

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АНАЛІЗУ СТРУКТУРНИХ ТЕКСТУР ДЛЯ ОПРАЦЮВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ АУТО- ТА КСЕНОГЕННИХ ТКАНИН

Стаття присвячена розв'язанню актуальної науково-технічної задачі автоматизації аналізу зображень ауто- та ксеногенних тканин шляхом розроблення інформаційної технології аналізу структурної текстури. Підкласом зображень ауто- та ксеногенних тканин є гістологічні зображення. Розроблено метод оцінки структурної атипії гістологічних зображень на основі теорії кристалографічних груп та дерева афінних перетворень, що дало можливість оцінити ступінь їх спотворення. Вдосконалено метод співставлення областей різної форми на основі знаходження відповідних точок за допомогою дискретних центральних моментів області. В результаті досліджень реалізовано інформаційну технологію аналізу структурних текстур зображень. Впровадження розробленої інформаційної технології дозволило підвищити рівень автоматизації опрацювання зображень на 10%. Інформаційну технологію впроваджено у ряді державних медичних установ України.

Ключові слова: аутоканина, ксеногенна тканина, гістологічне зображення, структурна текстура, групи симетрії на площині, інформаційна модель.

G.M. MELNYK

Ternopil National Economic University

INFORMATION TECHNOLOGY OF STRUCTURAL TEXTURE ANALYSIS FOR PROCESSING OF IMAGE OF AUTO- AND XENOGENIC TISSUE

Abstract - The article is devoted to the solution of urgent scientific and technical problems of automation of image analysis of auto- and xenogenic tissues through the development of information technology for the analysis of structural texture. Histological images is the subclass of images of auto- and xenogenic tissues.

A method for estimating of structural atypia of histological images is developed. It based on the theory of crystallographic groups and affine trees transformations. It makes it possible to estimate the degree of distortion. Improved method of comparing areas of different shapes based on finding of corresponding points using discrete central points of region.

Information technology for analysis of structural texture of images is developed. Implementation of the information technology has allowed to increase the level of automation of image processing by 10%. Information technology is implemented in a number of public health facilities Ukraine.

Keywords: autotissue, xenogenic tissue, microscopic images, structural texture, symmetry groups in the plane, information model.

Вступ

Актуальність. Згідно з даними статистичних досліджень на другому місці за рівнем смертності серед населення України та світу займають злоякісні новоутворення. У клінічній практиці для їх вивчення використовується світлова мікроскопія, яка є областю лабораторних досліджень, де домінує трудомісткий суб'єктивний якісний аналіз. В даній області досліджуються зображення ауто- та ксеногенних тканин. Аутоканина – власна тканина людини. Ксеногенно називають тканину тварин (наприклад свиней, коней), що використовується для задач регенерації тканин людського тіла. Зокрема, в ході верифікації попереднього діагнозу, подальшому лікуванні і плануванні терапії використовуються отримані за допомогою мікроскопа гістологічні зображення (ГЗ), котрі є підкласом зображень ауто- та ксеногенних тканин.

Протікання злоякісних процесів у аутоканінах людського тіла характеризується зміною їх структури. Аналіз даних змін виконується візуально, в результаті чого отримують якісну експертну оцінку. Вона є необхідною, але недостатньою, оскільки для повної характеристики патологічних процесів потрібні кількісні ознаки, які отримуються шляхом числового морфометричного аналізу, що зменшує суб'єктивізм дослідника. Крім того, проведення гістологічної експрес-діагностики, наприклад, під час хірургічного втручання, ставить додаткові вимоги до оперативності таких досліджень. Аналіз ГЗ показав, що вони містять структурні текстури. Такі текстури складаються з обмеженої множини непохідних елементів, що знаходяться у відношенні просторового порядку – мають структурні залежності. Отже, аналіз структурних властивостей ГЗ складається із операцій виділення непохідних елементів – мікрооб'єктів та оцінки структурних залежностей між ними. Аналіз існуючих автоматизованих систем опрацювання зображень ауто- та ксеногенних тканин (АСОЗАКТ) показав відсутність інформаційних технологій для аналізу структурних властивостей ГЗ. Розроблення та верифікація таких технологій ускладнені обмеженістю обсягів тестових вибірок зображень, зокрема нормальних тканин.

Методи виділення мікрооб'єктів висвітлені в роботах Ю. Скобцова, Л. Тимченка, А. Ruifrok. Дослідження в області розроблення методів структурного аналізу зображень проводили вітчизняні та закордонні вчені: С. Абламейко, С. Антошук, О. Ахметшин, В. Боюн, Ю. Василенко, Р. Воробель, В. Грицик, Р. Дуда, Р. Камінський, В. Кожем'яко, В. Крилов, В. Машталір, Л. Местецький, О. Тузіков, В. Файн, Я. Фурман., М. Шлезінгер, D. Chetverikov, R. Collins, D. Ebert, F. Musgrave, K. Perlin.

Аналіз існуючих методів структурного аналізу зображень показав такі недоліки: неінваріантність до повороту та зміни форми непохідного елемента. Методи аналізу, що використовують класифікацію груп симетрії на площині, обмежені лише штучними текстурами. В умовах зміни форми, колірних та текстурних ознак мікрооб'єктів перелічені недоліки не дозволяють підвищити рівень автоматизації процесу

морфометричного аналізу ГЗ.

Для усунення даних недоліків перспективним є використання методів структурного розпізнавання зображень на основі теорії кристалографічних груп у розвиток якої значний внесок зробили: Г. Вейл, О. Заморзаєв, Г. Коксетер, Ф. Кляйн, С. Федоров, А. Шенфліс, О. Шубніков. Не дивлячись на нескінченну різноманітність зображень структурних текстур, можлива скінченна множина варіантів розміщення непохідних елементів, що характеризується тільки 17-а групами симетрії на площині. Наявність афінних спотворень непохідних елементів та зв'язків між ними в структурній текстурі ГЗ спричиняє нескінченну кількість асиметричних структур. Визначення різниці між асиметричною та відомою симетричною структурами дозволить автоматизувати морфометричну оцінку патологічних змін тканин при злоякісних процесах.

Таким чином актуальною задачею є розроблення *інформаційної технології аналізу структурних текстур гістологічних зображень* для підвищення рівня автоматизації процесу *структурного аналізу зображень* ауто- та ксеногенних тканин.

Постановка задачі

Метою роботи є розроблення інформаційної технології аналізу структурних текстур на основі теорії кристалографічних груп для підвищення рівня автоматизації опрацювання зображень ауто- та ксеногенних тканин.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- провести аналіз методів та алгоритмів структурного аналізу зображень, методів класифікації текстур, сегментації гістологічних зображень і автоматизованих систем опрацювання зображень;
- розробити метод оцінки структурної атипії гістологічних зображень на основі теорії кристалографічних груп для визначення групи симетрії площини окремих структур мікрооб'єктів;
- вдосконалити метод співставлення областей різної форми на основі відповідних точок, знайдених за допомогою дискретних центральних моментів, для знаходження структурних залежностей між мікрооб'єктами;
- розробити інформаційну модель для представлення даних аналізу гістологічних зображень;
- створити інформаційну технологію аналізу структурних текстур та здійснити експериментальне дослідження запропонованих алгоритмів аналізу гістологічних зображень.

Огляд інформаційних технологій аналізу структурних текстур

Згідно даних статистичних досліджень на другому місці за рівнем смертності серед населення України та світу знаходяться онкологічні захворювання [1, 9]. Одним із основних методів числового морфометричного дослідження ракових захворювань є дослідження зразків аутотканин людини за допомогою світлового мікроскопа. Під час автоматизації досліджень використовують цифрові ГЗ. Об'єктами на ГЗ є окремі клітини та зрізи аутотканин певних органів, що є сукупністю організованих клітин. Характерною ознакою протікання злоякісних процесів є зміна структурної організації ауто- та ксеногенних тканин.

Процес опрацювання ГЗ розглядається як послідовність операцій його перетворення у потрібну форму. Проаналізовано склад та функції АСОЗАКТ, узагальнену структуру схему якої наведено на рис. 1. Виявлено відсутність операцій аналізу структурних змін у тканинах і операцій створення навчальних вибірок зображень для верифікації систем опрацювання ГЗ [15].

Гістологічні зображення утворено непохідними елементами, а саме мікрооб'єктами із характерним просторовим розміщенням, що дозволяє розглядати ГЗ як структурну текстуру. Для мікрооб'єктів у межах одного класу характерним є зміна розміру, форми, ознак стохастичної текстури та розподілу кольору. Структурний аналіз ГЗ полягає у виявленні повторюваних елементів і визначенні ознак, що характеризують їх структурні зв'язки.

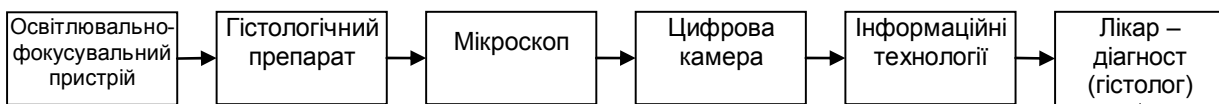


Рис. 1. Узагальнена структурна схема АСОЗАКТ

Методи структурного аналізу зображень розділимо на дві групи відповідно до наявності глобальних ознак зображення [9]. Методи першої групи ґрунтуються на знаходженні множини елементів і побудови гіпотези про їх зв'язки, базуючись на відповідності певній параметричній моделі. Перевагами даних методів є можливість виявлення повторюваних елементів на частині зображення і висока швидкодія. До недоліків належать опрацювання тільки об'єктів однакової форми, визначення трансляції та сусідства. Методи другої групи базуються на використанні автокореляційної функції. Їх перевагами є визначення всіх 17 груп симетрії на площині і стійкість проти шуму. Недоліки: аналіз тільки штучних зображень сітчастих орнаментів, неможливість розбиття на сегменти із різними групами симетрії, відсутність врахування спотворення елементів симетрії. Знаходження автокореляційної функції для кольорового зображення великого розміру є складною операцією і тому суттєво зменшує швидкодію опрацювання ГЗ.

Морфометричне дослідження, що виконується засобами АСОЗАКТ, розділимо на такі етапи: попереднє оброблення, створення віртуального слайду, розширення глибин фокусу, сегментація по інтенсивності, сегментація по текстурі, контурна сегментація, детекція ядер клітин, детекція цитоплазми,

детекція тканин, оцінка структурних змін ауто- та ксеногенних тканин. В існуючих АСОЗАКТ відсутні інформаційні технології аналізу структурних текстур ГЗ. Запропоновано визначити рівень автоматизації опрацювання ГЗ:

$$P = \frac{K_A}{K} * 100\%,$$

де K_A – кількість автоматичних операцій,
 K – загальна кількість операцій.

Методи аналізу структурних текстур

Процес аналізу структурних характеристик ГЗ користувачем автоматизованої системи полягає у детекції мікрооб'єктів (МО), виділенні необхідних структур, класифікації на нормальні та спотворені частини, оцінці їх площі та розмірів та інтерпретації результатів. Сучасні АСОЗАКТ забезпечують автоматизацію тільки першого кроку.

З метою автоматизації виділення шарів тканини, стінок залоз та судин розроблено методику текстурної сегментації [13], що використовує алгоритми обчислення математичного сподівання і дисперсії значень точок текстурного поля для проведення багатопорогової сегментації. За текстурну ознаку обрано функцію обчислення геометричних моментів-ознак у межах ковзаючого вікна. При сегментації гістологічних зображень кількість порогів обирається в залежності від кількості типів тканин, які потрібно виділити.

У якості структурних залежностей між МО обрано афінне перетворення $g \in G$ що переводить область одного МО в іншу, де G – множина всіх можливих афінних перетворень. Для знаходження перетворення між двома зображеннями або областями достатньо взяти три точки, які не лежать на одній прямій, на області O_1 і знайти відповідні їм точки області O_2 . Дана вимога справедлива для областей однакової геометричної форми.

Характерною властивістю ГЗ є зміна форми МО (клітин) одного класу та наближення їх до форми еліпса [2]. Тому пряма відповідність між точками двох областей при афінному перетворенні неможлива, навіть враховуючи похибку дискретизації. Для оцінки відмінності областей МО одна від одної використано площу області їх перекриття. Для двох компактних множин O_1 і O_2 визначено область перекриття

$$M = O_1 \Delta O_2 = (O_1 \setminus O_2) \cup (O_2 \setminus O_1), \quad (1)$$

де Δ – операція симетричної різниці.

Про розгляді областей одного класу з різною формою прийемо, що афінне перетворення g переводить область O_1 у O_2 з найменшою нормованою симетричною різницею:

$$s = \frac{|M|}{|O_1|}. \quad (2)$$

Для удосконалення методу співставлення областей різної форми на контурах МО запропоновано обчислення дискретних моментів області, які характеризують область, проте обчислюються не на основі ознак контуру.

На основі моментів визначаються осі інерції області, що відповідають великій і малій осям і еліпса зображення. Орієнтація об'єкту визначається як кут нахилу великої осі до осі абсцис, а кут орієнтації

$$\theta = \frac{1}{2} \arctg \frac{2m_{1,1}}{m_{2,0} - m_{0,2}}, \quad (3)$$

де $m_{i,j} = \sum_{(x,y) \in O} (x - \bar{x})^i (y - \bar{y})^j$ – центральний момент;

\bar{x}, \bar{y} – середньовибіркові значення,

i, j – порядок моменту;

w – кількість точок області O .

Метод співставлення областей різної форми складається з таких кроків:

1. Обчислити координати центру інерції області $M(x_c, y_c)$ та кут орієнтації області згідно з (3).
2. Побудувати пряму a , яка лежить на великій осі, проходить через $M(x_c, y_c)$ і перетинає контур об'єкту в двох точках A і B . Точки перетину обираються так, щоб виконувалась умова $|AM| > |MB|$ (рис. 2,а).
3. Провести пряму b перпендикулярно до a в точці центру інерції. Пряма b перетне опуклий контур в двох точках C і C' . Обрати третю відповідну точку C таким чином, щоб виконувалась умова $|CM| > |MC'|$ (рис. 2,а).
4. Визначити афінне перетворення, що переводить область O_1 у область O_2 .

Для дослідження удосконаленого методу проведено його тестування з використанням бази даних (БД) гістологічних зображень Breast Cancer Dataset та БД мікрооб'єктів, сформованої в патологоанатомічного бюро м. Тернополя. Результати експериментів підтверджують доцільність застосування дискретних центральних моментів при розв'язанні задачі відповідності двох областей одного класу з різною формою. Удосконалений метод дозволив зменшити величину нормованої симетричної різниці співставлених областей (2) на 8% у порівнянні із методом січних та методом серединного

перпендикуляра (рис. 2,б).

Гістологічне зображення представлено як асиметричне зображення [1, 12]. Визначення асиметричного зображення дано через визначення симетричного, що складається із елементарного зображення I_E , на основі якого за допомогою застосування оператора геометричних перетворень S отримано рапорт

$$P = S(I_E). \tag{4}$$

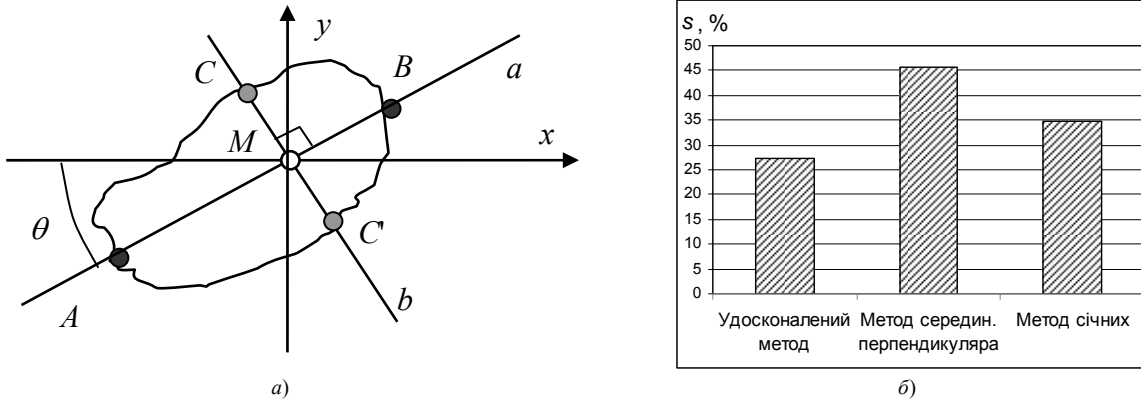


Рис. 2. Дослідження методу співставлення областей різної форми: а) відповідні точки на контурі області, б) нормована симетрична різниця областей при співставленні

Тоді рівняння асиметричного зображення:

$$I_A = jL_Y D_Y (iL_X D_X [T_n D_n (T_{n-1} D_{n-1} (T_{n-2} D_{n-2} \dots T_1 D_1 X)])), \tag{5}$$

де X – матриця координат елементарного зображення;

T_1, T_2, \dots, T_n – матриці породжуючих перетворень рапорту;

D_1, D_2, \dots, D_n – матриці спотворень рапорту;

L_X, L_Y – матриці трансляцій вздовж OX та OY ;

D_X, D_Y – спотворення осей трансляції відносно OX та OY ;

i, j – кількість ітерацій зсуву рапорту вздовж осей OX та OY відповідно.

Скомпонуємо породжуючі перетворення T і спотворення D у комбіноване перетворення C , отримаємо:

$$I_A = jC_Y (iC_X [C_n (C_{n-1} (C_{n-2} \dots C_1 X)])), \tag{6}$$

Для оцінки спотворень структур мікрооб'єктів на гістологічному зображенні потрібно знайти перетворення T і спотворення елементів симетрії D .

Для аналізу ГЗ запропоновано метод, що полягає в представленні його у вигляді дерева афінних перетворень (ДАП)

$$GR=(V,A), \tag{7}$$

де V – множина вершин, що представляють елементарні рисунки;

A – множина гілок.

Множина гілок A складається з множини гілок видів перетворень симетрії A_C та множини гілок зсувів A_L :

$$A = A_C \cup A_L.$$

Представимо послідовність гілок ДАП для множини k елементарних зображень у вигляді списку пар значень (C,L) :

$$g(A) = \{(C_i, L_j) | i = 1..k, j = 1..k\}. \tag{8}$$

Групу симетрії рапорту описано через впорядковану послідовність породжуючих перетворень між першим елементарним зображенням та всіма іншими:

$$g^*(P) = \{(T_i, L_j) | T \in T^*, i = 1..k, j = 1..k\}, \tag{9}$$

де T^* – множина всіх породжуючих перетворень симетрії для 17 груп на площині,

L – множина всіх матриць зсуву, що можуть утворити групи.

Визначення групи симетрії рапорту зводиться до послідовного поелементного порівняння знайденого списку $g(A)$ зі списками породжуючих перетворень кожної з 17 груп $g_r^*(P)$, $r = 1, \dots, 17$.

Вид породжуючого перетворення визначається на основі відстані:

$$d(C,T) = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 |c_{ij} - t_{ij}|, \tag{10}$$

де C – знайдене перетворення,

T – породжуюче перетворення.

Для рапорту визначено загальний коефіцієнт спотворення:

$$\delta_P = \frac{\sum_{u=1}^k \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 d_{ij}}{k}, \quad (11)$$

де k – кількість елементарних зображень у рапорті.

Для оцінки структурних змін тканини при злоякісних новоутвореннях введено коефіцієнт структурної атипії для зображення:

$$\delta_I = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_{P_i}}{n}, \quad (12)$$

де n – кількість рапортів на зображенні.

Проведено експериментальне дослідження коефіцієнта структурної атипії (12), шляхом класифікації тренувальної вибірки ГЗ тканин епітеліального шару із відомим класом зображення, обчислено показники чутливості та специфічності (табл. 1). При цьому використано БД обсягом 400 зображень.

Таблиця 1

Коефіцієнт структурної атипії тканин

Класи зображень	Коефіцієнт структурної атипії	Чутливість	Специфічність
Важка дисплазія	0,54-0,67	0,96	0,93
Помірна дисплазія	0,42-0,49	0,93	0,92
Нормальна тканина	0,25-0,41	0,95	0,94

Результати досліджень підтвердили характерність розробленого показника під час аналізу епітеліальних тканин на ГЗ.

Інформаційна модель даних

Для виконання лікарем-діагностом оцінки структурних змін у тканинах та керування синтезом тестових вибірок зображень запропоновано інформаційну модель (ІМ) даних ГЗ (рис. 3). Джерелами вихідної інформації є блоки [3, 4]: детекції МО, визначення відповідних точок, побудови ДАП та визначення векторів трансляції. Синтез гістологічного зображення відбувається за допомогою таких блоків: синтез зображення МО, синтез рапорту, трансляція рапорту. В точці діалогу лікар-діагност отримує інформацію про розміщення структур мікрооб'єктів та коефіцієнт їх спотворення і приймає рішення про зміну параметрів синтезу зображення мікрооб'єктів для формування тестової вибірки ГЗ. Блок переробки інформації V призначений для перетворення інформації про границі шарів аутоканини, групи симетрії рапортів структур мікрооб'єктів і коефіцієнтів спотворення.

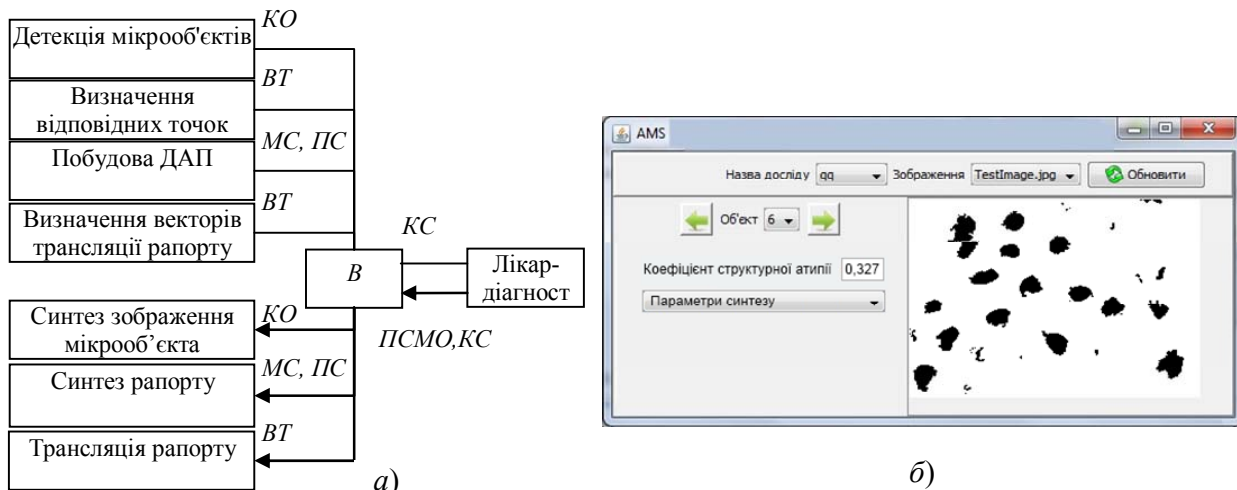


Рис. 3. Інформаційна модель даних для аналізу ГЗ: а) інформаційні масиви, б) відображення моделі за допомогою засобів графічного інтерфейсу

До інформаційної моделі входять такі інформаційні масиви: колірна ознака (КО), матриці спотворення (МС), породжуючі перетворення (ПС), вектори трансляції та спотворення (ВТ), параметри синтезу мікрооб'єктів (ПСМО), коефіцієнт структурної атипії (КС).

Для створення тестових ГЗ запропоновано розділити процес синтезу на два етапи [10, 11, 14]: створення зображень МО та розміщення їх на площині. Розроблено метод синтезу зображень МО, який дозволяє будувати зображення із заданими параметрами роздільної здатності, кольору, текстури та контуру. Клітина складається із областей округлої форми, заповнених кольоровою стохастичною текстурою. Метод базується на аналізі кольору вхідного зображення МО, синтезі текстурного зображення області, зафарбовуванні текстурного зображення області, генерації контуру області.

Інформаційна технологія

Програмну реалізацію системи виконано за допомогою середовищ розробки Microsoft Visual Studio 2008 Express Edition, IntelliJ IDEA Community Edition та бібліотек алгоритмів опрацювання зображень OpenCV, Libnoise. Розроблені методи і алгоритми програмно реалізовані у вигляді блоків програмного комплексу АСОЗАКТ [5–8]. На рис. 4 наведено приклад результатів опрацювання фрагменту ГЗ.

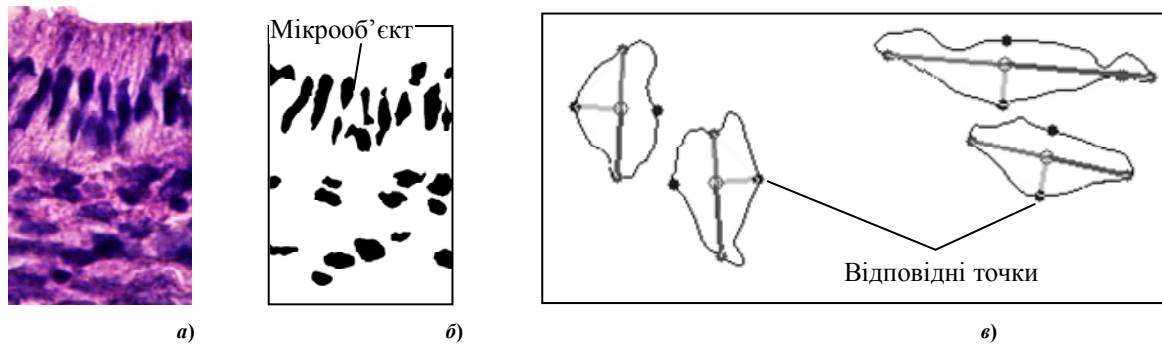


Рис. 4. Аналіз гістологічного зображення: а) вхідне зображення, б) детектовані мікрооб'єкти, в) фрагмент із визначеними відповідними точками на контурах мікрооб'єктів

Оцінено рівень автоматизації процесу опрацювання ГЗ при застосуванні розробленої технології (рис. 5).

Порівняльний аналіз підтвердив ефективність запропонованої інформаційної технології, оскільки її застосування дозволило збільшити рівень автоматизації на 10% у порівнянні з найкращим аналогом – системою Відеотест Морфологія (Росія). Оцінено середній час виконання сукупності операцій для опрацювання зображень епітеліального шару шийки матки. При цьому розмір тестової вибірки склав 400 зображень. Показано, що застосування розробленої технології дозволило зменшити час опрацювання в середньому у 1,7 разу.

Висновки

Розроблено інформаційну технологію аналізу структурних текстур, яку застосовано в автоматизованій системі опрацювання зображень ауто- та ксеногенних тканин, яка проводить сегментацію, обчислення інформативних ознак мікрооб'єктів, структурний опис гістологічних зображень, статистичне оброблення та вивід результатів аналізу. Це дозволило збільшити рівень автоматизації на 10% у порівнянні з відомою системою-аналогом та, зокрема, зменшити середній час опрацювання зображень епітеліального шару шийки матки в 1,7 разу.

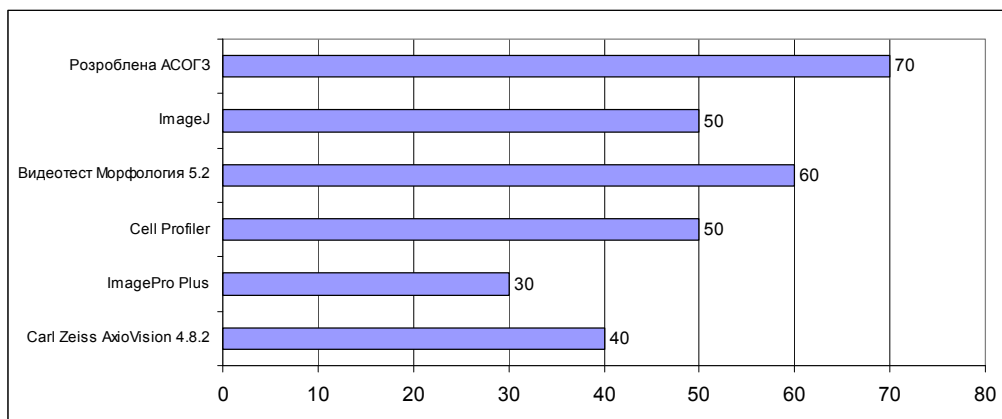


Рис. 5. Результати порівняльного аналізу рівня автоматизації опрацювання ГЗ

Література

1. Мельник Г.М. Метод і алгоритми аналізу симетричних зображень / Г.М. Мельник // Штучний інтелект – 2010. – № 4. – С. 253–261.
2. Мельник Г.М. Метод знаходження відповідних точок на контурах мікрооб'єктів біомедицинської природи / Г.М. Мельник // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2012. – № 732. – С. 343–350.
3. Мельник Г.М. Інформаційна технологія опрацювання гістологічних зображень / Г.М. Мельник // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2012. – № 5. – С. 154–161.
4. Березький О. М. Аналіз та генерування зображень біологічної природи / О. М. Березький, Г. М. Мельник // Моделювання та керування станом еколого-економічних систем регіону. – 2006. – Т. 3, – С. 69–77.
5. Березький О.М. Інформаційно-аналітична система дослідження та діагностування пухлинних клітин на основі аналізу їх зображень / О.М. Березький, Ю.М. Батько, Г.М. Мельник // Вісник

Хмельницького національного університету – 2008. – Т. 3, № 4 (113). – С. 33–41.

6. Березький О.М. Комп'ютерна система аналізу біомедичних зображень / О.М. Березький, Ю.М. Батько, Г.М. Мельник // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2009. – № 650. – С. 11–18.

7. Березький О.М. Синтез альтернативних рішень при структурному проектуванні систем автоматизованої мікроскопії / О.М. Березький, К.М. Березька, Ю.М. Батько, Г.М. Мельник // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2009. – № 638. – С. 64–72.

8. Березький О.М. Методи сегментації біомедичних зображень / О.М. Березький, Г.М. Мельник, Ю.М. Батько // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 1 (144). – С. 188–195.

9. Мельник Г.М. Аналітичний огляд методів аналізу та синтезу текстурних зображень / Г.М. Мельник // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 2. Т.1. – С. 110–114.

10. Berezsky O. Biomedical Image Search and Retrieval Algorithms / O. Berezsky, G. Melnyk, Yu. Batko // Computing – 2008. – № 7. – P. 108–114.

11. Berezsky O. Modern Trends in Biomedical Image Analysis System Design / O. Berezsky, G. Melnyk, Yu. Batko // Biomedical engineering trends in electronics, communications and software – Rijeka, Croatia: InTech, 2011. – P. 461–480.

12. Березький О.М. Аналіз та генерування зображень біологічної природи / О.М. Березький, Г.М. Мельник // Матеріали міжнародної наукової конференції "Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій" (ISDMIT'2006), 15–18 травня 2006 р. – 2006. – Т.2. – С. 5–8.

13. Березький О.М. Текстура сегментація біомедичних зображень на основі просторових моментів / О.М. Березький, Г.М. Мельник, Ю.М. Батько // Матеріали 4-ї міжнародної науково-технічної конференції "Комп'ютерні науки та інформаційні технології", 15–17 жовтня, 2009, Львів. – Львів : ПП "Вежа і Ко", 2009 – С. 42–45.

14. Berezsky O. Synthesis of Complex Images on the Basis of Theory of Crystallographic Groups / O. Berezsky, K. Berezka, Y. Batko, G. Melnyk // Матеріали міжнародної IEEE конференції «Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications» (IDAACS'2009), 21–23 September 2009. – Rende (Cosenza), Italy, 2009. – P. 409–413.

15. Berezsky O. M. Design of Computer Systems for Biomedical Image Analysis / O. M. Berezsky, K.M. Berezka, G.M. Melnyk, Y.M. Batko // Proceedings of the Xth International Conference "The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics" (CADSM'2009), 24–28 February 2009, Lviv–Polyana. – Lviv : Vezha&Co, 2009. – С. 186–192.

References

1. G. Melnyk, "Metod i algoritmy analizu symetrychnykh zobrazen", Shtuchnyi intelekt, 4, 2010 pp. 253–261.
2. G. Melnyk, "Metod znaxodzhennya vidpovidnykh tochk na konturah mikroob'yektiv biomedychnoyi pryrody", Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika" "Kompiuterni nauky ta informatsiini tekhnolohii", 732, 2012 pp. 343–350.
3. G. Melnyk, "Informatsiina tekhnolohiia opratsiuvannia histolohichnykh zobrazen", Herald of Khmelnytsky National University. Tekhnichni nauky, 5, 2012 pp.154–161.
4. O. Berezsky and G. Melnyk, "Analiz ta heneruvannia zobrazen biolohichnoi pryrody", Modeliuvannia ta keruvannia stanom ekoloho-ekonomichnykh system rehionu, 3, 2006 pp. 69–77.
5. O. Berezsky, Yu. Batko and G. Melnyk, "Informatsiino-analitychna systema doslidzhennia ta diahnostuvannia pukhlynykh klityn na osnovi analizu yikh zobrazen", Herald of Khmelnytsky National University, 3, 2008 pp. 33–41.
6. O. Berezsky, Yu. Batko and G. Melnyk, "Kompiuterna systema analizu biomedychnykh zobrazen", Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". "Kompiuterni nauky ta informatsiini tekhnolohii", 650, 2009 pp. 11–18.
7. O. Berezsky, K. Berezka, Yu. Batko and G. Melnyk, "Syntez alternatyvnykh rishen pry strukturnomu proektuvanni system avtomatyzovanoi mikroskopii", Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika", 638, 2009 pp. 64–72.
8. O. Berezsky, G. Melnyk and Yu. Batko, "Metody sehmentatsii biomedychnykh zobrazen", Herald of Khmelnytsky National University. Tekhnichni nauky, 1 (144), 2010 pp.188–195.
9. G. Melnyk, "Analytychnyi ohliad metodiv analizu ta syntezu teksturnykh zobrazen", Herald of Khmelnytsky National University, 2, 2007 pp. 110–114.
10. O. Berezsky, G. Melnyk and Yu. Batko, "Biomedical Image Search and Retrieval Algorithms", Computing, 7, 2008 pp. 108–114.
11. O. Berezsky, G. Melnyk and Yu. Batko, "Modern Trends in Biomedical Image Analysis System Design", Biomedical engineering trends in electronics, communications and software, Croatia: InTech, 2011 pp. 461–480.
12. O. Berezsky and G. Melnyk, "Analiz ta heneruvannia zobrazen biolohichnoi pryrody", In "Intelektualni systemy pryiniattia rishen ta prykladni aspekty informatsiinykh tekhnolohii" (ISDMIT'2006), 15–18 may 2006 pp. 5–8.
13. O. Berezsky, G. Melnyk and Yu. Batko, "Teksturna sehmentatsiia biomedychnykh zobrazen na osnovi prostorovykh momentiv", In "Kompiuterni nauky ta informatsiini tekhnolohii" (CSIT), Lviv, Ukraine, Lviv: Vezha&Co, 15-17 October 2009 pp.42–45.
14. O. Berezsky, K. Berezka, Y. Batko and G. Melnyk, "Synthesis of Complex Images on the Basis of Theory of Crystallographic Groups", in Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2009), Rende (Cosenza), Italy, 21–23 September 2009 pp.409–413.
15. O. M. Berezsky, K.M. Berezka, G.M. Melnyk and Y.M. Batko, "Design of Computer Systems for Biomedical Image Analysis", Proceedings of the Xth International Conference "The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics" (CADSM'2009), Lviv–Polyana, Lviv: Vezha&Co, 24–28 February 2009, pp. 186–192.

Рецензія/Peer review : 18.10.2014 р.

Надрукована/Printed :27.11.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Цмоць І.Г.