

ДОСЛІДЖЕННЯ СКАНУВАННЯ ПІД ЧАС ДЕКОМПОЗИЦІЇ ВІЗУАЛЬНИХ ОБРАЗІВ

© Мельник Р., Алексєєв О., 2005

Запропоновано підхід до декомпозиції візуальних образів, що поєднує процедури глобального та локального характеру. В основі перших покладено алгоритми згортання складових мікрооб'єктів образів, другі базуються на переборі варіантів покриття прямокутниками кластерів образів, отриманих на першому кроці.

Approach of visual images decomposition based on procedures of global and local character is offered. The first unites the rolling up algorithms of micro-objects component of visual images, and the second – hierarchical tree traversal for the exhaustive search of coverage variants by rectangles.

Вступ

Для алгоритмів опрацювання, зберігання та розпізнавання візуальних образів останні повинні бути оптимально та формально описані. Одним з можливих способів формалізації візуальних образів є розбиття їх на правильні геометричні фігури, наприклад, прямокутники. Для розбиття образу на прямокутники можливі два способи: згортання до рівня підкластерів, форма яких відповідає прямокутній, та пошук мінімального покриття образу прямокутниками на основі повного перебору їх комбінацій. Якщо другий метод застосувати до фрагментів, отриманих згортанням, то покращання результатів декомпозиції досягають незначними часовими затратами.

1. Декомпозиція візуальних образів згортанням

Згортання полягає в розділенні заданого набору об'єктів на класи – групи об'єктів, схожі між собою за різними ознаками. Під час об'єднання мікрооб'єктів утворюються кластери, характеристики F_1, F_2, \dots, F_n яких формуються як суми чи інші функції характеристик мікрооб'єктів і які повинні задовольняти обмеження певного виду, а саме: їх форма та наповненість:

$$F_k^- \leq F_k(X_i) \leq F_k^+, (i = 1, \dots, m, k = 1, \dots, n)$$

де F_k^- , F_k^+ – граничні значення функцій ознак кластерів, що формуються. Це, наприклад, яскравість, співвідношення заповнених та пустих клітинок тощо.

Розглянемо характерні кроки алгоритму згортання [1] за умови, що функція F виражає відношення кількості заповнених клітинок до пустих :

1. Розбиття простору. Накладання на образ сітки з кроком з ряду $1 \times 1, 2 \times 1, 2 \times 1, \dots, N \times M$ та формування на базі заповнених клітинок мікрокластерів (МК).
2. Для кожного МК пошук сусіда справа та знизу.
3. Занесення у список кандидатів на об'єднання (СКО) двох МК, якщо під час об'єднання вони формують кластер (К) прямокутної форми і який відповідає вимозі наповнення.

4. Видалення зі *СКО* повторень : для кожної пари списку перевірка входження в інші пари елементів, з яких вона складається. Видалення пар за їх наявності. Наприклад, у списку $(a,b),(b,c),(a,d),(d,f)$ пари $(a,d), (b,c)$ будуть видалені.

5. Побудова кластерів вищого рівня на основі *СКО*.

6. Повторення попередніх кроків до повного покриття образу прямокутниками.

На рис.1 зображено приклад роботи процедури згортання. Після накладання сітки на образ утворено 11 мікрокластерів (рис.1, а). На першому кроці алгоритму об'єднуються мікрокластери $(3,4)=12, (5,6)=13, (7,8)=14, (10,11)=15$ (рис.1, б), на другому кроці – $(13,14)=16$ (рис.1, в). Цей процес зображено деревом згортання на рис.1, г.

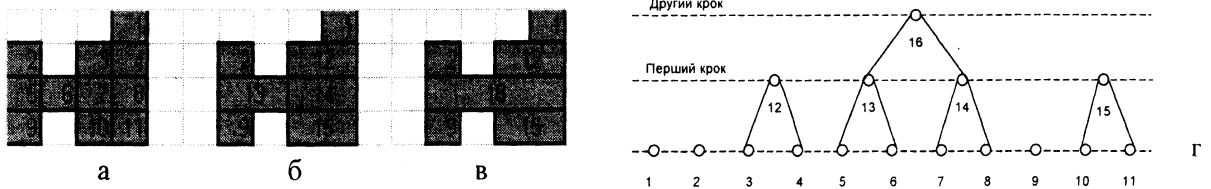


Рис. 1. Приклад згортання

Обчислювальні затрати цього алгоритму визначаються кількістю об'єднань під час побудови прямокутників та кількістю підрахунків функції критерію. Для найгіршого випадку, коли об'єднань буде $2N-1$, складність алгоритму подамо виразом

$$Q = (2N - 1) * Q_k + \left\{ N(N - 1) / 2 + \left[\sum_{i=1}^{N-1} (N - i) \right] \right\} Q_f \approx O(N^2),$$

де Q_k – складність перетворення двох мікрокластерів в один більшого розміру, Q_f – складність обчислення значення функції критерію для формування списку кандидатів на об'єднання.

2. Покриття прямокутниками повним перебором (скануванням)

Точним методом отримання оптимальної декомпозиції образу на фігури правильної форми є метод повного перебору варіантів покриття образу прямокутниками [2]. Метод має дві складові частини: управління формами та розмірами прямокутників (на основі дерева пошуку), що накладаються на образ для виділення ідентичного фрагмента з нього та процедури багаторазового повторення накладання прямокутника на площину, що містить образ, з постійною зміною координат накладання. Процедурою імітують сканування образу (його фрагментів) прямокутниками з поступовим зменшенням їх розмірів. Складність алгоритму прямує до факторіальної $O(S_x! * S_y!)$, де S_x, S_y – ширина та висота зображення відповідно (в кількостях МК).

Розглянемо основні кроки алгоритму перебору:

1. Розбиття простору. Накладання на образ сітки з кроком з ряду $1x1, 2x1, 2x1, \dots S_x \times S_y$ та формування на базі заповнених клітинок МК.

2. Визначення координат крайніх точок образу та визначення на основі цих координат розмірів S_x, S_y початкового прямокутника сканування (ПКС).

3. Рух прямокутника сканування (ПС) з зображенням зліва направо, згори донизу від верхнього лівого кута до правого нижнього (рис.3).

4. Якщо кількість МК, які потрапили у площу ПС, задовольняє критерій наповнення кластера (K), створення на основі ПС нового K та видалення його з простору пошуку.

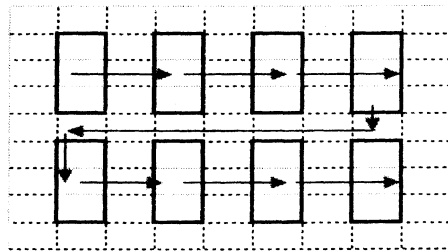


Рис. 3. Рух прямокутника сканування

5. Зменшення ширини ПС та повторення кроків 3,4, поки ширина не досягне мінімального значення 1.

6. Поступове зменшення висоти ППС та повторення кроків 3,4,5, поки висота не досягне мінімального значення 1.

Приклад на рис. 4 – це прямокутник розміром 4×4 . Він покриває образ, але його характеристика не відповідає вимозі 100% наповнення. Зменшуючи розміри прямокутника сканування до 3×4 (рис. 4, в), до 2×4 (рис. 4, г), отримаємо перший знайдений прямокутник розміром 1×4 (рис. 4, д). Серед розмірів 3×3 (рис. 4, з), 2×3 (рис. 4, к) – отримано два прямокутника розміром 1×3 (рис. 4, м).

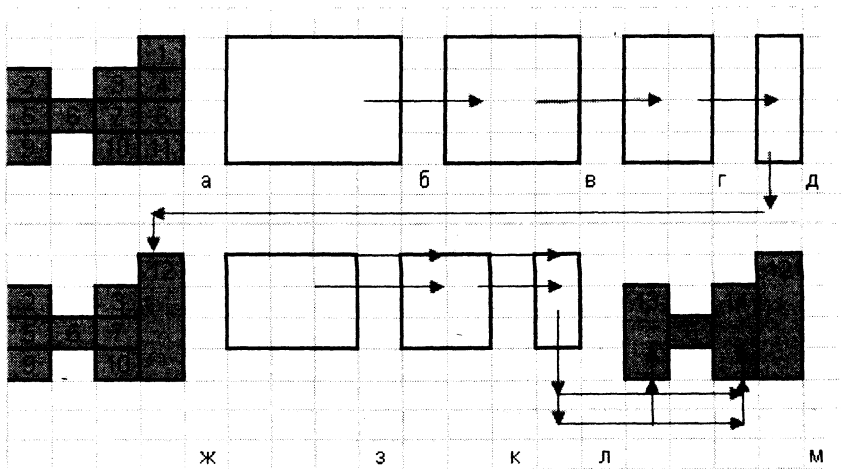


Рис. 4. Приклад повного перебору

3. Оптимізація результатів згортання скануванням

Через неполіноміальну складність алгоритму повного сканування використаємо його не до початкового розбиття образу на МК [3], а до результатів декомпозиції, отриманих після побудови дерева згортання. З кластерів - прямокутників, сформованих на найвищому рівні дерева згортання, утворимо підмножини з 3-х, 4-х і більше (на вимогу користувача) суміжних елементів за критерієм їх максимальної зв'язності. Якщо кластери подати вершинами графів, а наявність спільної границі ребром суміжності, то множина для сканування формується як максимальний підграф заданого розміру. Після сканування множини під час зменшення кількості кластерів дерево згортання переформовується зміною складу його вершин. Процес утворення та сканування нової підмножини кластерів повторюється до моменту, коли за прохід не зменшилась кількість прямокутників.

Алгоритм оптимізації має такі кроки:

1. Пошук на дереві згортання підмножин суміжних кластерів та створення списку підмножин (СП). Видалення підмножин, які мають спільні кластери.

2. Для кожної підмножини списку сканування простору охоплення з метою одержання меншої кількості прямокутних кластерів.

3. Якщо зменшення кількості відбулось, то перехід на перший крок, інакше – вихід з алгоритму.

Роботу алгоритму проілюстровано на рис.5 для випадку трьох кластерів у підмножині. Трійка кластерів (1,12,16) не приводить до зменшення кластерів. Трійка (2,16,9) (рис. 5, в) перетворюється до двійки (17,18) (рис. 5, г). На другому проході трійка (12,18,15) (рис. 5, д) перетворюється в двійку (6,19) (рис. 5, ж).

Час роботи алгоритму зростає пропорційно до кількості проходів. Для тестових задач на множині 13000–15000 мікрокластерів кількість проходів алгоритму не перевищувала чотирьох.

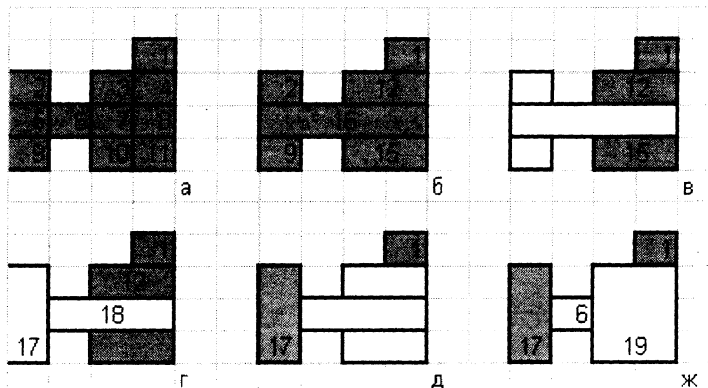


Рис.5. Приклад оптимізації скануванням фрагментів образу

4. Аналіз результатів тестування

Алгоритми у програмному комплексі декомпозиції зображень тестували на чорно-білих зображеннях відбитків пальців розмірами до 250x250 крапок (процесор AMD Athlon XP 2400+). Результати (розмір зображення як кількість початкових мікрокластерів, кількість прямокутників після згортання та після оптимізації скануванням, часові затрати відповідних процедур) наведено у табл. 1. Час оптимізації покриття залежить від структури зображення та кількості проходів. Незначними часовими затратами (до 5 хв.) досягнуто покращення на 10–15% результатів покриття, отриманих згортанням. Результати дослідження повного перебору не наведені з міркувань, що для прикладів з кількістю початкових мікрокластерів у межах трьох тисяч часові затрати становлять 1–2 години.

Таблиця 1

Результати роботи алгоритмів згортання і сканування

ім'я файла	к-сть мікрокластерів початкова	к-сть мікрокластерів після алгоритму згортання	Час роботи алгоритму згортання	к-сть мікрокластерів після алгоритму оптимізації	Час роботи алгоритму оптимізації	к-сть проходів алгоритму оптимізації
Безмянн22.bmp	778	304	0:00:01	272	0:00:01	1
Untitled-2.bmp	1655	558	0:00:01	517	0:00:19	3
Безмянн111.bmp	1899	839	0:00:02	773	0:00:04	2
borland3.bmp	1963	140	0:00:05	127	0:01:03	3
19961211-fingerprint.bmp	5681	1544	0:00:12	1444	0:01:36	3
Fingerprint122.bmp	6252	1703	0:00:12	1632	0:01:04	3
fingerprint111.bmp	6564	2450	0:00:18	2351	0:00:52	2
riq-2.bmp	6982	860	0:00:17	860	0:00:37	1
Fingerprint2.bmp	9500	3422	0:00:37	3328	0:01:37	3
fingerprint1.bmp	12905	3201	0:00:49	3126	0:02:57	2

Практичне підтвердження складності алгоритму згортання отримано його виконанням для повністю заповнених квадратів (табл. 2).

Таблиця 2

**Час роботи алгоритму згортання
від кількості мікрокластерів**

розмір квадрата	кількість мікрокластерів	Час
30x30	900	0:00:00
50x50	2500	0:00:03
100x100	10000	0:00:33
150x150	22500	0:02:27
200x200	40000	0:07:37
250x250	62500	0:18:59

Для реальних зображень неоднорідної структури складність алгоритму менша через зменшення кількості об'єднань (висоти дерева згортання). Складність алгоритму для реальних зображень прямує до $O(n * \ln n)$, що підтвердили результати тестування. Часові залежності алгоритму згортання для повністю заповнених квадратів і зображень відбитків пальців наведено на графіках, що на рис. 6.

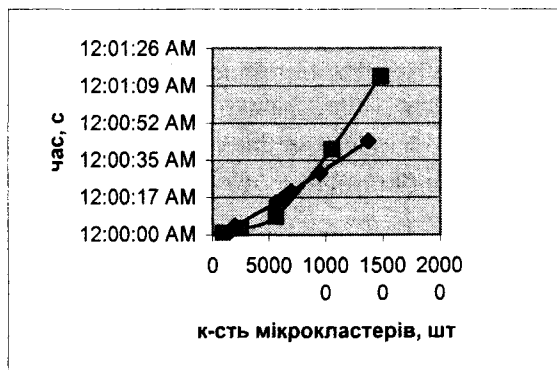


Рис. 6. Часові залежності згортання для повного та структурованого заповнення

Висновки

Через непрогнозованість процесу згортання неможливо однократним згортанням отримати оптимальний за кількістю прямокутників результат покриття образу. Повний перебір дозволяє знаходити оптимальне розбиття за значних часових затрат. Результати досліджень алгоритмів покриття образів з різною ідеологією свідчать, що використання методу оптимізації покриття підмножини кластерів на верхніх рівнях дерева згортання є ефективним інструментом опрацювання образів. Запропонований метод поєднує переваги методу згортання та методу сканування для швидкого пошуку прямокутників покриття образів.

1. Мельник Р.А., Алексеев О.А. Кластеризація мікрообразів для кодування зображень // Праці міжнародної конференції Укробраз'2004. – Київ, 2004. – С. 81–85. 2. Мельник Р.А., Алексеев О.А. Покриття образів прямокутниками // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2004. – №521. – С. 166–168. 3. Мельник Р.А., Алексеев О.А. Декомпозиція візуальних образів згортанням та скануванням // Праці міжнародної конференції CADSM'2005". – Львів-Поляна. – 2005. – С. 410–412.