

А.В. Ляшенко, асист.
Л.С. Годлевський, проф.
Д.Н. Баязітов, аспір.
А.Б. Бузиновський

Одеський національний медичний університет

ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМА НА ОСНОВІ ДЕСКРИПТОРА КОЛЬОРУ В РОЗПІЗНАВАННІ ЛАПАРОСКОПІЧНИХ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ

Класифікація зображень відповідно до певних нозологічних форм, які виявляють при лапароскопічному дослідженні органів черевної порожнини, передбачає застосування характеристик - дескрипторів кольору структур черевної порожнини підозрілих щодо патологічних змін. Однак до останнього часу поодинокі дослідження з питань створення комп'ютерних автоматизованих діагностичних (КАД) систем в лапароскопічній хірургії не визначало можливості діагностичних процедур за ознаками кольору. Тому метою роботи було дослідження ефективності використання алгоритму розпізнавання об'єктів – ділянок відеолапароскопічних зображень органів черевної порожнини навчанням каскадного класифікатора за дескрипторами кольору. Загальна схема КАД базувалась на реалізації алгоритму, який передбачав захоплення відео- зображення, гама-корекцію, конвертацію зображення із шкали RGB в шкалу HSV, екстракцію характерних ознак з наступною селекцією та на завершальному етапі – класифікацію зображень, яка здійснювалась з використанням бази даних відповідних зображень та технологій навчання класифікатора за каскадними ознаками. Отримані результати засвідчили, що застосування КАД дозволяє отримати істиннопозитивні результати розпізнавання найбільшим числом при розпізнаванні кістозного та метастатичного ураження печінки (відповідно 84,0 % та 68,0 %).

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

Постановка проблеми у загальному плані та аналіз основних досліджень, у яких започатковане розв'язання проблеми. Колір є інформативною ознакою у діагностиці багатьох захворювань. Зокрема, жовтяниця, її форма та ступінь розвитку може бути діагностовано за відповідними змінами кольору шкіри, вогнищеві запальні ураження з характерним червоним кольором, а також вогнищеві ураження ішемічного типу з переважанням білого кольору теж можуть бути діагностовано в автоматизованому режимі із застосуванням систем комп'ютерного зору [1, 2, 3]. Відмінності кольору в зоні макули є інформативними щодо ранньої діагностики діабетичної ретинопатії [4], а вогнищеве збільшення кількості білого світла на емалі зуба – інформативним щодо ранньої діагностики карієсу [5]. Таким чином, створення локальної ознаки на основі кольорових показників являє собою важливу задачу виявлення патологічного об'єкта.

На сьогодні немає чітких рекомендацій щодо протоколу інформаційних методів виявлення патології на лапароскопічних зображеннях, що потрібно здійснювати в реальному режимі та за короткий проміжок часу. Тому, слід випробувати методи, які довели свою ефективність в інших наукових галузях. Одним з таких методів є визначення ефективності вейвлетів Хаара для швидкого розпізнавання образів [6, 7]. Однак при ендоскопічній автоматизованій діагностиці поліпозного ураження кишковика за допомогою ендоскопів в дослідженні [8] було поставлено під сумнів ефективність застосування ознак Хаара та гістограми направлених градієнтів, що пояснюється надмірно високою вихідною різноманітністю орієнтацій патологічних утворень. Разом з тим, ефективність методу залежить як від обраних для навчання класифікатора дескрипторів, так і від якості самого навчання [6].

Метою роботи є дослідження з'ясувати ефективність використання алгоритму розпізнавання об'єктів – ділянок відеолапароскопічних зображень органів черевної порожнини навчанням каскадного класифікатора за дескрипторами кольору.

Викладення основного матеріалу. При розробці алгоритму брали до уваги кадр лапароскопічного зображення, характеристики якого можливо відобразити за допомогою набору гістограм кольорів відповідних каналів. Стандарт відеопослідовності MPEG-7, який був застосований в даному дослідженні, представлений в кольоровій палітрі RGB (комбінація червоного, зеленого і синього кольору). Зважаючи на особливості лапароскопічного зображення, а саме: переважання червоного каналу кольорів, наявність артефактів освітлення [9, 10], для розпізнавання об'єктів більш гнучкою є кольорова палітра HSV, так як пошук об'єкта можливо здійснити за характеристиками яскравості і насиченості кольору. Звідси, виникає необхідність переводу кольорової схеми RGB в HSV. Слід також зазначити, що визначення різниці кольорів – контрольних точок також є інформативним щодо контурних та текстурних ознак об'єкту [8].

Розроблений алгоритм аналізу ознак кольору відповідних об'єктів (Рис. 1) передбачав наступну послідовність дій.

Для виділення осередку патологічної зміни визначили показник кольору кожного пікселя відповідної множини пікселів зображення $A(x, y, H, S, V)$ [6] (1):

$$A(x, y, H, S, V) = \begin{bmatrix} a_{0,0}H, S, V & a_{1,0}H, S, V & \dots & a_{0,n-1}H, S, V \\ a_{0,1}H, S, V & a_{1,1}H, S, V & \dots & a_{n,n-1}H, S, V \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m-1,0}H, S, V & a_{m-1,1}H, S, V & \dots & a_{n-1,n-1}H, S, V \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де H – тон, S – насиченість, V – яскравість кольору. Вхідний кадр відеопослідовності позначали як $P(i, j)$, де (i, j) – координати пікселя p зображення P , який належить множині $p \in P(i, j)$. При цьому $M * N$ – розмір зображення, де $0 \leq i \leq M - 1$, $0 \leq j \leq N - 1$.

Для подальшої роботи з зображенням переводили кольорову шкалу RGB в HSV [6] (2):

$$V = \max(R, G, B)$$

$$S = \begin{cases} \frac{V - \min(R, G, B)}{V}, & \text{якщо } V \neq 0 \\ 0, & \text{інакше} \end{cases},$$

$$H = \begin{cases} \frac{60(G - B)}{S}, & \text{якщо } V = R \\ \frac{120 + 60(B - R)}{S}, & \text{якщо } V = G \\ \frac{240 + 60(R - G)}{S}, & \text{якщо } V = B \end{cases} \quad (2)$$

після чого здійснювали процедуру вирівнювання гістограми яскравості за допомогою методу еквалізації.

Наступним кроком задавали множину пікселів належних до об'єкту за наявними ідентичними пікселями $P_{local}(i_{local}, j_{local})$ – координати належать множині P_{local} . Причому, $0 \leq i_{local} \leq m - 1$, $0 \leq j_{local} \leq n - 1$, та $P_{local}(i_{local}, j_{local}) \in P(i, j)$.

Для створення вибірки згідно показників кольору проводили аналіз кадру щодо належності заданого діапазону значень кольору. На створеній вибірці локалізованого зображення проводили ідентифікацію ознак за кольоровими характеристиками відповідних патологічних відхилень від норми.

Після задання оптимальних граничних значень $H_{max}, H_{min}, S_{max}, S_{min}, V_{max}, V_{min}$, здійснювали перевірку кожного пікселя на предмет її належності до діапазону вибірки кольору T згідно моделі (3):

$$T = \left\{ (H_{max}, H_{min}) \cup (S_{max}, S_{min}) \cup (V_{max}, V_{min}) \right\}$$

$$\Delta I_h \in (H_{max}, H_{min}), \Delta I_s \in (S_{max}, S_{min}), \Delta I_v \in (V_{max}, V_{min}) \quad (3)$$

де $\Delta I_{h,s,v}$ – діапазон допустимого кольору для ідентифікації відповідних патологічних змін (нозологічної форми захворювання).

Кожну певну область пікселів співвідносили з вимогами до критеріїв, щодо діапазону кольору (4):

$$K_{rl} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } P_{local}(i_{local}, j_{local}, I_{P_{local}}) \in \Delta I_{h,s,v} \\ 0, & \text{інакше} \end{cases}, \quad (4)$$

де K_{rl} – головний критерій вибору нозологічної форми захворювання (1) чи відсутності патологічних змін (0), $I_{P_{local}}$ – колір локальних ідентичних пікселів P_{local} об'єкту.

При визначенні локалізації патологічних змін, наприклад «кіста печінки», за значенням діапазону кольору ознак модель пошуку модель M приймає вигляд (5):

$$M = \begin{cases} (H_{max}, H_{min}) & \text{якщо } \Delta I_h = \max \\ (S_{max}, S_{min}) & \text{якщо } \Delta I_s = \max \\ (V_{max}, V_{min}) & \text{якщо } \Delta I_v = \max \end{cases} \quad (5)$$

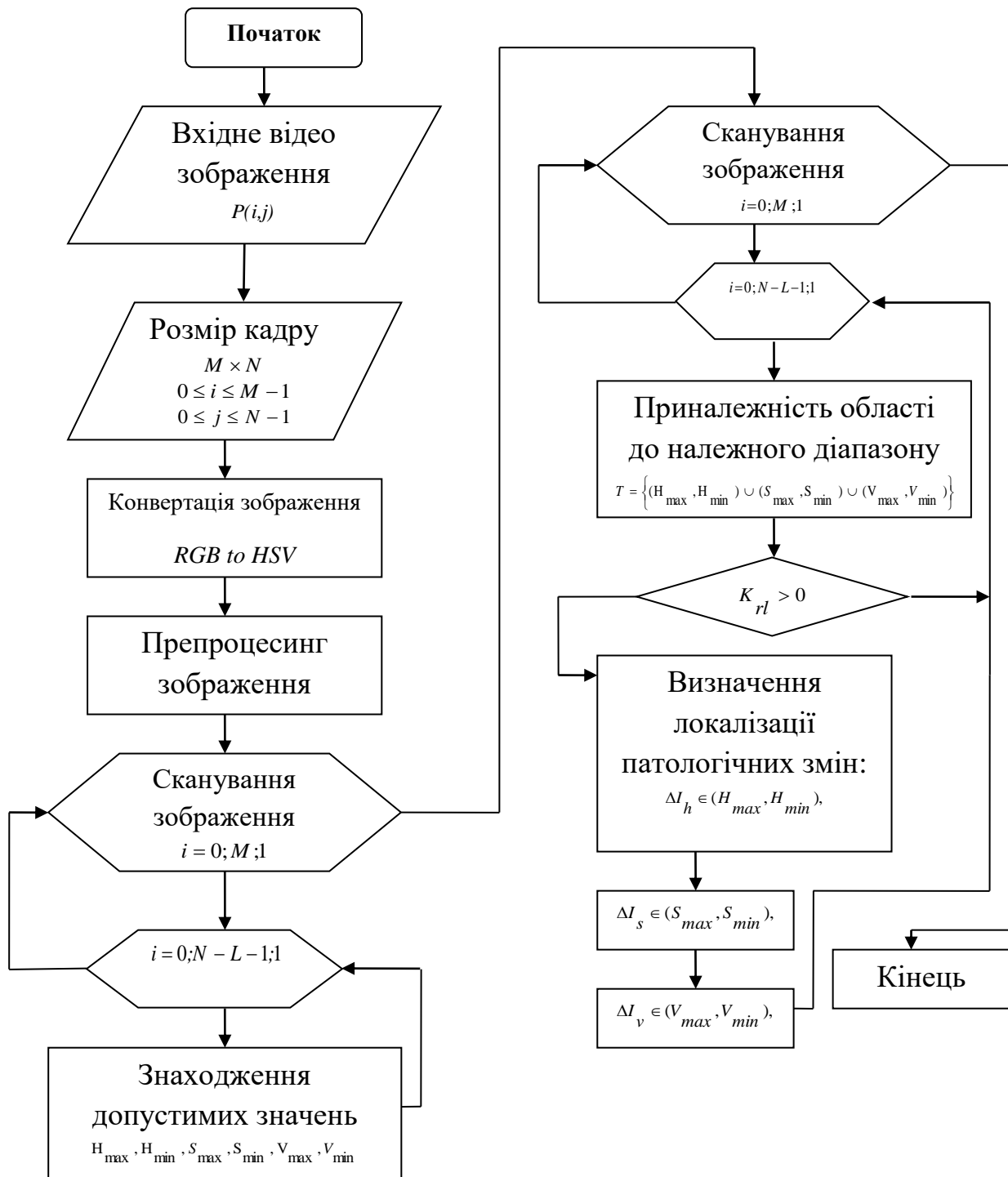


Рис. 1. Алгоритм роботи дескриптора на основі кольору

У процесі апробації розробленого алгоритму було визначено, що спектр кольору окремих типів патологічних змін мають індивідуальні характеристики. Так, для поверхні кістки печінки і яєчника характерний сірувато-рожевий і жовтувато-сірий колір відповідно. Злоякісні утворення мають синьо-багряне забарвлення (рис. 2).

Таким чином, в процесі створення вибірки ознак в off-line режимі було проаналізовано 617 відеопослідовностей різних патологічних уражень органів черевної порожнини при якості відеозображень в 1280/1024 пікселів. При цьому для кожної нозологічної форми відповідного захворювання (діагнозу) на основі підтверджених результатів діагностики були визначені характерні діапазони кольору в шкалі HSV.

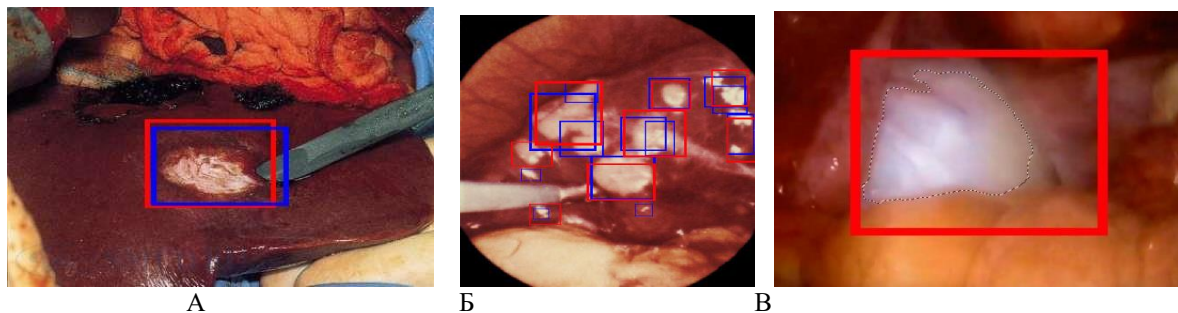


Рис. 2. Кольорові характеристики запальних змін тканини печінки і яєчників.
Значення: А і Б – метастази печінки; В – кіста яєчника

Програмна реалізація алгоритму складена на базі середовища – MS Visual Studio Express, мова програмування C++, бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV з використанням класу ColorLabel.

Проведене навчання каскадного класифікатора з використанням відеопослідовностей кадрів у форматі HSV підтверджених діагнозів дозволило в наступному застосувати розроблену КАД з метою ідентифікації та діагностики патологічних змін на тестових лапароскопічних відеозображеннях, які не були застосовані для навчання класифікатора.

Отримані результати засвідчили, що у жінок з підтвердженим діагнозом пухлини яєчників (репрезентативна, друга за чисельністю група пацієнтів) істинно-позитивна діагностика була здійснена у 54,4 % пацієнтів, в той час як хибно-позитивна діагностика – у 30,0 % (табл. 1). Відсутність пухлини (хибний негативний діагноз) був поставлений 15,6 % обстеженим пацієнткам. В порядку зменшення кількості хибно-позитивних діагнозів окремі нозологічні форми захворювань розташовувалися наступним чином: пухлина яєчника (31,2 %), гепатит (7,8 %), метастази печінки (3,2 %), цироз (1,9 %), кісти печінки (1,3 %) (табл. 1). Таким чином, цей результат показує значну діагностичну цінність характеристик кольору при діагностиці кіст печінки і цирозу.

Найбільш високий показник істинно-позитивної діагностики відзначений при діагностиці кіст печінки (84,0 %) і даний показник був найменшим при діагностиці гепатиту (51,4 %). У той же час хибно-негативні діагнози найбільшим числом реєструвалися при діагностиці цирозу (16,7 %) і в найменшому числі випадків спостерігалися при діагностиці кіст печінки (8,0 %). Звертає на себе увагу висока частота хибно-позитивних діагнозів, яка при діагностиці гепатиту визначається у більш, ніж третини всіх пацієнтів з підтвердженим діагнозом гепатиту і знаходиться в межах однієї п'ятої – однієї чверті пацієнтів в інших групах, за винятком пацієнтів з діагнозом кісти печінки (табл. 1).

Подібна «гіпердіагностика» може бути наслідком низької чутливості алгоритму до обраних характеристичних діапазонів кольору для окремих нозологічних форм і показує необхідність застосування даного алгоритму у комбінації з алгоритмами діагностики інших ознак патологічних змін. Також причиною високих значень помилкових і не розпізнаних об'єктів можуть бути зміни умов освітленості, що призводить до спотворення яскравості, відтінків і насиченості кольору [9, 10]. Слід також зазначити, що певну роль у виникненні відповідних похибок відіграють і технічні можливості відеокамери для передання характеристик кольору лапароскопічних зображень [5, 6]. Однією із можливостей запобігання подібних похибок є як дотримання правил калібрування відеокамери, так і застосування комбінованого алгоритму, який враховує дескриптори текстури та контуру зображень.

Таблиця 1

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

№ з/п	Патологія	Загальна кількість тестових відео з підтвердженими діагнозами	Число істинно позитивних діагнозів	Число хибно позитивних діагнозів	Число хибно негативних діагнозів
1	Метастатичне ураження печінки	25	17 (68,0)	5 (20,0)	3 (12,0)
2	Пухлини придатків матки	160	87 (54,4)	48 (30,0)	25 (15,6)
3	Цироз	12	7 (58,3)	3 (25,0)	2 (16,7)
4	Гепатит	35	18 (51,4)	12 (34,5)	5 (14,3)
5	Кіста печінки	25	21 (84,0)	2 (8,0)	2 (8,0)

Висновки. Застосування розробленого алгоритму на основі кольору в каскадному класифікаторі дозволяє ефективно проводити діагностику кістозного та метастатичного ураження печінки за лапароскопічними відеозображеннями при числі істинно-позитивних діагнозів у 84,0 % та 68,0 % відповідно. Менш ефективним є використання розробленого алгоритму при діагностиці цирозу, пухлин придатків матки, а також гепатиту, для яких число істинно-позитивних діагнозів склало відповідно 58,3 %, 54,4 % та 51,4 %, що може свідчити про недостатнє навчання класифікатора, так і про необхідність застосування алгоритмів на основі дескрипторів текстури та контуру.

Список використаної літератури:

1. Кобринский Б.А. Оценка цветопередачи цифровых изображений кожи в теледерматологии и возможности их автоматической цветокоррекции / Б.А. Кобринский, Н.В. Матвеев // Вестник новых медицинских технологий. – 2005. – Т. 12. – С. 100.
2. Хомяков М.Ю. Классификация цвета кожи человека на цветных изображениях / М.Ю. Хомяков // Компьютерная оптика. – 2011. – Том 35. – № 3. – С. 373–379.
3. The tooth and skin colour interrelationship across the different ethnic groups / S.B. Haralur, A.M. Dibas, N.A. Almelhi, D.A. Al-Qahtani // Internat. J. Dentistry. – 2014. – Vol. 2014. – 6 p. – DOI : 10.1155/2014/146028.
4. Кресюн Н.В. Патогенетичне обґрунтування методу ранньої діагностики діабетичної ретинопатії / Н.В. Кресюн // Досягнення біології і медицини. – 2014. – № 2 (24). – С. 31–36.
5. Application of mobile photography with smartphone cameras for monitoring of early caries appearance in the course of orthodontic correction with dental brackets / L.S. Godlevsky, E.A. Bidnyuk, N.V. Kresyun and others // Applied Medical Informatics. – 2013. – Vol. 33. – No. 4. – Pp. 21–26.
6. Інформаційно-технічна система автоматизованої лапароскопічної діагностики / А.В. Ляшенко, М.Р. Баязітов, Л.С. Годлевський та ін. // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2016. – № 4 (39). – С. 90–97.
7. Polyp detection and radius measurement in small intestine using video capsule endoscopy : 7th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics / M.Zhou, G.Bao, Y.Geng, B.Alkandari, X.Li // BMEI. – 2014. – Pp. 237–241.
8. Albisser Z. Computer-aided screening of capsule endoscopy videos / Z.Albisser // Master's Thesis. – University of Oslo. – 2015. –No. 1. – Pp. 74–245.
9. Computer-aided diagnosis in hysteroscopic imaging / M.S. Neofytou, V.Tanos, I.Constantinou, E.C. Kyriacou, M.S. Pattichis // IEEE J. Biomed Health Inform. – 2015. – No. 19 (3), Pp. 1129–1136.
10. Shu Y. Segmentation of laparoscopic images: Integrating graphbased segmentation and multistage region merging / Y.Shu, G.A. Bilodeau, F.Cheriet // The 2nd Canadian Conference on Computer and Robot Vision (CRV'05) : Proceeding. – May 9–11, 2005 // IEEE Computer Society Washington. – 2005. – Pp. 429–436. – DOI : 10.1109/CRV.2005.74.

References:

1. Kobrinskij, B.A. and Matveev, N.V. (2005), «Ocenka cvetoperedachi cifrovyh izobrazhenij kozhi v teledermatologii i vozmozhnosti ih avtomaticheskoy cvetokorrekcii», *Vestnik novyh medicinskih tehnologij*, Vol. 12, pp. 100.
2. Homjakov, M.Ju. (2011), «Klassifikacija cveta kozhi cheloveka na cvetnyh izobrazhenijah», *Komp'juternaja optika*, Vol. 35, No. 3, pp. 373–379.
3. Haralur, S.B., Dibas, A.M., Almelhi, N.A. and Al-Qahtani, D.A. (2014), «The tooth and skin colour interrelationship across the different ethnic groups», *Internat. J. Dentistry*, Vol. 2014, 6 p., DOI: available at: 10.1155/2014/146028
4. Kresjun, N.V. (2014), «Patogenetychne obgruntuvannja metodu rann'oi' diagnostyky diabetychnoi' retynopatii», *Dosjagnennja biologii i medycyny*, No. 2 (24), pp. 31–36.
5. Godlevsky, L.S., Bidnyuk, E.A. and Kresyun, N.V. (2013), «Application of mobile photography with smartphone cameras for monitoring of early caries appearance in the course of orthodontic correction with dental brackets», *Applied Medical Informatics*, Vol. 33, No. 4, pp. 21–26.
6. Ljashenko, A.V., Bajazitov, M.R. and Godlevskij, L.S. (2016), «Informacijno-tehnicna sistema avtomatyzovanoi' laparoskopichnoi' diagnostyky», *Radioelektronika, informatyka, upravlinnja*, No. 4 (39), pp. 90–97.
7. Zhou, M., Bao, G., Geng, Y., Alkandari, B. and Li, X. (2014), «Polyp detection and radius measurement in small intestine using video capsule endoscopy», *7th International Conference on Biomedical Engineering and Informatics*, *BMEI*, pp. 237–241.
8. Albisser, Z. (2015), «Computer-aided screening of capsule endoscopy videos», *Master's Thesis*, No. 1, University of Oslo, pp. 74–245.
9. Neofytou, M.S., Tanos, V., Constantinou, I., Kyriacou, E.C., Pattichis, M.S. and Pattichis, C.S. (2015), «Computer-aided diagnosis in hysteroscopic imaging», *IEEE J. Biomed Health Inform.*, No. 19 (3), pp. 1129–1136.
10. Shu, Y., Bilodeau, G.A. and Cheriet, F. (2005), «Segmentation of laparoscopic images: Integrating graphbased segmentation and multistage region merging», *The 2nd Canadian Conference on Computer and Robot Vision*, *CRV'05*, May 9–11, Proceeding, *IEEE Computer Society Washington*, pp. 429–436, DOI: available at: 10.1109/CRV.2005.74

ЛЯШЕНКО Артем Володимирович – асистент кафедри біофізики, інформатики та медичної апаратури Одеського національного медичного університету.

Наукові інтереси:

- аналіз медичних лапароскопічних відеозображень.

E-mail: avideo@ukr.net.

ГОДЛЕВСЬКИЙ Леонід Семенович – доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри біофізики, інформатики та медичної апаратури Одеського національного медичного університету.

Наукові інтереси:

- інформаційні технології в медицині.

E-mail: godlevsky@odmu.edu.ua.

БАЯЗИТОВ Дмитро Миколайович – аспірант кафедри хірургії № 1 Одеського національного медичного університету.

Наукові інтереси:

- лапароскопічна хірургія.

E-mail: bajazitovdmytro@hotmail.com.

БУЗИНОВСЬКИЙ Артур Борисович – лікар-хірург ендоскопіст відділення малоінвазивної хірургії, КУ «Одеська обласна клінічна лікарня».

Наукові інтереси:

- ендоскопічна хірургія.

E-mail: ics_video@ukr.net.

Стаття надійшла до редакції 18.04.2017.