

Усе більше процесів вимагає аналізу в режимі реального часу, коли будь-яка затримка є критичною. У таких ситуація без допомоги ефективного інструментарію опрацювання даних, побудованого на інформаційних технологіях, керівнику не обійтися. Подальші дослідження будуть спрямовані на розроблення інтелектуальної складової управління готелем.

1. Дейт К.Дж. Введение в системы баз данных / Дейт К. Дж. – 8-е изд.; [пер. с англ.]. — М.: Издательский дом “Вильямс”, 2005. — 1328 с.: ил. — Парал. тит. англ. 2. Гарсиа-Молина Г. Системы баз данных: полный курс / Гарсиа-Молина Г., Ульман Дж., Уидом Дж.; [пер. с англ.]. — М.: Издательский дом “Вильямс”, 2003. — 1088 с.: ил. — Парал. тит. англ. 3. Катренко А.В. Системний аналіз: підручник з грифом МОН / Катренко А.В. — Львів: Магнолія-2006, 2009. — 352 с. — (Серія «Комп'ютинг»). 4. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем: Учебник / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. — СПб.: Питер, 2000. — 384 с. 5. Пасічник В. В. Організація баз даних та знань / В.В. Пасічник, В.А. Резніченко. — К.: Видавнича група ВНУ, 2006. — 384 с. 6. Пасічник В.В. Сховища даних : навч. посіб. / В.В. Пасічник, Н.Б. Шаховська. — Львів: Магнолія-2006, 2008. — 496 с. — (Серія «Комп'ютинг»). 7. Garretts Summary of Principles of Dataspace Systems, http://aravaipa.eas.asu.edu/wiki/index.php/Garretts_Summary_of_Principles_of_Dataspace_Systems#Overview. 9. Пасічник В.В. Сховища та простори: Монографія / В.В. Пасічник, Н.Б. Шаховська. — Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2009. — 244 с. 10. Литвин В.В. Інтелектуальні системи: підручник / Литвин В.В., Пасічник В.В., Яцишин Ю. В. — Львів: Новий світ-2000, 2009. — 406 с. — (Серія «Комп'ютинг»).

УДК 004.89; 681

В.В. Грицик*, В.А. Влах

*Науково-дослідний радіотехнічний інститут,
Державний науково-дослідний інститут інформаційної інфраструктури

МЕТОД АВТОМАТИЧНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ТА РОЗДІЛЕННЯ КОНГЛОМЕРАТІВ НА СКЛАДОВІ ОБ'ЄКТИ

© Грицик В.В., Влах В.А., 2010

Запропоновано метод розпізнавання та розділення візуальних об'єктів, що частково накладені один на інший. Метод досліджено на прикладі розділення конгломератів клітин.

Ключові слова: розпізнавання образів, системи підтримки прийняття рішень.

The article presents a method of identification and separation of visual objects that partially overlay each other. We also had investigated this method for example cell conglomerates division.

Keywords: pattern recognition, decision support systems.

1. Постановка проблеми

Сьогодні в світі простежуються стійкі тенденції до спроб замінити людину у всіх процесах діяльності, де це можливо. Комп'ютерна техніка настільки міцно укоренилась в нашому суспільстві, що нині вже не можна уявити собі жодного виду діяльності, не пов'язаного так чи інакше з комп'ютером [1–7]. Все частіше робляться спроби впровадити автоматизовані системи, які покликані виконувати рутинні роботи замість людини, адже саме під час виконання такого роду роботи людина найчастіше помиляється. На це впливає багато факторів, головним з яких є втрата концентрації, тобто неуважність. Це може призводити до збільшення кількості помилкових рішень, а отже, до спотворення отриманих результатів.

Особливо важливо не допускати таких помилок у сферах, які потребують точності та скрупульозності виконання роботи людиною. Серед напрямів автоматизації особливе місце займає проблематика комп'ютерного зору. Це пов'язано з тим, що людина-оператор близько 90 % всієї інформації отримує через зоровий аналізатор [9]. Зір дає змогу сприймати форму, колір, яскравість і рух предметів.

Можливість зорового сприйняття визначається енергетичними, просторовими, тимчасовими та інформаційними характеристиками сигналів, що надходять до оператора. Сукупність цих характеристик і їх числові значення визначають видимість об'єкта (сигналу) для ока.

Енергетичні характеристики зорового аналізатора визначаються потужністю (інтенсивністю) світлових сигналів, що сприймаються оком. До них належать: діапазон яскравостей, контраст, відчуття кольору. Основною інформаційною характеристикою зорового аналізатора є пропускну спроможність, тобто та кількість інформації, яку аналізатор здатний сприйняти за одиницю часу.

Просторові характеристики зорового аналізатора визначаються сприйнятими оком розмірами предметів і їх розташуванням в просторі. До них належать: гострота зору, поле зору, об'єм зорового сприйняття.

До тимчасових характеристик зорового аналізатора належать: латентний період реакції, тривалість інерції відчуття, критична частота мигтінь, час адаптації, тривалість інформаційного пошуку. Велику роль в процесі зорового сприйняття мають рухи очей: пошукові (настановні) і гностики (пізнавальні).

Для досліджень вибрано предметну сферу, у якій найкраще відображається потреба автоматизації усіх наведених аспектів комп'ютерного зору. Саме автоматизація у мікробіології [2, 8] поєднує в собі високі вимоги до якості виконуваних робіт та високу відповідальність за помилки, допущені під час обробки інформації. Однак сьогодні повна автоматизація неможлива. Це викликано передусім складністю досліджень, в яких техніка поки що не може повністю замінити людину.

Найтривалішим процесом досліджень є обробка та аналіз зображень зразків, отриманих за допомогою мікроскопів та цифрової техніки. Такі зображення вводяться в комп'ютер вручну чи за допомогою автоматизованих засобів, обробляються, після чого аналізуються. Після виконання усіх цих етапів формується певний набір звітних документів, аналіз котрих дає змогу визначити результати досліджень. Отже, стає зрозумілим, що помилки, допущені на етапі аналізу зображень зразків, мають прямий руйнівний вплив на дослідження загалом.

Розглянемо два можливі методи зниження кількості помилок у дослідженнях:

1. Зменшення обсягів робіт, які виконує один працівник лабораторії, зі збільшенням часу опрацювання кожного зразка.
2. Введення автоматичних засобів високої надійності для часткової або повної заміни людини на усіх можливих етапах дослідження.

Перший метод передбачає зростання тривалості досліджень, підвищення їх вартості за рахунок збільшення кількості працівників, що повинні бути залучені до роботи. Такий метод може викликати зменшення темпів досліджень в усіх галузях мікробіологічних досліджень.

Другий підхід для вирішення наявних проблем є значно ефективнішим, економічно доцільним та таким, що потенційно збільшить точність отримуваних результатів.

Отже, автоматизація мікробіологічних досліджень є перспективним і необхідним напрямом наукових досліджень.

У цій статті пропонується детальний опис розробленого методу, який дає змогу автоматизувати вирішення однієї з найскладніших проблем, яка стає перешкодою автоматизації багатьох мікробіологічних досліджень, а саме – розділення конгломератів. Введемо визначення.

Визначення.

Конгломерат – це поєднання групи об'єктів (у нашому випадку клітин) в єдину структуру, що важко піддається розділенню.

Проблему розпізнавання та розділення конгломератів нині важко вирішити, а зроблені спроби не дали достатньо точних результатів. Це пов'язано з одночасною дією кількох чинників, основні з яких:

випадковість накладання об'єктів, проступання об'єктів з різних шарів (що впливає на інтенсивність), природність об'єкта (тобто усі об'єкти є різними за природою і ніколи не повторюються), технологія маркування підсвічує лише частину об'єкта (тобто усе тіло об'єкта не завжди видиме).

Існування конгломератів на зображеннях унеможливорює отримання точних результатів, оскільки, не виконавши розділення об'єктів інтересу, які входять в конгломерат, неможливо здійснити їх класифікацію за певними формальними ознаками. А це, своєю чергою, вплине на одержані результати. Мінімальним негативний вплив від такого явища буде в тих випадках, коли частка об'єктів, не взятих до уваги на зразках, є малою. Переважно стан справ такий, що не взяті до уваги об'єкти матимуть значний вплив на усі отримані результати. До того ж завжди існуватиме небезпека неправильного трактування конгломерату, адже існує ймовірність візуальної схожості конгломерату й об'єкта уваги. Це призведе до того, що автоматизована система прийме конгломерат за певний об'єкт, що також може спотворити результати дослідження.

Цей метод покликаний спробувати мінімізувати кількість об'єктів на полі уваги, які входять до складу конгломератів і не можуть бути в зв'язку з цим досліджені або, навпаки, можуть неправильно трактуватись.

2. Постановка задачі

2.1. Сформулюємо мету дослідження так:

1. Розробити метод пошуку конгломератів на зображеннях, незалежно від типу зображень.
2. Розробити метод, який дасть змогу максимально повно і точно виконати виділення об'єктів інтересу, що входять в склад конгломерату.
3. На основі випробувань підтвердити ефективність розробленого методу.

Розв'язання наведених вище задач дасть змогу, впровадивши розроблений метод в існуючі автоматизовані системи підготовки зображень та класифікації, що призначені для конкретних видів зразків, підвищити їх надійність та точність із мінімальними затратами на їх модифікацію. Такий підхід дасть змогу збільшити ступінь автоматизації процесів обробки зразків в усіх напрямках мікробіологічних досліджень. Тому доцільність та науковий інтерес цього дослідження важко переоцінити.

2.2. Розбиття задачі на підзадачі

Враховуючи усі досліджені особливості зображень конгломератів, задачу дослідження можна сформулювати набором зв'язаних підзадач:

- розробити метод розділення конгломератних утворень на складові об'єкти;
- розробити метод контролю процесу розділення;
- сформулювати критерії розділення;

Пріоритетність підзадач впливає із їх взаємної пов'язаності. Передусім необхідно розробити метод розділення конгломератів на частини. Отримавши такий метод, можна буде почати і розроблення засобів моніторингу процесу та автоматичного контролю. Це дасть можливість усунути людину від цього процесу, а це і є первинна причина цієї роботи.

3. Розв'язок задачі

3.1. Проблема конгломератів

Проблема існування конгломератів на зображеннях об'єктів виникає доволі часто і має значний негативний вплив на роботу будь-якої автоматизованої системи обробки зображень. Тому сьогодні для систем розпізнавання потрібні алгоритми аналізу і розділення накладених об'єктів. Це унеможливорює розпізнавання об'єктів, що формують конгломерат, а також часто спричиняє помилкове сприйняття конгломерату як єдиного об'єкта. Тому для таких систем вкрай важливим є наявність засобів вирішення явної проблеми конгломератів.

На рис. 1 продемонстровано кілька зразків зображень, які містять конгломератні утворення. Уважно проаналізувавши їх, можна зауважити той факт, що конгломерати бувають дуже різними за структурою, кількістю об'єктів, які їх формують, тощо. Найпростішим випадком є конгломерат, утворений як поєднання двох об'єктів (клітин), накладання яких є незначним. Такий конгломерат можна розділити практично без жодних інформаційних втрат про об'єкти, що до нього входять. Цього

можна досягти підвищенням жорсткості параметрів фільтрації, застосуванням простого аналізу форми об'єктів. Проте існують конгломерати, які утворюються поєднанням трьох і більше об'єктів із значним їх злиттям і накладанням. В таких випадках відновлення об'єктів з конгломерату стає дуже складним завданням. Її розв'язання потребує якіснішого та універсальнішого підходу.

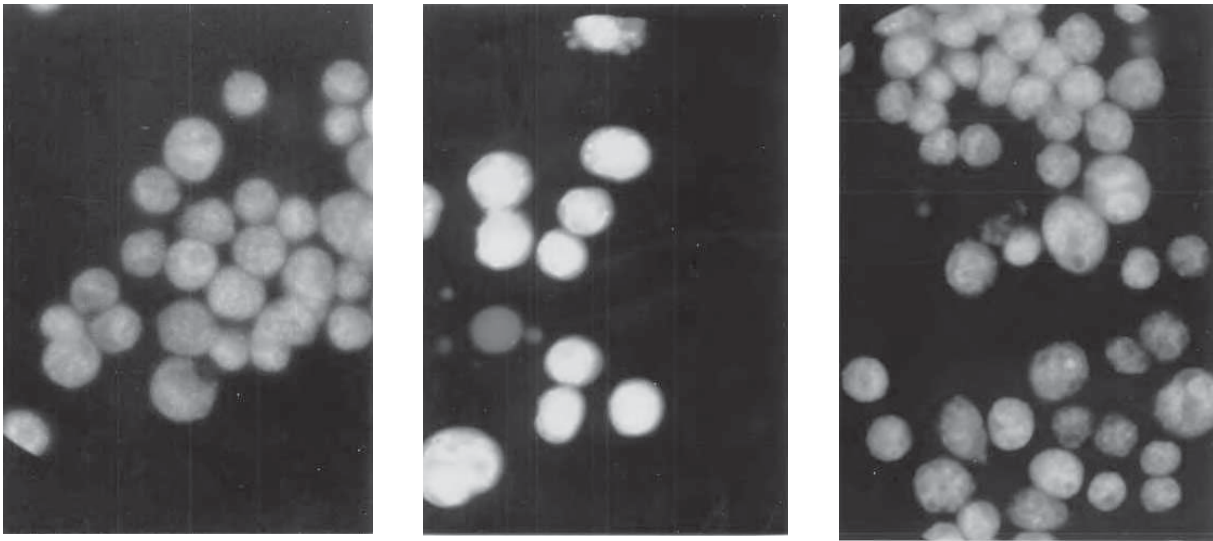


Рис. 1. Конгломерати клітин крові: моноцитів, лімфоцитів та нейтрофілів

Розроблений алгоритм декомпозиції конгломератів потенційно може застосовуватись у величезній кількості напрямів, пов'язаних із аналізом складних зображень, і дасть змогу розв'язувати складніші задачі в майбутньому.

3.2. Універсальний метод зрізування шарів

Для опрацювання об'єктів, які містять зображення, зазвичай організують певний конвеєр, який подає на обробку віднайдені об'єкти. Однією з основних ознак конгломерату є те, що його майже завжди можна “впізнати” через його надмірні розміри порівняно із самостійними об'єктами. Проте це не завжди можливо. Тому метод розділення конгломератів повинен на вхід отримувати об'єкти, не маючи достовірної інформації про те, чи це конгломерат, чи ні. Саме інформаційно-аналітична система повинна розв'язати цю задачу. На виході повинен отримуватись список образів відновлених об'єктів, вже не зв'язаних між собою.

Вище вже згадано, що кожний об'єкт (складова конгломерату) є неповторним і унікальним (форма, розмір, кольорова гама і їх співвідношення, навіть густина і яскравість). Єдиним, що є спільним – це опуклі форми об'єкта. І якщо в [8] об'єкти розпізнаються за допомогою спектрального аналізу, то в конгломераті це неможливо, оскільки за один об'єкт може бути прийнято конгломерат. На рис. 2 наведено приклад злиття двох об'єктів у спільний конгломерат. Зображення схематичне. Колами позначено піксели зображення, які формують зображення об'єкта аналізу. Будь-яка людина одразу відзначить наявність двох округлих об'єктів у злитті.

Виникає запитання: що дає нам змогу бачити ці складові в межах однієї структури? Відповідь на це питання дала ключ до розв'язання задачі. Алгоритм, який ми інтуїтивно застосовуємо в такому випадку, містить в собі послідовність певних припущень про можливий розмір об'єктів та заздалегідь відомі опуклості форм об'єктів, що наведені на зображеннях. Опишемо хід думок людини, які дають розв'язання такої задачі.

Знаючи, що на зображенні повинні бути опуклі об'єкти, людина помічає невідповідність цій умові певного об'єкта. Тоді стає помітною відмінність між продовженням контуру в місці злиття і тим продовженням, яке було б за наявності опуклого об'єкта. Аналізуючи конур об'єкта і прогнозуючи слідування наступних пікселів контуру, людина виявляє наявність двох об'єктів в об'єднанні. Після цього за допомогою припущення можна відновити частину контуру об'єктів, яка прихована в місці злиття.

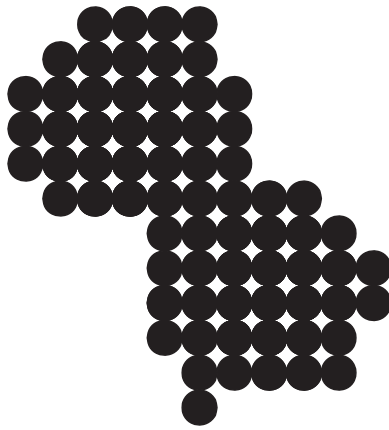
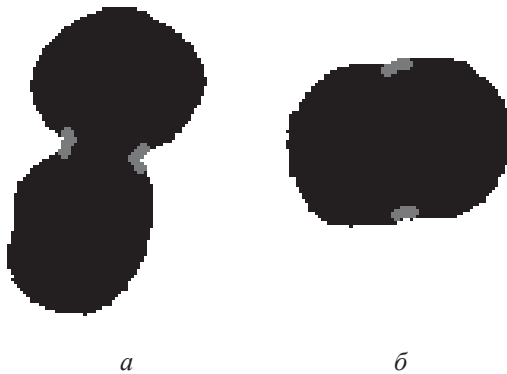


Рис. 2. Попіксельне представлення конгломерату

Основною ознакою конгломерату стало те, що у місці злиття опуклих об'єктів завжди виникає різка зміна напрямку слідування контуру об'єкта (див. рис. 3, а). Виняток становлять злиття при яких об'єкти накладаються значною частиною своєї площі. Таке злиття показано на рис. 3, б. На ньому практично відсутня різка зміна ходу контуру в місці накладання.

Така різкість зміни ходу контуру викликає місцеве потоншення перерізу конгломерату. На такому явищі й оснований метод розділення зрізуванням шарів.



*Рис. 3. а – перепад ходу контуру в місці злиття;
б – відсутність перепаду контуру за значної площі накладання*

Оскільки у місцях злиття об'єктів наявне потоншення, то під час виконання поступового видалення шарів об'єкта, починаючи з контуру, ми рано чи пізно отримаємо розрив конгломерату в місці злиття. Результатом розриву стануть у цьому випадку дві частини конгломерату, які складаються з пікселів, що належать лише окремому об'єкту.

Опишемо детально метод зрізування шарів, оснований на вищенаведених засадах.

В його основі лежать дві основні мети (підзадачі):

- виконати зріз шарів об'єкта до його розділення на складові;
- відновити видалені шари окремо для кожного компонента конгломерату.

Підзадачі, по суті, взаємно обернені.

Видалення шарів конгломерату фактично полягає у повторюваній операції видалення контуру конгломерату. Контуром вважається сукупність пікселів, які становлять зовнішню межу об'єкта і дотикаються до фонових пікселів зображення.

На рис. 4, б 1 – пікселі конгломерату, які входять до першого зрізаного шару, а на рис. 4, в 2 – пікселі другого зрізаного шару. Як видно з цього рисунка, в результаті двох зрізів було отримано дві групи пікселів (А та В), які являють собою незалежні фрагменти об'єктів, що утворили дослідний конгломерат.

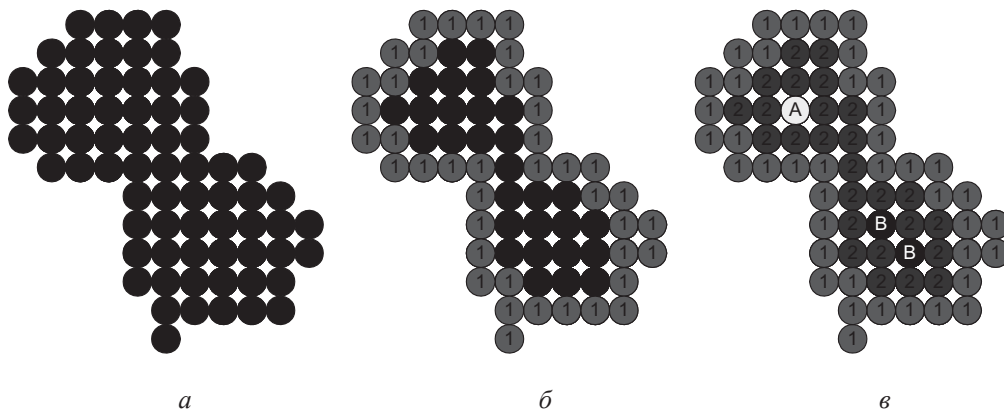


Рис. 4. Зріз шарів контуру конгломерату до повного його розділення на дві окремі клітини:
 а – вхідне зображення клітини; б – зріз першого шару; в – зріз другого шару

Наступним кроком є відновлення видалених шарів. Важливим на цьому етапі є недопущення повторного злиття об'єктів. Вирішенням цієї проблеми став метод зворотного нарощення шарів. Відновлення шарів виконується у порядку, протилежному до зрізування. Перед початком цього процесу отримані фрагменти об'єктів переносять на різні зображення. Відновлення відбувається окремо для кожного з них.

На рис. 5, а продемонстровано вхідний набір інформації для процесу нарощення. Це незалежні фрагменти об'єктів (А та В) та проіндексовані пікселі зрізаних шарів. Отже, на вході процедура відновлення об'єктів, які формували конгломерат, одержує набір його незалежних фрагментів та сукупність шарів зрізу.

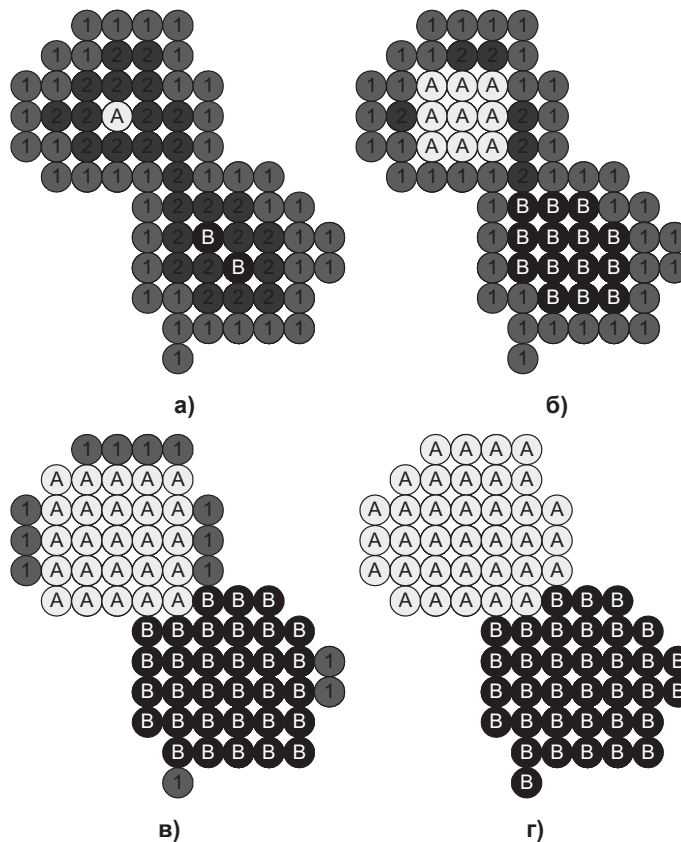


Рис. 5. Відновлення шарів окремих клітин:
 а – вхідне зображення конгломерату зі зрізаними шарами та відокремленими його складовими (об'єкт А та об'єкт В); б – відновлення першого шару;
 в – відновлення другого шару; г – відновлення третього шару

Відновлення виконується по чергово для кожного віднайденого об'єкта. Процедура нарощування розпочинає аналіз зрізаних шарів у порядку, протилежному до процесу їх отримання. Для нашого прикладу робота почнеться із шару 2 для об'єкта А. Аналіз пікселів контуру полягає у пошуку тих з них, які є дотичними до віднайденого об'єкта А. Якщо такі пікселі знайдені, то вони помічаються у певний спосіб. Наприкінці перебору, коли усі пікселі шару 2 перевірені, виконується відновлення поміченої їх частини. Такі пікселі вважаються на наступних ітераціях приналежними об'єкту А. Далі процес повторюється для шару 1. Отриманий таким способом об'єкт А є вже самостійним, відділеним від конгломерату. Завершивши обробку об'єкта А, алгоритм переходить до об'єкта В. Для нього усі операції повторюються. Важливо пам'ятати, що пікселі шарів, віднесені до об'єкта А, беруть участь і у відновленні об'єкта В на рівних правах із іншими пікселями шарів, які ще не були задіяні.

На рис. 5, б і в також помітні групи пікселів, які входять в певний шар, але не можуть бути відновлені за ознакою дотику до об'єкта, оскільки вони безпосередньо дотичні лише до інших пікселів свого шару та інших шарів. Така ситуація виправляється аналізом таких "залишків" після відновлення усіх об'єктів. Залишкові пікселі аналізують у послідовності зменшення номера шару, якому вони належать, і приписуються об'єкту, до якого вони найближче розташовані і дотикаються. Результат завершеного відновлення наведено на рис. 5, г.

3.3. Метод ідентифікації конгломератів на зображенні

Перед виконанням операцій класифікації потрібно розділити всі об'єкти на три основні класи: конгломерати; не конгломерати; об'єкти з шумами. Для розв'язання цієї задачі можуть використовуватись два підходи.

Перший підхід: подальша фільтрація вхідного зображення – це застосування низки фільтрів та їх поєднань, а саме: контрастування, спектральний аналіз, морфологічних, оконтурювання (Собеля) тощо. Якщо один об'єкт розділюється на декілька окремих одиниць, можна припустити, що це конгломерат. Недоліком цього підходу є те, що використані фільтри працюватимуть лише на певних типах зображень. Це спричинено тим, що здебільшого структура конгломератів настільки складна, що характеристики кольору в межах злиття не відрізняються від характеристик окремо взятих об'єктів. Отже, здебільшого при зміні параметрів вхідної інформації фільтри та їх параметри також змінюватимуться.

Другий підхід – аналіз геометричних характеристик об'єктів. Для використання цього алгоритму достатньо здійснити попередню обробку інформації, а саме привести зображення до бінарного вигляду: фон на зображенні позначений одним значенням (0), а зображення клітин іншим (1).

Іншим можливим рішенням є метод аналізу контуру. Він призначений для визначення того, чи об'єкт є конгломератом. Метод побудований на основі аналізу форми об'єкта. Клітини за своєю формою є неправильними еліпсами (відсутність симетрій відносно радіусів), а отже, ця характеристика може стати основною для ідентифікації об'єкта як конгломерату. Контур кожного окремого об'єкта, що не є конгломератом, задовольняє таке правило: нехай початковий рух відбувається у напрямі "північний-схід" та за годинниковою стрілкою, в такому випадку наступні кроки будуть такі: "південний-схід", "південний-захід", "північний-захід", причому неможлива зміна цієї послідовності та наявність повторів у цій схемі. На рис. 6 наведена схема зміни напрямку контуру.

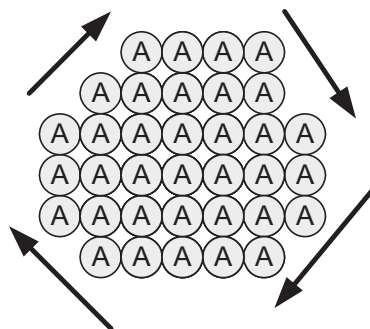


Рис. 6. Характеристики зміни напрямку контуру для одного об'єкта

Якщо зміна напрямку контуру не відповідає схемі, цей об'єкт можна ідентифікувати як конгломерат, який потрібно розділити перед подальшим аналізом.

На рис. 7. наведено схему, коли це правило не виконується через те, що на зміну напрямку "південний-схід" приходиться "північний-схід", такий випадок не характерний для одного об'єкта. Отже, цю структуру можна зарахувати до класу конгломератів або до класу об'єктів, на які вплинув шум. Для пошуку таких змін використовується метод обходу контуру.

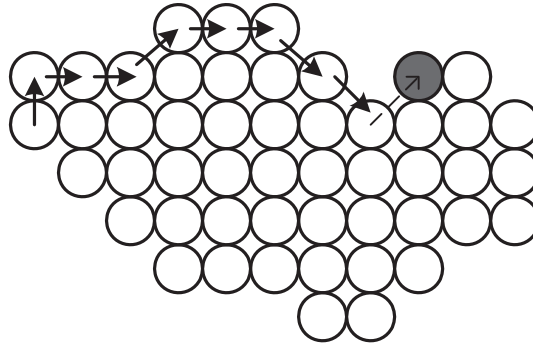


Рис. 7. Об'єкт з "надірваним" контуром

3.4. Метод обходу контуру об'єкта

Для пошуку локальних змін напрямку контуру потрібно зв'язано пройти всі точки, що дотикаються до фону і належать єдиному об'єкту. Нехай це зображення приведено до бінарного вигляду і записане в масив vec розмірами m, n , де значення, що дорівнюють 1, відповідають точкам, що належать об'єкту, 0 – що належать фону. Тоді для контурних точок справджується така умова:

Якщо $vec[x, y] = 1$

$$i \quad vec[x, y - 1] = 0 \vee vec[x - 1, y] = 0 \vee vec[x + 1, y] = 0 \vee vec[x, y + 1] = 0 \Rightarrow (x, y) \in K(A) \quad (1)$$

де $x = \overline{0, n}$; $y = \overline{0, m}$; $K(A)$ – контур об'єкта A ; A – масив точок, що формують об'єкт на нашому зображенні.

Простий перебір всього зображення для пошуку всіх точок, що задовольняють умову (1), унеможливило збирання даних про зміни напрямку контуру. Єдиним підходом для отримання таких даних є метод обходу контуру за принципом сусідства.

Першим кроком цього методу є захоплення двох контурних точок об'єкта, що є "сусідами", тобто дотикаються одна до одної. Для цього можна застосувати метод простого перебору матриці vec з метою знаходження контурної точки; сусідню контурну точку знаходять за принципом аналізу 8 точок, які оточують цю.

Наступним кроком є встановлення напрямку руху контуру. Цей параметр визначається зі співвідношення координат початкових точок.

Нехай $Point1, Point2$ – початкові точки; $x1, y1, x2, y2$ – відповідно їх координати, тоді напрям руху розраховується за табл. 1.

Таблиця 1

Розрахунок алгоритму обходу контуру

$x2 - x1$	$y2 - y1$	Напрямок
1	1	1
0	1	2
-1	1	3
1	0	4
-1	0	5
1	-1	6
0	-1	7
-1	-1	8

Після встановлення початкового напрямку здійснюється подальший рух по контуру об'єкта. На всіх подальших ітераціях важливим є порядок аналізу пікселів для встановлення приналежності до контуру. Попередньо обчислений напрямок визначається одним з можливих випадків, наведених на рис. 8. Нумеровані кола позначають пікселі, які потрібно перевіряти на приналежність до об'єкта в порядку нумерації. Процес аналізу контуру зупиняється тоді, коли поточні координати збігаються з початковими, з яких розпочався обхід. Зміна напрямків, яка визначається з табл. 1, є тією характеристикою контуру об'єкта, яка може ідентифікувати цей об'єкт як конгломерат, або зумовити твердження, що цей контур зазнав впливу шумів.

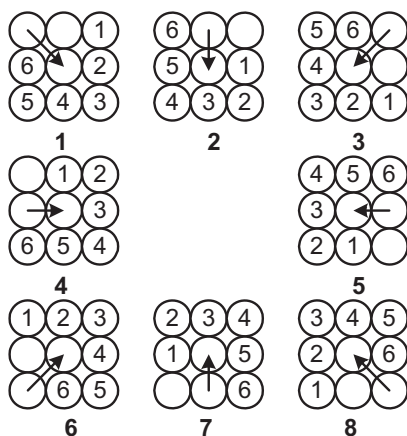


Рис. 8. Правила встановлення порядку аналізу пікселів на приналежність їх до контуру об'єкта

3.5. Алгоритм автоматичного розділення конгломератів

В основі цього алгоритму лежать вищезгадані методи аналізу контуру та зрізування шарів. Для реалізації цієї моделі необхідна наявність двох допоміжних буферів. Один з буферів має зберігати об'єкти, які піддаються процесу подальшого зрізування шарів, другий – об'єкти, що потребують нарощування шарів. У структурі цього алгоритму є три основні блоки:

Блок перший – підготовчі кроки, що є приведенням зображення до певного стандарту:

1. Крок перший – відсіювання фону. Основним завданням цього етапу є відсіювання фону на зображенні. Для цього можна застосувати алгоритми, що можуть бути основані на пошуку межі яскравості кольору фону, методах оконтурювання та кластеризації.
2. Крок другий – приведення зображення до бінарного вигляду. На цьому етапі потрібно звести зображення до вигляду, який задовольнятиме такі умови:
 - ✓ фон відображає білий колір;
 - ✓ об'єкти позначено чорним кольором.

Саме з таким зображенням і працюють вищезгадані методи пошуку конгломератів та зрізування шарів.

На рис. 9 наведено зображення, приведенне до бінарного вигляду.

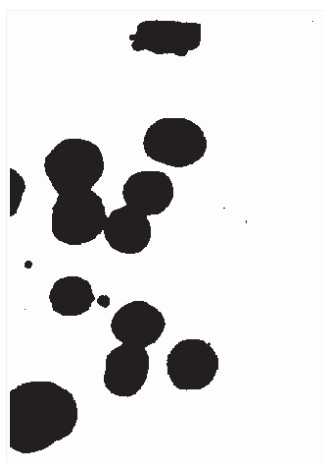


Рис. 9. Зображення клітин крові, приведенне до бінарного вигляду

Блок другий – етап зрізування шарів

1. Крок перший – виділення одного об'єкта. На цьому кроці основним є виділення об'єкта на бінарному зображенні для подальшого його аналізу. Для цього можна використати метод об'єднання всіх сусідніх точок, що будувється також на основі аналізу матриці 3x3.
2. Крок другий – аналіз об'єкта на наявність локальних змін напрямку ходу контуру. В разі наявності таких змін цей об'єкт копіюється в буфер для подальшого зрізування шарів, в іншому випадку – в буфер об'єктів, які потребують нарощування шарів.
3. Крок третій – пошук наступного об'єкта на вхідному зображенні. У випадку успішності пошуку перехід до етапу 1.
4. Крок четвертий – перевірка наявності в буфері об'єктів, що потребують подальшого зрізування шарів. У разі відсутності таких об'єктів перехід до кроку 6.
5. Крок п'ятий – зрізування шарів та їх індексація. Заміна вхідного зображення на буфер для зрізування шарів. Перехід на пункт 1.
6. Етап шостий – завершення процесу зрізування шарів об'єктів.

На рис. 10 наведено бінарне зображення, що пройшло процес приведення всіх об'єктів до одного стандарту: відсутність локальних змін напрямку ходу контуру.



Рис. 10. Зображення об'єктів, що пройшло процес зрізування шарів контуру

Блок третій – етап нарощування шарів та виділення контурів об'єктів:

1. Крок перший – аналіз наявності зрізаних шарів за цим індексом (при першому входженні – це максимальний номер шару, який був зрізаний).
2. Крок другий – нарощення шару із заданим індексом. На цьому кроці відновлюється шар із заданим індексом, що дотикається до цього об'єкта.
3. Крок третій – аналіз зображення на наявність шарів, що ще не відновились. У разі наявності перехід на етап 1.
4. Крок четвертий – позначення контурів об'єктів на вихідному зображенні.

На рис. 11 наведено бінарне зображення, що пройшло весь процес розділення конгломератів.




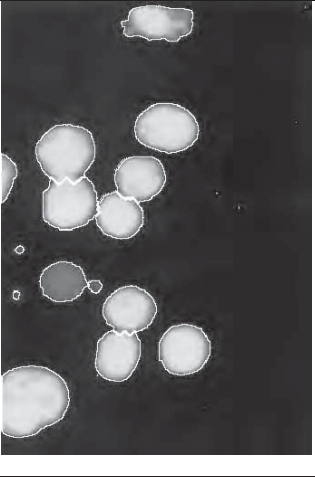
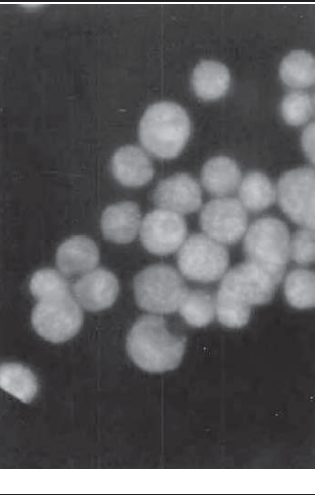
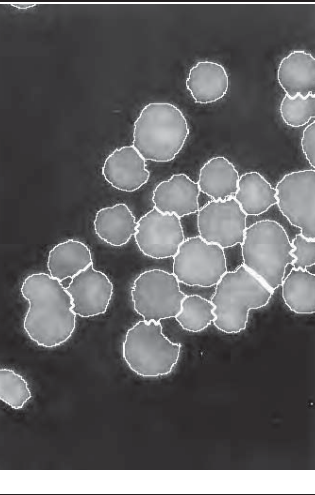
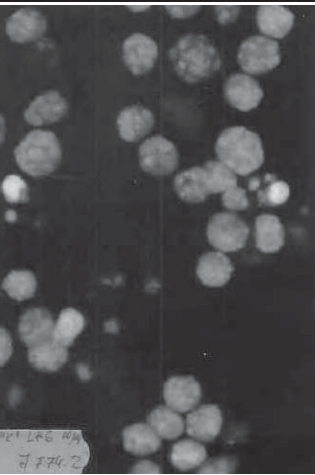
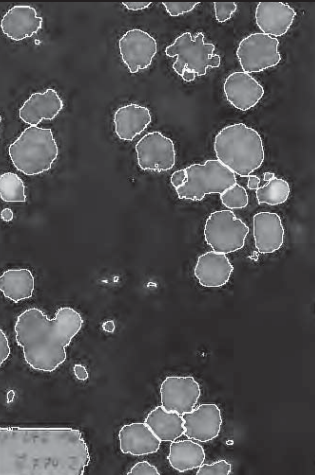
Рис. 11. Зображення об'єктів, що пройшло всі етапи обробки

3.6. Тестові запуски

У табл. 2 наведено результати тестових запусків, які демонструють ефективність алгоритму та рівень складності вхідних зображень, які він успішно здатний обробити.

Таблиця 2

Таблиця результатів роботи програми

Вхідне зображення	Результуюче зображення
	
	
	

4. Висновки

Ефективність описаного методу розділення конгломератів клітин доведена на практиці. Детально розглянувши результати тестових запусків програми, здійснених на реальних зображеннях клітин, з якими повсякденно працюють мікробіологічні лабораторії, можна відзначити достатньо високу якість опрацювання конгломератів. Це характеризує виконані дослідження як успішні.

Розроблений метод є достатньо простим, інтуїтивно зрозумілим і зручним для програмної реалізації. Мінімальна кількість керуючих параметрів і практично повна незалежність від типу опрацьовуваних об'єктів дає змогу розширювати сферу застосування запропонованої методики.

1. Форсайд Д. *Компьютерное зрение; Современный подход* / Д. Форсайд, Ж. Понс. – М., СПб., К.: Вильямс, 2004, 926 с. 2. В.В. Грицик. *Технічні та програмні засоби розпізнавання та аналізу зображень складних біологічних об'єктів* / В.В. Грицик, М.А. Влах. – Львів.: ІТІС, 2005. – Т.8. – №1. – С.17–28. 3. Bucki R., *Modelling Flexible Production Systems, Artificial Intelligence, No. 4, Donetsk, 2009.* – P.113–118, ISSN 1561-5359. 4. Буцкі Р. *Управління процесами виконання замовлень в автоматизованих складських системах* / Р. Буцкі, П. Цесьля // *Моделювання та інформаційні технології.* – К., 2009. – Вип. 54. – С. 36–43. 5. Bucki R. *Information Linguistic Systems, Network Integrators Associates, Parkland, Florida, USA, 2007,* p. 102, ISBN 9780978860646. 6. Bucki R. *Thorough Analysis of the Technological Case Control, Management & Informatics, Network Integrators Associates, Parkland, Florida, Volume 1, No. 1, 2007,* pp. 68-112, ISSN 1939-4187. 7. Буцкі Р. *Комп'ютерне моделювання процесів управління виробничими лініями* / Буцкі Р., Марецький Ф. // *Державний комітет зв'язку та інформатизації України, Національна академія наук України, Державний науково-дослідний інститут інформаційної інфраструктури.* – Льві, 2006. – С.112, ISBN 9788360716168. 8. Грицик В. *Задача класифікації біологічних об'єктів* / В. Грицик, Н. Пелих // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Комп'ютерні науки та інформаційні технології".* – № 650. – 2009. – С.100–103. 9. *Взаємодія аналізаторів при прийомі інформації людиною.* – <http://slada.in.ua/2008/49>.

УДК 004.93

В.І. Дубровін, Є.М. Федорченко

Запорізький національний технічний університет,
кафедра програмних засобів

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБЛЕННЯ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ТА ОПЕРАТОРІВ СХРЕЩУВАННЯ

© Дубровін В.І., Федорченко Є.М., 2010

Розроблено генетичний алгоритм та оператор схрещування. Запропоновано застосування генетичних алгоритмів і операторів схрещування для розв'язання складних оптимізаційних задач. Виконані експерименти показують ефективність запропонованого генетичного алгоритму й оператора схрещування.

Ключові слова: генетичний алгоритм, оператор схрещування.

New modifications of a genetic algorithm and crossing operator are proposed. An application of genetic algorithms and crossing operators is suggested to solve complex optimization tasks. The experiments show the efficiency of the proposed genetic algorithm and crossing operator.

Keywords: genetic algorithm, crossing operator.

Вступ

Під час вирішення складних оптимізаційних завдань основною метою є пошук «кращого» рішення порівняно з отриманим раніше або заданим як початкове. Це пов'язано з тим, що для складної системи часто потрібно знайти хоч яке-небудь задовільне рішення, а проблема досягнення оптимуму відходить на другий план. Методи, основані на математичних обчисленнях, і перераховані методи, орієнтовані на пошук саме оптимального рішення, внаслідок надзвичайної складності завдання важко застосовувати [1–4].