

УДК 61:621.397.13/.398

А.В.ЛЯШЕНКО, Л.С. ГОДЛЕВСЬКИЙ, Д.М.БАЯЗИТОВ
Одеський національний медичний університет
А.Б.БУЗИНОВСЬКИЙ
КУ «Одеська обласна клінічна лікарня»

ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМА НА ОСНОВІ ДЕСКРИПТОРА ТЕКСТУРИ В РОЗПІЗНАВАННІ ВІДЕОЛАПАРОСКОПІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Аналіз за дескрипторами текстури лапароскопічного зображення дозволяє визначити наявність патологічних змін та прийняти рішення щодо остаточного діагнозу. В роботі вивчали ефективність застосування алгоритму розпізнавання ділянок відеолапароскопічних зображень органів черевної порожнини застосуванням каскадного класифікатора, який було навчено з використанням дескрипторів текстури типових патологічних процесів. Результати застосування алгоритму засвідчили, що найбільш високим число істинно-позитивних діагнозів було при діагностиці цирозу (83,4%) та гепатиту (82,9%).

Ключові слова: лапароскопічна хірургія, комп'ютерний зір, аналіз зображень, підтримка рішень.

А.В.ЛЯШЕНКО, Л.С. ГОДЛЕВСКИЙ, Д.Н.БАЯЗИТОВ
Одесский национальный медицинский университет
А.Б.БУЗИНОВСКИЙ
КП «Одесская областная клиническая больница»

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА НА ОСНОВЕ ДЕСКРИПТОРА ТЕКСТУРЫ В РАСПОЗНАВАНИИ ВИДЕОЛАПАРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Применение дескрипторов текстуры при анализе лапароскопических изображений позволяет определить наличие патологических изменений и принять решение в отношении окончательного диагноза. В работе изучали эффективность применения алгоритма распознавания участков видеолaparoscopic изображений органов брюшной полости применением классификатора, который был обучен с применением дескрипторов текстуры типичических патологических процессов. Результаты применения алгоритма свидетельствуют о том, что наиболее высоким число истинно-позитивных диагнозов было при диагностике цирроза (83,4%) и гепатита (82,9%).

Ключевые слова: лапароскопическая хирургия, компьютерное зрение, анализ изображений, поддержка решений.

A.V.LYASHENKO, L.S.GODLEVSKY, D.N.BAYAZITOV
Odessa National Medical University
A.B.BUZINOVSKY
Odessa Regional Hospital

THE USAGE OF ALGORITM BASED ON TEXTURE DESCRIPTOR IN THE RECOGNITION OF VIDEOLAPAROSCOPIC IMAGES

In accordance to texture descriptor exploration in the course of automatic laparoscopic images analysis it is possible to identify the presence of pathological changes and undertake the decision on the final diagnosis. In the work the effectiveness of the algorithm of the automatic diagnostics of zones of videolaparoscopic images of abdominal cavity on the basis of cascade classifier was investigated. The cascade classifier was learned with texture descriptors of typical pathological processes. The results on the usage of algorithm revealed that largest number of true positive diagnoses were registered in case of cirrhosis (83,4%) and hepatitis (82,9%) diagnostics.

Keywords: laparoscopic surgery, computer vision, analysis of images, support of decisions.

Постановка проблеми

Останнім часом дослідження текстури біомедичних цифрових зображень визначає ефективність діагностичних процедур при автоматизованому розпізнаванні захворювань шкіри, офтальмоскопічних порушень, діагностиці карієсу, а також при вивченні стану інших біологічних поверхонь, включаючи внутрішні органи, які візуалізують під час діагностичного лапароскопічного дослідження [3, 6, 9]. Дослідження текстури поверхні біологічного об'єкту полягає у визначенні регулярних та випадкових (нерегулярних) перепадів яскравості та кольору з наявними контурними характеристиками.

Формалізувати завдання опису ознак текстури можливо за допомогою розмірності множин ознак класу [10].

Таким чином, застосування дескрипторів текстури на зображеннях, які отримують під час лапароскопічного, чи ендоскопічного дослідження є важливим інформативним показником у встановленні відмінності від норми та діагностиці відповідних патологічних станів [1, 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Ефективність дослідження текстури зображення, як інформаційного діагностичного критерію, доведено при застосуванні комп'ютерної автоматизованої діагностики (КАД) злоякісних пухлин урази [5]. Саме порушення регулярних характеристик текстури за умов норми є діагностичним критерієм щодо розвитку пухлинного ураження ендометрію. Зважаючи на складність передачі текстури, як інформативної ознаки, яка має діагностичне значення, універсальним методом автоматизованого аналізу зображень – порівняння їх до відповідної норми, є використання бінарних зображень [7, 10]. Так, для норми гістероскопічних зображень характерним є більш висока медіана сірого кольору, а також більша гомогенність та менша контрастність у порівнянні до ендометрію з патологічними змінами [5]. В практиці лапароскопічної діагностики до текстурних особливостей відносять макроскопічні прояви артеріальної та венозної гіперемії у вигляді судинної сітки на поверхні тканини, в якій розвивається запалення [2]. Подібні прояви і їх автоматизована ідентифікація можуть слугувати універсальним показником наявності запалення, що певною мірою реалізовано в діагностиці апендициту [1, 2]. Пошук та ідентифікація відповідних текстурних дескрипторів для ранньої діагностики патологічних змін органів черевної порожнини є актуальним завданням для створення систем КАД захворювань органів черевної порожнини під час лапароскопічного діагностичного втручання [1, 11].

Формулювання мети дослідження

Метою роботи було створення та дослідження ефективності використання алгоритму розпізнавання об'єктів – ділянок відеолапароскопічних зображень органів черевної порожнини навчанням класифікатора за дескрипторами текстури.

Викладення основного матеріалу дослідження

Загальна схема КАД базувалась на реалізації алгоритму, який передбачав захоплення відео-зображення, гама-корекцію, масштабний аналіз текстури зображення, екстракцію характерних ознак з наступною селекцією та на завершальному етапі – класифікацію зображень [1]. Причому, класифікація зображень відбувалась за використання бази даних відповідних зображень та технологій навчання класифікатора за каскадними ознаками [6].

В дійсній роботі алгоритм визначення текстури ґрунтується на векторному значенні шаблонних лапароскопічних зображень (ЛЗ). Завдання алгоритму полягає в навчанні класифікатора за допомогою набору числових параметрів, які дають повну характеристику текстури об'єкта. При цьому застосування методу навчання за допомогою опорних векторів, відбувається за рахунок порівняння шаблонних ЛЗ з досліджуваним зображенням, де в результаті обчислюється відповідний вектор відмінності. В алгоритмі використовується локальний дескриптор, тобто попередньо маємо виділену область або частину зображення, яку необхідно описати.

Для опису текстури застосовували модифікований метод локальних бінарних шаблонів (ММЛБШ) [8, 12]. За допомогою даного методу можна виділити основні групи критеріїв, без дотримання чітких вимог до умов зйомки. Також за допомогою ММЛБШ можна реалізувати обчислення текстурних ознак в режимі реального часу.

Таким чином, підхід до розпізнавання зображень в алгоритмі має властивість візуальної подібності з еталонними відеокадрами та фотографіями, описаними при сегментації або класифікації еталонних текстур.

Зображення представлені з використанням фотометричних властивостей пікселів, які використовують точковий детектор. Наприклад, текстура цирозу печінки може відрізнитися, але ключові точки розпізнавання допоможуть ідентифікувати періодичність і симетрію.

Вхідне ЛЗ з ознаками патологічних змін $I_{i,j}$, необхідно представити у вигляді локалізованих областей $L_{x,y}^r$, де r – зони області $x = \overline{1, w}$, $y = \overline{1, w}$. Так як вибірка текстур має показник зображень 100, то значення $w=100$. Як наслідок, формування текстурних ЛЗ проводиться з використання ММЛБШ. Суть методу полягає в збільшенні радіуса аналізу пікселів, починаючи від центрального пікселя, з можливістю виділення ключових позначок. Виділяли основні текстурні особливості у вигляді ознак суміжних точок (Рис. 1).

За допомогою накладання на зображення сітки розбивали ЛЗ на квадрати, таким чином, щоб кожна зона виділеного квадрата включала 16 точок з радіусом окружності 2. Зображення переводиться в градацію сірого для більш безальтернативного визначення граничного значення кольору – білий (0), чорний (1).

Ознаки текстури за допомогою методу локальних бінарних шаблонів (ЛБШ) обчислювали за [4]. Таким чином, ММЛБШ можемо представити у вигляді [5] (1):

$$MMLBШ_{16,2} = \begin{cases} \sum_{p=1}^{16} g(s_p - s_c), \text{ якщо } Q \leq Q_2, \text{ то } g(x) = \begin{cases} 1, x \geq 0 \\ 0, x < 0 \end{cases} \\ P+1, \text{ інаше} \end{cases} \quad (1)$$

де P - число сусідніх пікселів;
 Q - зміна показників 0 або 1;
 $s_{p,c}$ - точки пікселів окружності;
 Q_2 – порогове значення;

g - функція (x) , яка описує значення інтенсивності елементів кола;

Виходячи з вище представленого, формували гістограми текстур окремих ділянок, які є дескрипторами виявлення патології за заданими значеннями еталона. Гістограми цих ділянок будуть визначенні, як (2):

$$H_i = \sum_{x,y} I(MMLBШ(x,y) = i), i = 1, \dots, n-1 \quad (2)$$

де H_i - гістограма, яка складається зі стовпців бінарного коду;
 n - число шаблонів;
 $I(x,y)$ - ЛЗ в градації сірого;
 $MMLBШ(x,y)$ - значення яскравості пікселів з координатами (x,y) .

При цьому якщо враховуючи сусідні зоні пікселів, то $n = 2^P$, тобто величина n залежить від кількості P .

Таким чином, функція $I(x)$, описує значення текстурних характеристик, але спотворення ЛЗ у вигляді інсуфляційних газів та капель рідини не дає провести повний аналіз зображення. Для забезпечення швидкості виявлення та роботи алгоритму, достатньою для проведення аналізу в реальному режимі часу проводили поділ показників на значущі і незначущі.

При аналізі зображення поверхні печінки при гепатиті ставили 9 характерних для гепатиту патернів. У відсіюванні незначущих показників орієнтувалися на появу поріділих наборів міток (Рис. 1), з допомогою яких ставили перший і другий рівень розпізнавання.

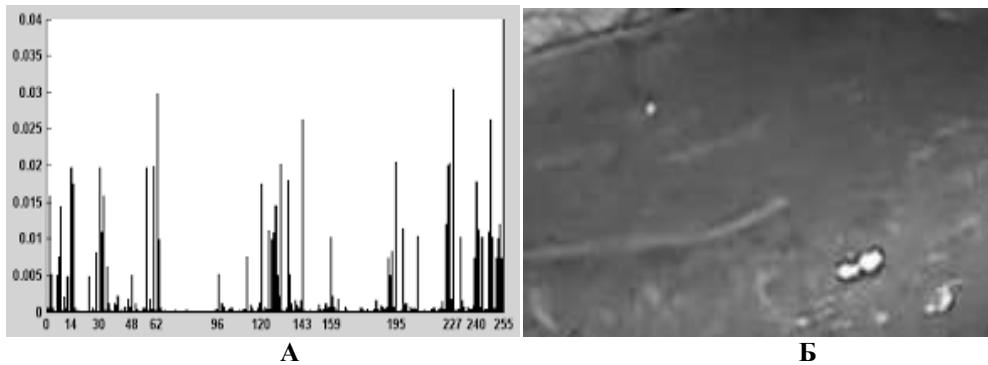


Рис. 1. Зображення текстури поверхні здорової печінки під час аналізу методом модифікованих бінарних шаблонів
Позначки: А- гістограма зображення поверхні печінки, Б – аналізоване зображення поверхні здорової печінки

Ступінь рівномірності між центральним пікселем та сусідніми визначає кількість переходів бінарного значення (3), рівномірними вважаються патерни які, мають не більше двох бінарних переходів в циклічному представленні ознаки:

$$U(MMLBШ_{16,2}) = \left| g(s_{16} - s_c) - g(s_0 - s_c) \right| + \sum_{p=1}^{16} \left| g(s_{p-1} - s_c) \right| \quad (3)$$

де $U(MMLBШ_{16,2})$ - ступінь рівномірності.

Вираз для обчислення ознак текстури з однаковим показником рівномірності, представлено у вигляді [6] (4, 5):

$$\text{ММЛБШ}_{16,2}^U = \begin{cases} s(\text{ММЛБШ}_{16,2}(x, y)), & \text{якщо } U(\text{ММЛБШ}_{16,2}) \leq 2 \\ 270, & \text{якщо } U(\text{ММЛБШ}_{16,2}) > 2 \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{де } s(\text{ММЛБШ}_{16,2}(x, y)) = \begin{cases} 0, & \text{ММЛБШ}_{16,2} = 0 \\ 269, & \text{ММЛБШ}_{16,2} = 255 \\ 16 \sum_{p=0}^{15} g(s_g - s_c) - 15 + \lg_2(\text{idx}), & \text{при } \text{ММЛБШ}_{16,2} \neq 0, 255 \end{cases}$$

Ознаки інваріантні до змін кутів огляду підвищують стійкість показників щодо проявів спотворення порогової функції:

$$\text{ММЛБШ}_{16,2}^{\text{riu2}} = \begin{cases} \sum_{p=0}^{15} g(s_g - s_c), & \text{якщо } U(\text{ММЛБШ}_{16,2}) \leq 2 \\ 17, & \text{якщо } U(\text{ММЛБШ}_{16,2}) > 2 \end{cases} \quad (5)$$

де $\text{ММЛБШ}_{16,2}^{\text{riu2}}$ – ознака, яка виражає особливості текстурних поворотів та граничних ліній.

Отримані результати навчали класифікатор і використовували для подальшого порівняння та виявлення об'єктів з огляду на типові особливості текстури: точки, лінії, кути, краї.

Ефективність методу при тестуванні текстурних ознак в режимі реального часу дозволило забезпечити розпізнавання текстур тканин печінки.

З метою оцінки точності розпізнавання текстури в відеопотоці обчислювали значення показника D за формулою (6):

$$D = \frac{E_P}{E} \quad (6)$$

де E_P – кількість позитивно розпізнаних захворювань;

E - загальна кількість відеофрагментів з наявним захворюванням.

Середня швидкість розрахунку розпізнавання ознаки текстури обчислюється за допомогою формули значення співвідношення пікселів в секунду [12] (7):

$$\text{Rate} = \frac{n_x n_y}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i} \quad (\text{пікселів / с}) \quad (7)$$

де $n_x n_y$ - розмір ЛЗ в пікселях;

N - число запусків розрахунку відповідних ММЛБШ ознак для ЛЗ;

T_i - фіксований час роботи алгоритму.

Відносна частота ідентифікації досліджуваних захворювань при навчанні класифікатора методом ММЛБШ зростала в порівнянні з такою при застосуванні для навчання методу локальних бінарних шаблонів на 8% (гепатит), 4% (цироз) і на 7% (патологія яєчників).

Алгоритм розпізнавання за ознаками текстури представлений на Рис. 2, де описується кадр відео потоку в реальному часі. В результаті роботи методу МЛБШ отримуємо більшу економію пам'яті та збільшення швидкості розпізнавання, чим при роботі класичного методу ЛБШ.

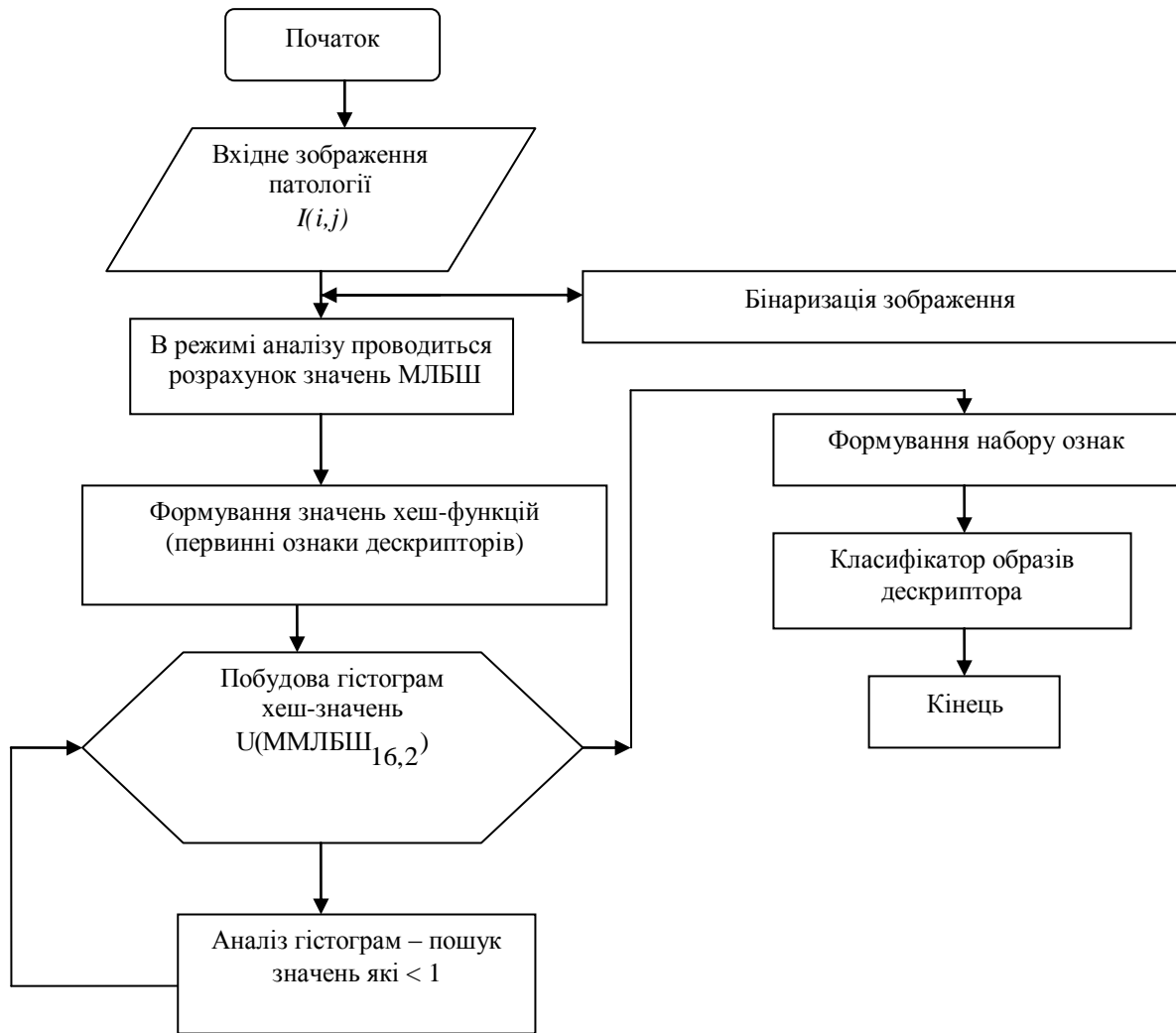


Рис. 2. Алгоритм локалізації патології за рахунок роботи текстурного алгоритму

Проведений у роботі аналіз результатів діагностики за розробленою технологією показав, що загальна ефективність – число істинно-позитивних діагнозів склала 58,3% (табл. 1).

Таблиця 1

Ефективність діагностики захворювань органів черевної порожнини і малої миски при застосуванні алгоритму ідентифікації патологічних змін за дескрипторами текстури (%)

№	Нозологічні форми захворювань	Загальна кількість тестових відео з підтвердженими діагнозами	Число істинно-позитивних діагнозів	Число хибно-позитивних діагнозів	Число хибно-негативних діагнозів
1	Метастази	25	13 (52,0)	6 (24)	6 (24)
2	Пухлини придатків матки	160	101 (63,1)	25 (15,6)	34 (21,3)
3	Цироз	12	10 (83,4)	1 (8,3)	1 (8,3)
4	Гепатит	35	29 (82,9)	4 (11,4)	2 (5,7)
5	Кіста печінки	25	12 (48,0)	10 (40,0)	3 (12,0)
6	Холецистит	120	55 (45,8)	33 (27,5)	32 (26,7)
Всього		377	220 (58,3)	79 (21,0)	78 (20,7)

Загальна кількість хибно-позитивних і хибно-негативних результатів розпізнавання склали відповідно 21,0% і 20,7%. При цьому найбільшим числом відзначалися хибно-негативні результати при діагностиці холециститу (26,7%) і метастатичного ураження печінки (24,0%). За ознакою зниження

кількості хибно-позитивних результатів досліджені нозологічні форми захворювання розташовувалися наступним чином: кіста печінки (40,0%), холецистит (27,0%), метастази печінки (24,0%), пухлини придатків матки (15,6%), гепатит (11,4%), цироз (8,3%) (Табл. 1).

Таким чином, отримані результати засвідчили, що дескриптори текстури при навчанні каскадного класифікатора є ефективними щодо діагностики певних захворювань органів черевної порожнини. Зокрема, використання розробленого алгоритму з використанням розробленої системи КАД найбільш ефективно дозволяє розпізнати цироз та гепатит, які взагалі є досить складними в розпізнаванні при застосуванні інших дескрипторів [1, 2]. Слід також зазначити, що вогнищеві ураження є більш складними в автоматизованій діагностиці за ознаками дескрипторів текстури. Цей результат вказує на необхідність застосування текстурних дескрипторів в комплексі з іншими дескрипторам, перш за все контуру, для підвищення ефективності автоматизованої діагностики подібних захворювань [10, 12].

Висновки

1. Застосування розробленого алгоритму на основі текстури в каскадному класифікаторі дозволяє ефективно проводити діагностику цирозу та гепатиту при яких спостерігались найбільш високі показники істинно- позитивних діагнозів - 83,4% та 82,9% відповідно.

2. Використання розробленого алгоритму є менш ефективним при діагностиці вогнищевих патологічних змін при яких істинно позитивні діагнози приймали значення від 61,% (пухлини придатків матки) до 45,8% (гострий холецистит).

Список використаної літератури

1. Інформаційно-технічна система автоматизованої лапароскопічної діагностики / А.В.Ляшенко, М.Р.Баязітов, Л.С.Годлевський [і співав.] // *Радіоелектроніка, інформатика, управління.* –2016. - №4(39). – С. 90-97.
2. Гуревич Н.А. Новые информационные технологии в профилактике интраоперационных осложненных лапароскопических операций в экстренной хирургии органов брюшной полости / Н.А. Гуревич, А.Н. Лызилов, А.Р. Гуревич // *Новости хирургии.* – 2007. – Т. 15, № 1. – С. 39-52.
3. Application of mobile photography with smartphone cameras for monitoring of orthodontic correction with dental brackets/ [L.S.Godlevsky, E.A.Bidnyuk, N.R.Bayazitov et al.]// *Chinese Journal of Modern Medicine.* – 2014. – No15. – P.10-14.
4. Boisvert J. Segmentation of laparoscopic images for computer assisted surgery/ J. Boisvert, F. Cheriet, G.Grimard // *13th Scandinavian Conference Image Analysis, June 29 – July 2, 2003, Halmstad, Sweden: Proceedings. Lecture Notes in Computer Sciences, 2003.* – Vol. 2749. – P. 587-594.
5. Computer-aided diagnosis in hysteroscopic imaging/ [M.S.Neofytou, V.Tanos, I.Constantinou et al.] // *IEEE J.Biomed.Health Inform.* – 2015. – Vol. 19(3). – P.1129-1136. DOI: 10.1109/JBHI.2014.2332760.
6. Deep Filter Banks for Texture Recognition, Description, and Segmentation/ M.Cimpoi, S.Maji, I.Kokkinos, A.Vedaldi // *Int. J. Comput. Vis.* – 2016.- Vol.118.- P.65-94.
7. Di Cataldo S., Ficarra E. Mining textural knowledge in biological images: Applications, methods and trends/ S.Di Cataldo, E.Ficarra // *Comput. Struct.Biotechnol.*- 2016.-Vol. 24;15: 56-67.
8. Ledoux A, Losson O, Macaire L. Color local binary patterns: compact descriptors for texture classification. *Journal of Electronic Imaging, Society of Photo-optical Instrumentation Engineers* 2016; 25(6): 061404. Available on <http://dx.doi.org/10.1117/1.JEI.25.6.061404>
9. Liu X, Shi J, Zhou S, Lu M. An iterated Laplacian based semi-supervised dimensionality reduction for classification of breast cancer on ultrasound images. 2014 36Th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2014. p. 4679–82.
10. Ojala T, Pietikainen M, Maenpaa T. Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on* 2002; 24(7): 971-87.
11. Tissue classification for laparoscopic image understanding based on multispectral texture analysis / [Y.Zhang, S.J.Wirkett, J.Iszatt et al.] // *Medical Imaging 2016: Image-Guided Procedures, Robotic Interventions, and Modeling.* - March 18, 2016 : SPIE Proceedings.- 2016.- Vol.9786; doi:10.1117/12.2216090
12. Zhu C, Bichot CE, Chen L. Multi-scale color local binary patterns for visual object classes recognition, *Proc ICPR 2010:* 3065-3068. DOI 10.1109/ICPR.2010.751.