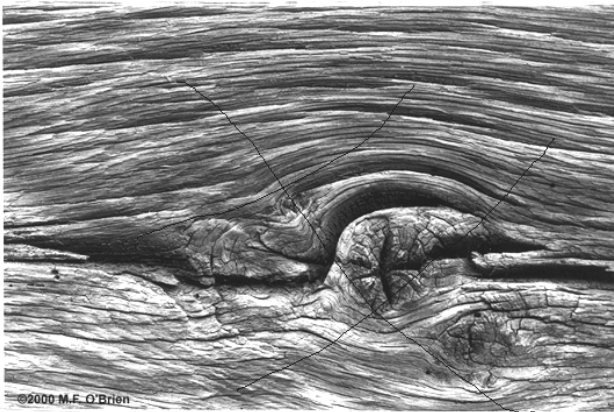


Рис. 8 – Пошкоджена структура дерева.

На зображенні з рис.8 важко побачити пошкодження та тріщини, тоді як пакетом кластеризації отримуємо зображення з інформацією про пошкодження (рис. 9):

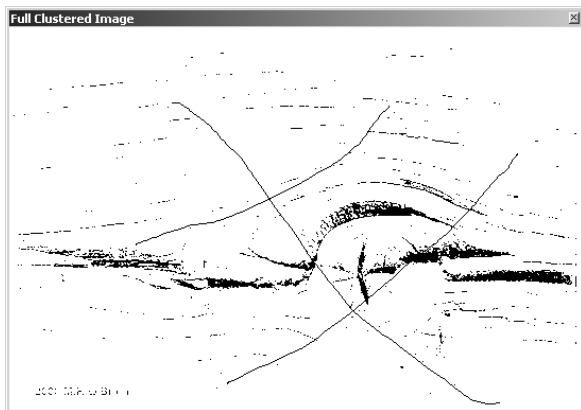


Рис. 9 – Структура дерева з пошкодженням (за результатами кластеризації).

Структурні зміни фіксуються також на кількісних характеристиках результатів кластеризації пошкодженого зображення (табл.3) в порівнянні з початковим.

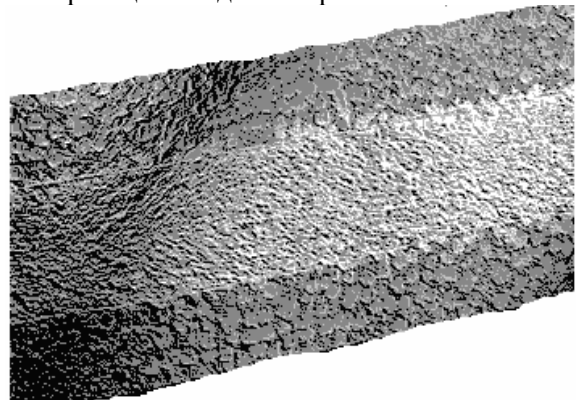
Таблиця 3. Характеристики структур зображення до і після зміни нанесення змін

Зображення	MC	C	CR	K_r^2	K_s^2
до зміни	6200	1865	658	0,353	2,83
після зміни	7063	2403	640	0,266	3,76

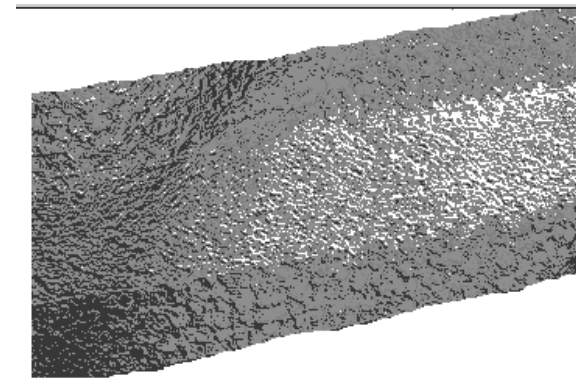
4. ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ ЗМІН В ОБРАЗАХ ПРИ ЇХ ДЕФОРМАЦІЇ

Пакет кластеризації дозволяє здійснювати дослідження змін у зображеннях, що підлягали масштабуванню чи деформації. На рис. 10а представлено зображення структури композитного матеріалу, а на рис. 10б наведено результат кластеризації пакетом.. Структура матеріалу була деформована у графічному редакторі MS Paint і у ньому ж відновлена. Коефіцієнт деформації (зменшення) становив 1.5

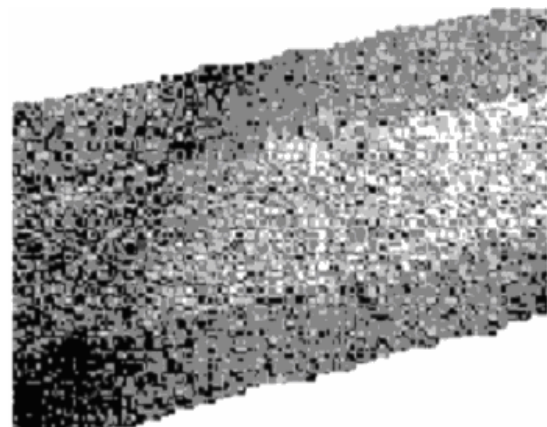
Деформоване зображення структури композитного матеріалу наведено на рис. 10в. Деформоване зображення за результатами кластеризації наведено на рис. 10г.



а)



б)



в)

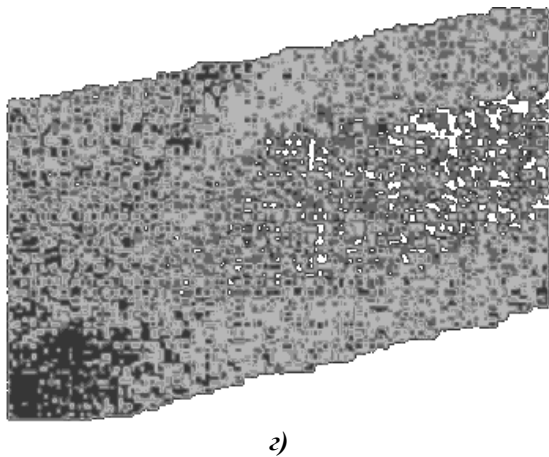


Рис. 10 – Структура композитного матеріалу (а, б – до деформації, в,г – після деформації).

Зафіксуємо отримані кількісні характеристики результатів кластеризації пошкодженого зображення (табл.4) в порівнянні з початковим:

Таблиця 4. Характеристики структур зображення до і після зміни

Знімок	MC	C	CR	K_s^1	K_s^2
Початковий	58243	25600	5011	2,27	5,01
1,5х-кр.деф.	65445	53519	47945	1,22	1,17

Результати таблиці вказують на значну зміну коефіцієнтів структуризації зображення при його деформації. Зміни в загальному коефіцієнті структуризації для різних зображень ще суттєвіші: $K_s^3 = 11.35$ $K_s^3 = 1,43$.

5. ВИСНОВКИ

Досліджено сучасні програмні засоби для редагування графічних файлів. Результати їх алгоритмів компресії не видимі для ока, проте вони мають достатній вплив на внутрішнє представлення пікселів графічних файлів. Найбільше втрат/надлишкових даних на образі за результатами кластеризації спостерігається по контурах об'єктів, а точніше – в регіонах різкого переходу кольорів.

Пакет кластеризації за зображеннями дозволяє виявити ефекти зміни структури об'єкту чи матеріалу, що підлягає масштабуванню чи руйнуванню.

Розглянуто використання формату JPEG для задач кластеризації, виявлено його основні недоліки (ефект Гіббса при зменшенні якості зображення, закритий для досліджень формат).

Підтверджено, що з допомогою розробленого пакету кластеризації візуальних образів можна

зафіксувати незначні зміни, які відбуваються в зображеннях з причин різної фізичної природи.

6. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Andy M Yip, Chris Ding, Tony F.Chan. Dynamic Cluster Formation Using Level Set Methods // *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 2006. – 28, № 6. – P. 877–889.
- [2] Grady Leo, Schwartz Eric. Isoperimetric Graph partitioning for Image segmentation // *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 2006. – 28, № 3. – P. 469–475.
- [3] Pavan M, Pelillo M. Dominant sets and Pairwise Clustering // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 2007. – 29, № 1. – P. 167–172.
- [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., Дівеєв І. Б. Кластеризація образів як інструмент для їх апроксимації та кодування // *Відбір та обробка інформації*. – 2006. – Вип. 25 (101). – С. 99–102.
- [6] Melnyk R., Tushnytskyu R. Застосування пакету кластеризації образів для оцінювання показників стану крові // *Вісник НУЛП "Комп'ютерні системи проектування. Теорія і практика"*. – 2007 р.– № 591.– С.28–33.
- [7] Melnyk Roman, Tushnytskyu Ruslan. Decomposition of Visual Patterns // *Досвід розробки та застосування приладотехнологічних САПР в мікроелектроніці: Матеріали ІХ Міжнар. наук.-техн. конф. CADSM 2007*. – Львів, 2007. – С. 278–279.
- [8] Сайт програми перегляду графічних файлів XnView. <http://www.xnview.com>
- [9] Digital compression and coding of continuous-tone still images, Part 1: Requirements and guidelines. ISO/IEC JTC1 Draft International Standard 10918-2. – Nov. 1991. – P. 2.



Мельник Роман Андрійович, доктор технічних наук, професор кафедри програмного забезпечення НУ "Львівська політехніка". Закінчив Львівський Державний університет ім. І. Франка, фізичний факультет, спеціальність радіофізика та електроніка.

Наукові інтереси: комбінаторні задачі неpolіноміальної складності, методи нечіткої кластеризації та накладання макромоделей, кодування та розпізнавання візуальної інформації, зберігання та ефективний пошук даних великих обсягів.



Роман Юрій Сергійович, аспірант кафедри програмного забезпечення НУ "Львівська політехніка". Закінчив НУ "Львівська політехніка", інститут Комп'ютерних наук та інформаційних технологій, спеціальність програмне забезпечення автоматизо-

ваних систем.



VISUAL PATTERN STRUCTURE INVESTIGATION BY CLUSTERING PACKAGE

Roman Melnyk ¹⁾, Yuriy Roman ²⁾

¹⁾ Software department, Lviv Polytechnic National University, 12, Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine, ramelnyk@polynet.lviv.ua

²⁾ Software department, Lviv Polytechnic National University, 12, Bandery str., Lviv, 79013, Ukraine, bitawa@gmail.com

Resume: *the paper contains research results of graphic file format influence on image structure, quantitative changes in structuring coefficients of clustered images, influence of deformation changes caused by destruction processes on image quality. Clustering package for visual black-white and grey patterns was taken as the main instrument for investigation.*

Keywords: *three stages clustering, deformation, structuring coefficient.*

INTRODUCTION

The clustering methods are widespread for decomposition, data mining and visual patterns segmentation [1 – 8]. In particular, the work [1] contains the classification of the clustering methods and the approach for contouring chosen clusters. The works [2, 3] describe graph's models for images and clustering algorithms for its segmentation. The works [4, 5] are devoted to the clustering approach for experimental data covered by a grid with predetermined step. Hierarchical methods were used for decomposition and enhancement of medical images and fingerprints [7-9]. Examples of hierarchical methods includes work [9]. Different agglomerative methods differ by the way that similarity between two clusters is updated. If the linkage satisfies a cluster aggregative inequality then the algorithm can be implemented efficiently at a time complexity of $O(N^2)$ [10]. A new recent method [11] uses a sophisticated merging criterion which takes the cluster internal structure into account. Coverage of visual patterns by clusters in a shape of rectangles to determine the most characteristic features of visual patterns could be the main idea of some approaches for pattern recognition [12 – 16].

ALGORITHM OF IMAGE CLUSTERING

We consider the rolling-up algorithm having input objects as microclusters, clusters and closed regions and output objects as clusters, closed

regions and integrated areas. To use one description for all these object we call them as Clusters. We denote them by Q_1, Q_2, \dots . The set X_i belongs to the i -th level of a tree and contains Clusters. On the i -th step of the algorithm merging Clusters create new Clusters by which the set X_{i+1} is being filled. The main operation of the step we formulate as follows:

$$(\forall Q_k, Q_i \in X_i) [F^*(Q_k, Q_i) = \text{opt}F(X_i^*)], \quad (1)$$

$$X_i^* \in D, \quad (2)$$

$$(\forall Q_e = Q_k \cup Q_i \in B_i), \quad (3)$$

$$C_i = X_i \setminus Q_r, \quad (4)$$

where D is a class of appropriate solutions; intermediate set B_i is being formed by new Clusters satisfying the best value of merge criterion function $F(X^*)$; intermediate set C_i contains Clusters not taking part in merging process. So, the set X_{i+1} of newly created Clusters is being formed by equation:

$$X_{i+1} = B_i \cup C_i \quad (5)$$

In general, we have some criteria functions in the optimization problem (6) that makes the problem to be with many criteria. In the simplest case we have merging of two Clusters indexed by l and j if the function is of maximum value:

$$F_{l,j}^* = \max(F_{ki}), \quad k, i \in I, \quad (6)$$

where I is a set of any possible pair of Clusters and the

function defines a common border length.

INVESTIGATION OF STRUCTURAL CHANGES CAUSED BY DIFFERENT IMAGE FILE FORMATS AND DEFORMATION

There has been developed an experimental program package by the formula (1-6) with the user interface which controls all operation stages: image input, monitoring of control parameters, output of clustering options (full, specified), restored image and full report of results.

An approach based on three stages clustering algorithm is considered. To evaluate structural changes in visual pattern structuring coefficients were used:

$$\begin{aligned} K_s^1 &= MC / C \\ K_s^2 &= C / CR \\ K_s^3 &= K_s^1 * K_s^2 \end{aligned}$$

where MC is a microcluster number (input clusters for 1st stage); C – clusters by a shape of rectangle (output clusters from 1st stage and input clusters for 2nd stage); CR – regions (output clusters from 2nd stage). Indexes indicate the algorithm stage. K_s^3 is full structural coefficient for clustered pattern. Preliminary stage of the algorithm forms microclusters.

Some graphic formats for images were considered and compared. The graphic format JPEG was noticed to be mostly sensible, i.e. increasing a compression level undesirable noises appear exactly in it (Fig. 4,6). The other popular formats – GIF, PNG, BMP, TIFF didn't demonstrate remarkable changes. Tables 1, 2 illustrate changes in structural coefficients caused by different quality level of pattern presentation by the package XnView (100% and 10%).

The example of a tree structure from Fig. 8 was used to determine structural changes in material caused by crackles. Clustering results on Fig.9 as well as the table 3 show changes in material structure and positions of crackles.

The similar results were got by applying the clustering package to the sample of composite material. Changes in material structure were modeled by using the graphical application *Paint* for zooming the pattern in both directions: decreasing and increasing. The table 4 illustrates essential changes in structural coefficient values.

Clustering package was developed on the software department at Lviv Polytechnic National University.

CONCLUSION

Clustering patterns by developed package we determine a degree of structural changes caused by different origin, for example, by environment influence, destruction or incorrect manufacturing. Structural changes on patterns were modeled by scaling, artificial crackles or by quality control in graphical applications.

Pattern changes were evaluated by structural coefficients from results got by the three stages clustering algorithm.

REFERENCES

- [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, pp.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, pp.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, pp.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), pp. 740-743.
- [5] Katarzyna Wilamowska, Milos Manic. Unsupervised pattern clustering for data mining // Proceedings of the 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. IECON'01. – P 1862 – 1867.
- [6] Sagi Katz, Ayellet Tal – Hierarchical mesh decomposition using fuzzy clustering and cuts – ACM Transactions on Graphics – 2003, vol. 22, Issue 3, pp. 954-961.
- [7] Dosil R., Pardo X.M., Fdez-Vidal X.R. Decomposition of three-dimensional medical images into visual patterns – IEEE transactions on biomedical engineering-2005, vol. 52, No.12, pp. 2115-2121.
- [8] Lin Hong, Yifei Wan, Anil Jain – Fingerprint image enhancement: Algorithm and performance evaluation – IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence – 1998 (Vol. 20, No.8), pp.777-789.
- [9] Anil K. Jain, Richard C. Dubes Algorithms for Clustering Data. Prentice Hall.1988. – 320 p.
- [10] G.Karypis, E.Han and V. Kumar. "CHAMELEON: A Hierarchical Clustering Algorithm Using Dynamic Modeling" Computer vol.32, pp.68-75, 1999.

- [11] C.Ding and X. He “Cluster Aggregate Inequality and Multilevel Hierarchical Clustering” Proc. Ninth European Conf. Principles of Data Mining and Knowledge Discovery pp.71-83, 2005.
- [12] Michael Laszlo and Sumitra Mukherjee. “A Gegendric Algorithm Using Hyper-Quadrees for Low-Dimensional K-means Clustering”. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 28, No. 4, April 2006. – pp 533-543.
- [13] Melnyk R.A., Diveyev I.B. Patterns Clustering as Instrument for Approximation and Coding. Data Mining and Elaboration. No. 25(101). 2006, pp.99-102.
- [14] Melnyk Roman, Tushnytskyy Ruslan. Decomposition of Visual Patterns. Proceedings of Ninth International Conf. CADSM. pp. 278-279. Lviv, Ukraine. 2007.
- [15] Melnyk Roman, Tushnytskyy Ruslan. “Sensitivity Threshold and Brightness Control while Decomposing Grey Images by Clustering”. – “Proceedings of Computer Science and Information Technologies 2007 (CSIT-2007)”, Lviv. – 2007, pp.133-136.
- [16] Melnyk Roman, Tushnytskyy Ruslan. “Iterative clustering for spectrums processing”. – “Proceedings of International conference “Computer Science and Engineering – 2007 (CSE-2007)”. – Lviv. – 2007, pp.168-170.