

Кластеризація Мікрообrazів для Кодування Зображень

Р.А.Мельник, О.А. Алексєєв

Національний університет “Львівська політехніка”,
Інститут комп’ютерних наук та інформаційних технологій
ramelnyk@polynet.lviv.ua, alexa@org.lviv.net

Резюме

Практичні класи задач розпізнавання образів характеризуються складністю та великою кількістю параметрів. Отримати розв’язки цих задач для практичного застосування за допустимі часові інтервали неможливо без врахування та виділення головних ознак об’єктів. Врахування менш суттєвих параметрів на пізніших етапах обчислень, прискорений та детальний пошук в стратегічно важливих напрямках зменшують простір пошуку потрібних образів. В роботі запропоновано метод кластеризації мікрооб’єктів для кодування зображень прямокутниками, що базується на алгоритмах ієрархічного моделювання [1-3].

1. Кластеризація - інструмент перетворення образів

Ознакою задач розпізнавання образу є відтворення за допомогою ієрархічного дерева вкладеності складових мікрооб’єктів (мікрообразів) у проміжних вузлах дерева, а також ознак об’єктів розпізнавання. Приклад розбиття образу O на складові компоненти нижчих рівнів представлені на рис.1а. Відповідний процес зображається з допомогою ієрархічного дерева T (рис.1б). Найнижчий рівень містить множину E базових мікрооб’єктів або таких, що розглядаються як невідимі. На проміжних рівнях знаходяться мікрооб’єкти вищих рівнів ієрархії. Розмір мікрооб’єктів зростає при наближенні до кореневої вершини. Штриховими горизонтальними лініями позначені однойменні рівні дерева (наприклад, за номером кроку утворення), похилі лінії наведені для позначення рівнів різнотипних мікрооб’єктів. Наявність ієрархічного дерева дозволяє: 1) розкласти образи на шари з підобразами - фрагментами образів та розглядати постановки задач розпізнавання на різних рівнях дерева; 2) при формуванні образу є можливим вибір однієї з декількох стратегій обходу дерева T . Остання властивість є корисною для фільтрування шумів та завад.

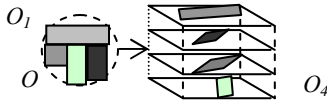


Рис.1.а Розбиття образу

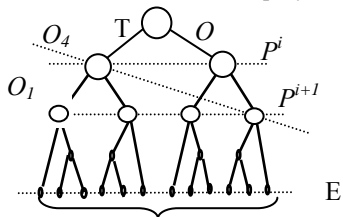


Рис.1.б Ієрархічне дерево

2. Способи кластеризації

2.1. Однозначна кластеризація

Найменшим неподільним мікрооб’єктом зображення є піксель і які (для простоти зупинимось на чорно-білих зображеннях) приймають значення: чорне або біле. Довільне згортання чорних пікселів для отримання підобразів обмежується складністю опису форми фігур, які утворюються в процесі об’єднання мікрооб’єктів нижчих рівнів та утворення мікрооб’єктів вищих рівнів. Форми неперервних чорних областей є різноманітними, а кількість результируючих мікрооб’єктів значною, що не приносить виграшу в об’ємі пам’яті для зберігання образу. На рис.2 зображені приклади можливих фрагментів (неперервних областей) однакових пікселів. Наведений приклад ілюструє два можливі способи згортання: об’єднання суміжних по діагоналі пікселів та їх груп (припускаємо, що в цьому випадку неперервність фігури не порушується) або дозвіл на об’єднання пікселів, суміжних тільки в перпендикулярних напрямках. У двох випадках опис кластерів не можна закодувати простими однозначними виразами. При згортанні від мікрооб’єктів – пікселів до отримання кластерів – неперервних областей чорних пікселів отримуємо завжди однозначну декомпозицію (з діагоналями або без них). При цьому результат кластеризації не залежить від типу алгоритму, який може бути послідовним, паралельним чи комбінованим. Тип алгоритму впливає тільки на його швидкодю.

Отримані кластеризацією підобрази можна розглядати як кінцевий продукт етапу опрацювання, тобто зберігати, порівнювати, модифікувати тощо, або їх приймають як вхідні початкові дані для процедури створення правильних фігур (наприклад прямокутників), які значно простіше закодуються виразами.

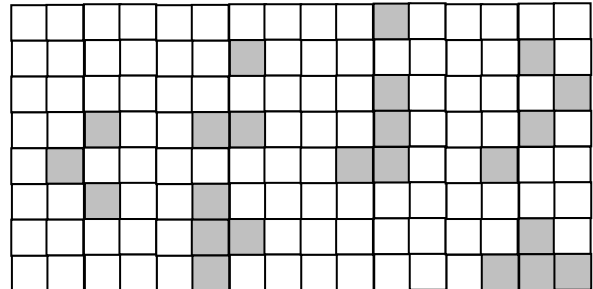


Рис.2. Фрагменти (підобрази), отримані кластеризацією

2.2. Кластеризація з обмеженнями на правильність

На згортання пікселів для отримання підобразів накладаються обмеження: форми фігур, які утворюються в процесі об’єднання мікрооб’єктів, можуть бути тільки правильними (прямокутниками). Виграш в об’ємі

пам'яті для зберігання образу залежить від кількості та розмірів прямокутників, кінцевих кластерів в дереві згортання.

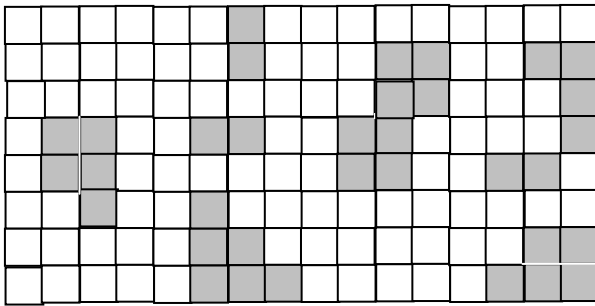


Рис.3. Фрагменти (підобрази), отримані кластеризацією

На рис.3 зображені фрагменти-прямокутники, суміжні між собою - кінцеві кластери на дереві згортання. З цього рисунку видно, що неперервні області пікселів поділені на прямокутники. Поділ є неоднозначним, що вказує на залежність алгоритму кластеризації від критеріїв згортання, стратегій пошуку кандидатів на об'єднання тощо. Неоднозначність вказує на можливість пошуку оптимальної кластеризації за критерієм кількості підобразів та виразів для їх опису, оскільки на прикладі деякі реальні неперервні фігури можна розбити на два, три тощо прямокутники. Можливими є два способи кластеризації образу на прямокутники: безпосередньо з мікрооб'єктів побудовою дерева згортання з обмеженнями на кінцеву форму кластерів або перетворення кластерів неправильної форми у прямокутники при умові попередньої їх кластеризації.

Розглянуті підходи кластеризації відносять до точних, оскільки втрати пікселів у цих алгоритмах нема. Результати можуть відрізнитися кількістю та якістю кластерів. Наступні алгоритми кластеризації призначені для більшої компресії, швидкодії і характеризуються певною втратою інформації.

2.3. Кластеризація з втратами

Накладемо на образ, що розбивається, сітку з кроком, який можна представити як 1x2, 2x1, 2x2 тощо. Клітини сітки містять різну кількість пікселів. Для випадку горизонтального пріоритету яскравість клітинки може приймати одне з набору значень: 0, 1, 2, 3 (рис.4).



Рис.4. Мікрооб'єкти образу для згортання

До клітинок застосуємо алгоритм згортання. Алгоритм має багато ступенів керування: згортання тільки повністю заповнених клітинок, згортання їх разом з половинками, згортання половинок тощо. Стратегії згортання є також неоднозначними, а саме: 1) початкове згортання мікрооб'єктів в рамках сканування горизонтальних лінійок у всіх лінійках до зупинки процесу згортання, далі згортання отриманих кластерів в межах вертикальних лінійок; 2) почергове згортання в межах вертикальних та горизонтальних лінійок; 3) послідовно-паралельне нарощення кластерів переглядом сусідніх як по горизонталі так і по вертикалі. Результатами згортання будуть кластери-прямокутники: повністю або частково заповнені (рис.5). Часткова

наповненість кластерів може коливатись від 50% - об'єднані тільки половинки до 100% - об'єднані тільки заповнені клітинки.

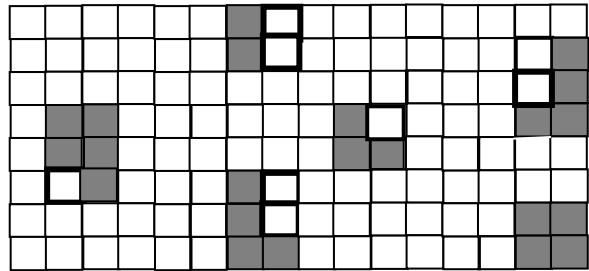


Рис.5. Кластери різної наповненості

Керування параметром яскравості кластера є ключем до відсотка компресії та можливих втрат, якщо для кластера зберігати тільки характеристику яскравості без координат незаповнених клітинок. Втрати зображення виникають через довільне (наприклад, випадкове) доповнення кластера незаповненими клітинками при відновленні зображення.

2.4. Оптимальна кластеризація

Для оцінки дерева використаємо міру паралельності (p_t) дерева як відношення висоти (h_t) дерева до кількості його листків (n_t), тобто

$$p_t = h_t / n_t \quad (1)$$

Мінімально можливе значення для n вершин міра паралельності характеризує максимально можливу паралельність об'єднання вершин і може прийняти значення

$$p_{t \min} = \{\log_2 n\} / n \quad (2)$$

а максимально можливому послідовному об'єднанню відповідає значення

$$p_{t \max} = (n - 1) / n \quad (3)$$

Дерева з більшою паралельністю є зручними з точки зору меншої кількості окремих фрагментів розбиття образу. Оптимальною кластеризацією образу вважаємо таке, для якого виконується

$$h^* = \min h^i \quad (4)$$

де i вказує на варіант кластеризації.

Якщо ввести функцію, що виражає загальну кількість прямокутників в кластерах як суму прямокутників вибраних кластерів:

$$K = \sum_j K_j \quad (5)$$

де K_j - кількість прямокутників j -го кластера, то оптимальною кластеризацією за покриттям кластерів прямокутниками вважаємо таке, для якого виконується

$$K^* = \min_i K^i \quad (6)$$

де i вказує на варіант покриття.

Оптимальна кластеризація здійснюється для всіх випадків згортання: довільного, з обмеженнями, з втратами і без них.

3. Алгоритми кластеризації

Задача кластеризації образів подібна до задачі компонування, в якій мікрооб'єкти відповідають

функціонально-топологічним елементам з визначеними формою, розмірами тощо. При об'єднанні 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 обмеженням певного виду

$$F_k \leq F_k(X_i) \leq F_k^+, (i = 1, \dots, m, k = 1, \dots, n) \quad (7)$$

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

В цьому випадку використовуються алгоритми, які дозволяють формувати характеристики кластерів на нижчих рівнях дерева згортання, не здійснюючи згортання до кореня. Формування кластерів з незадовільними характеристиками блокується, а переформування окремих вершин дерева реалізується на нижчих рівнях пошуку компонент. Ці ідеї покладені в основу ряду алгоритмів, які відрізняються між собою алгоритмічною складністю та якістю кластеризації.

Контроль за кількісними характеристиками (яскравість, насиченість на одиницю площі тощо) новоутворених об'єктів для алгоритмів кластеризації зображень не викликає труднощів, бо критерії формуються на основі нескладних алгебраїчних перетворень. Формування критерію для об'єднання елементарних мікрооб'єктів чи їх груп є складнішим, бо при об'єднанні об'єктів можливі два випадки: новий кластер (об'єднаний з двох кластерів нижнього рівня) має форму прямокутника або кластер не має прямокутної форми. У першому випадку кожній вершині дерева згортання відповідає певний прямокутник - фрагмент образу, у другому - заборона об'єднання кластерів або їх об'єднання з описом фігур утворених кластерів з допомогою вказівників на складові мікрооб'єкти кластера.

Результати кластеризації до неправильних фігур вимагає застосування додаткової процедури оптимального їх розбиття на мінімальну кількість прямокутників. Це дозволяє здійснити вибір як кандидатів на виділення, так і кандидатів на переформування. Розглянемо варіанти алгоритмів.

Алгоритм K1 (повне згортання).

- П0. Поки не виділені всі кластери.
- П1. Згортання мікрооб'єктів, якщо об'єднання вершин не порушує обмежень.
- П2. Виділення кластера, якщо він не має суміжних об'єктів.
- П3. Кінець (П0).

Алгоритм K2 (з переформуванням).

- П0. Поки не виділені всі кластери.
- П1. Згортання мікрооб'єктів, якщо об'єднання вершин не порушує обмежень.
- П2. При порушенні умов згортання від меншої з двох вершин відділяється підкластер і об'єднується з більшою вершиною при умові не порушення обмежень.
- П3. Виділення кластера.
- П4. Кінець (П0).

Переформування є вимушеним засобом. Додаткові алгоритми необхідні для пошуку підкластера, який передається від одного фрагмента до іншого, та переформування дерева згортання (приклад на рис. 6,а - вершини x_i і x_j - кандидати на об'єднання, рис.6,б -

вершина x_i розформована до певного рівня і одна з вершин нижчого рівня об'єднана з x_j .

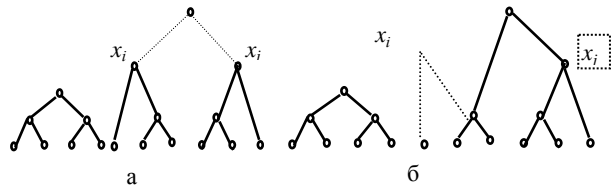


Рис.6. Стратегії алгоритму кластеризації з переформуванням

Одним з важливих елементів алгоритмів кластеризації образів є обчислення функцій, що відповідають за дозвіл на їх об'єднання, як і функцій, що відповідають за обчислення критерію для пар кластерів - претендентів на об'єднання. Введемо позначення характеристик F_1, F_2, \dots, F_n : m_i - кількість мікрообразів в кластері, z_i, p_i - кількість заповнених і пустих пікселів у кластері, $v_i = p_i / (p_i + z_i)$ відношення кількості пустих до загальної кількості заповнених пікселів, b_i - коефіцієнт подібності фігури кластера до прямокутника. Тоді при створенні результуючого кластера як об'єднання двох кластерів нижчого рівня, найкращими парами - кандидатами на об'єднання - є такі підобрази, для яких певні функції - критерії об'єднання - приймають екстремальні значення, наприклад, $\max m_i, \max b_i, \min v_i$, а інші задовольняють обмеженням (2). Це вказує на багатокритеріальність задачі оптимальної кластеризації образів та необхідність виділення головних критеріїв, зважених критеріїв, інших прийомів, які використовуються при розв'язуванні оптимізаційних задач.

Другим не менш важливим питанням алгоритму є процедура обходу мікрообразів і визначення кластерів, для яких необхідно обчислювати функції критеріїв та обмежень. Для спрощення і зменшення алгоритмічної складності процедури обходу при початковій кластеризації зображення (формування клітинок - мікрообразів) кожен мікрокластер описується своєю характеристикою яскравості та вказівниками на суміжні (направо і вниз) мікрокластери (рис. 7).

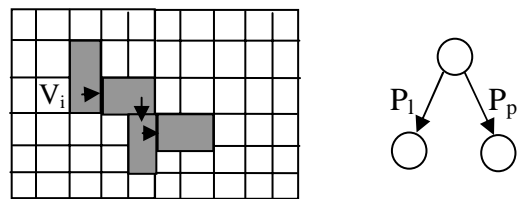


Рис.7. Опис суміжних кластерів

Новому утвореному кластеру приписується: 1) вказівники на сусідів, спільні для об'єднаних підкластерів без вказівників, які стали внутрішніми (вказують на приєднаний кластер)

$$V_i = V_k \cup V_j / V_k \quad (8)$$

2) вказівники на два складові підкластери

$$P_i = P_k \cup P_j \quad (9)$$

При такому кодуванні пошук пар - кандидатів на об'єднання - ведеться в просторі тільки суміжних кластерів без повторення пар, оскільки вказівники

відповідають за стратегію обходу кластерів зліва направо і зверху-вниз для позначення суміжних кластерів справа і знизу. Пошук кандидатів на об'єднання відбувається по траєкторії, визначеній наявними мікрооб'єктами чи кластерами (рис.8).

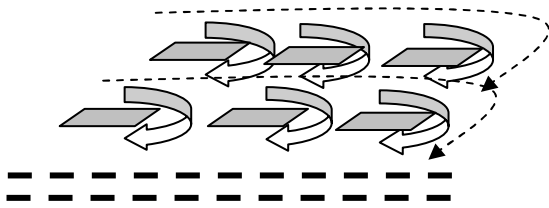


Рис.8. Обхід кластерів для знаходження кандидатів на об'єднання

4. Тестування алгоритмів

На основі запропонованих алгоритмів та моделей розроблено програму кластеризації образів, яка містить три основні кроки: підготовку мікрооб'єктів кластеризації (клітинок), побудову дерева згортання та перетворення кластерів непрямокутної форми у набори прямокутників.

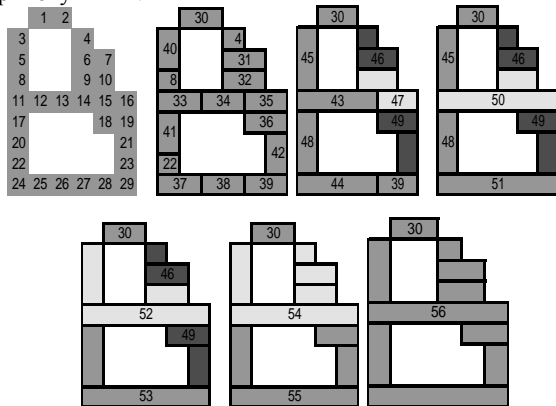


Рис.9. Однозначна кластеризація

На рис.9 зображено етапи побудови паралельного дерева згортання – алгоритм однозначної кластеризації з кроком сітки 1x1 за 6 кроків утворює з 29 початкових мікро кластерів 2 кластера (кінцевих прямокутників - 9).

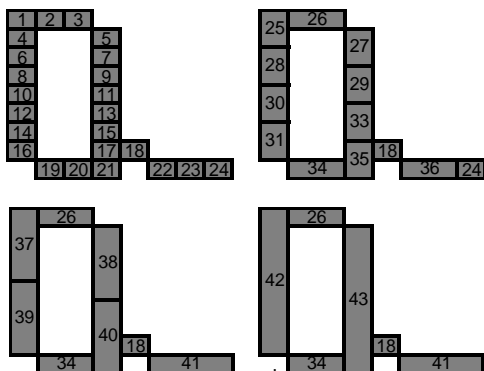


Рис.10. Кластеризація з обмеженнями

На рис.10 алгоритм кластеризації з обмеженнями - 24 мікрокластери за 3 кроки об'єднані у 6 кластерах (кінцевих прямокутників - 6).

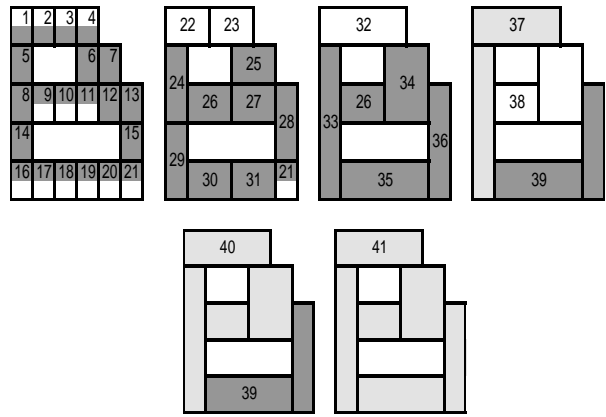


Рис.11. Кластеризація з втратами

На рис.11 алгоритм кластеризації з втратами (50%, крок сітки 1x2) 21 мікрокластер за 5 кроків об'єднує в 1 кластер.

5. Список літератури

- [1] Мельник Р.А. Алгоритми ієрархічного моделювання просторової та площинної топології НВІС. – Львів: "Львівська політехніка", -1999, 180 с.
- [2] Мельник Р.А. Тривимірне пакування графів на основі накладання макромоделей // Відбір і обробка інформації.-1998, №12 (88).- С.124-129.
- [3] Мельник Р.А. Декомпозиція графів на основі нечіткого дерева згортання // Вісник ДУЛП "Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології".-Львів, 1998, № 351.- С.65-69.