

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ ЦИФРОВОЇ КОРЕКЦІЇ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ У СФЕРІ РЕНТГЕНОГРАФІЇ**

*Проаналізовано методи і моделі цифрової корекції та підвищення якості растрових зображень. Визначено методи, реалізація яких можлива на основі технології GPGPU. Здійснено програмну реалізацію та тестування обраних методів на базі зображень різної розмірності, наведено порівняння їх швидкодії на різних програмно-апаратних платформах. Досліджено вплив на рентгенівське зображення як окремого методу, так і їх комбінованого застосування.*

*Ключові слова: якість растрових зображень, еквалізація гістограми зображення, технологія GPGPU, яскравість зображення, різкість зображення, оператор Собеля, детектор Кенні, оператор Лапласа, гамма-корекція.*

A. A. YAROVYI, D. G. PASICHNYK  
Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine

**ANALYSIS OF METHODS AND MODELS OF DIGITAL CORRECTION AND QUALITY INCREASING OF RASTER IMAGES IN ROENTGENOGRAPHY**

*Abstract –The methods and models of digital correction and quality increasing of raster images are analyzed. The methods, implementation of which is possible on the base of GPGPU-technology are defined. The software implementation and testing of selected methods using images of different dimensions is realized. The comparing their performance on various firmware is done. The influence on the X-ray image of a separate method, as well as their combined applications is researched.*

*Keywords: quality of raster images, equalization image histogram, GPGPU technology, image brightness, image sharpness, Sobel operator, Kenny detector, Laplace operator, gamma correction.*

**Вступ**

Комп'ютерна графіка ефективно представляє образи реального світу. На відміну від людей, здатних сприймати електромагнітне випромінювання лише у видимому діапазоні, машинне оброблення зображень охоплює практично весь електромагнітний спектр від гамма-випромінювання до радіохвиль. В сучасних умовах багато напрямів науки і техніки, в значній мірі, орієнтуються на розвиток систем, в яких інформацію подано у вигляді зображення. При обробленні такої інформації виникає ряд наукових і технічних проблем, зокрема, пов'язаних із обробленням та розпізнаванням зображень, різнобічним аналізом їх складових елементів. Інтенсивний розвиток інформаційних технологій та комп'ютерної техніки привели до появи принципово нових методів дослідження організму людини. Такі сучасні методи, як рентгенівська та магнітно-резонансна томографія, дозволяють детальніше дослідити організм людини, максимально точно оцінити стан різних анатомічних утворень. Особливістю таких технологій є те, що вони широко використовують можливості комп'ютерної обробки зображень. Про актуальність наукових досліджень у цій сфері свідчить той факт, що й досі існують класи зображень, обробка яких відомими методами цифрової корекції не гарантує достатньо високої якості вихідного зображення [1, 2].

Метою даних досліджень є підвищення інформативності та якості растрових зображень шляхом їх цифрової корекції, а також швидкодії процесу їх оброблення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішення таких задач:

1. Аналіз підходів до підвищення якості растрових зображень.
2. Аналіз методів цифрової корекції растрових зображень.
3. Аналіз технології GPGPU для підвищення швидкодії процесу оброблення растрових зображень.
4. Аналіз методів підвищення інформативності рентгенівських знімків (оператор Собеля, оператор Лапласа, детектор контурів Кенні, гамма-корекція).

**Аналіз підходів до підвищення якості растрових зображень та перспективних технологій їх реалізації**

Існуючі підходи до підвищення якості цифрового зображення і відновлення його структури, загалом, поділяють на дві категорії: оброблення в просторовій області (просторові методи), засновані на прямому маніпулюванні пікселями зображення, та оброблення в частотній області (частотні методи), засновані на модифікації (фільтрації) сигналу [3, 4].

Одним із розглянутих у даному дослідженні просторових методів підвищення якості зображень є еквалізація (вирівнювання) гістограми зображення.

На першому етапі відбувається побудова гістограми яскравості. Гістограми будують як для кольорових зображень по кожному з каналів, так і для зображень у grayscale моделі. Гістограма є графіком розподілу півтонів зображення, в якому по горизонтальній осі представлена яскравість, а по вертикалі – відносна кількість пікселів з даними значеннями яскравості.

Алгоритм побудови гістограми зображення [5,6]:

- 1) створюємо масив, заповнюємо нулями (зазвичай масив [0..255]);

2) для кожного пікселя: виділяємо потрібний колірний канал. Отримане значення має укладатися в діапазон індексів масиву, наприклад [0..255].

3) отриманий масив являє собою гістограму, елементи масиву – означають висоти стовпців.

На другому етапі виконується нелінійне перетворення, що забезпечує необхідні властивості вихідного зображення. При цьому замість невідомого істинного інтегрального розподілу використовується його оцінка, основана на гістограмі. З урахуванням цього, всі методи поелементного перетворення зображень, метою яких є видозміна законів розподілу, відносять до гістограмних методів. Зокрема, перетворення, при якому вихідне зображення має рівномірний розподіл, називається еквалізацією (вирівнюванням) гістограм [3, 4].

Приклад роботи даного методу оброблення зображень наведено на рис. 1.

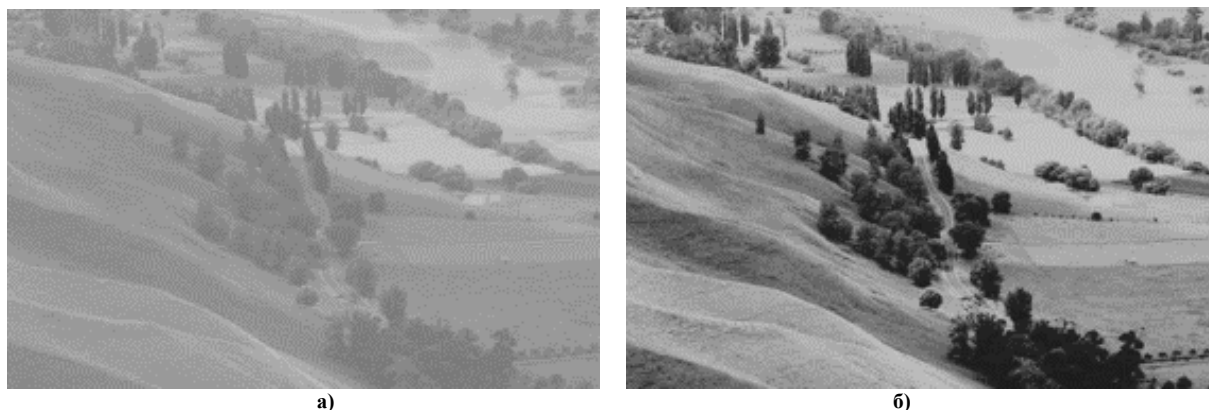


Рис. 1. Результати роботи алгоритму еквалізації гістограми зображення, а) вхідне зображення, б) зображення із вирівняною яскравістю

Іншим розглянутим у даному дослідженні методом підвищення якості зображення є Retinex. Його алгоритм роботи стосується вирівнювання освітлення на зображенні. Ідея полягає в наступному. Саме зображення формується як добуток низьких і високих частот, тобто самого освітлення і об'єкта за виразом [5]:

$$I(x, f) = G * I(L, f), \quad (1)$$

де  $I$  – освітленість;  $G$  – фільтр Гауса;  $I$  – сам об'єкт.

Відновлюється зображення за виразом [4]:

$$I'(x, f) = \sum_R w_R \log I(x, f) - \log g_R(x, f) * I(x, f), \quad (2)$$

де  $w_R$  – вагові коефіцієнти.

Результати оброблення зображень за даним алгоритмом в межах проведених досліджень наведено на рис. 2.



Рис. 2. Результати оброблення зображень алгоритмом Retinex, а) вхідне зображення, б) зображення із вирівняним освітленням

Ще одним розглянутим у даному дослідженні методом підвищення якості зображень є застосування фільтру для підвищення різкості зображення. Даний фільтр реалізується на основі ядра згортки. Елемент зображення отримує нове значення на основі групи елементів, що примикають до даного. Область примикання є квадратною матрицею, розмірність якої збігається з розміром обраного ядра згортки, і центром в оброблюваному елементі [3, 4].

Ядро згортки є матрицею розмірності 3×3, 5×5, 7×7 і т.д., на якій визначена відповідна функція. Ядро згортки називається вікном, а задана на ньому функція – функцією вікна. Кожному елементу вікна відповідає число, – ваговий множник. Сукупність усіх вагових множників і становить вагову функцію. Непарні розміри вікна необхідні для однозначного визначення центрального елемента. Ядро згортки є

фільтром, який дозволяє посилити або послабити компоненти зображення. Фільтрація здійснюється переміщенням вікна фільтра по зображенню. Вагова функція в процесі переміщення залишається незмінною. У кожному положенні вікна відбувається операція згортки – перемножування вагових множників з відповідними значеннями яскравостей вихідного зображення і підсумовування множників. При кожному положенні вікна вагова функція поелементно перемножується на значення відповідних пікселів вихідного зображення і результати підсумовуються. Отримана сума є відгуком фільтру і присвоюється тому пікселю нового зображення, який відповідає положенню центру вікна [3, 4].

Результат оброблення пікселя записується у відповідну комірку тимчасової матриці такої ж розмірності, як і вихідне зображення. Запис в окрему тимчасову матрицю необхідний для того, щоб виключити вплив вже оброблених пікселів на ще не оброблені [5,6].

Приклад фільтрації зображення для підвищення різкості наведено на рис. 3.



Рис. 3. Результати застосування фільтра для підвищення різкості зображення, а) вхідне зображення, б) зображення із підвищеною різкістю

Із покращенням якості при збільшенні рівня деталізації зображення виникає проблема швидкодії їх оброблення, адже вони займають значну кількість пам'яті. В свою чергу це призводить до проблеми ефективного редагування таких зображень. Оскільки великорозмірні растрові зображення займають значні масиви пам'яті, то для забезпечення роботи функцій редагування таких зображень необхідні такі самі значні масиви пам'яті та інші ресурси комп'ютерних систем. У зв'язку з цим перспективною для оброблення такого роду зображень є GPU-орієнтовані програмно-апаратні платформи [7-9].

У проведених дослідженнях при порівнянні швидкодії роботи алгоритмів підвищення якості зображення на CPU- та GPU-орієнтованих платформах (рис. 4), було виявлено незначне прискорення (близько 0,01 – 0,02 мс) роботи алгоритмів на GPU-орієнтованій платформі при обробленні зображень розмірністю до 1600×1200 пікселів. Із збільшенням розмірності зображень швидкодія оброблення на GPU-орієнтованій платформі значно зростає.



Рис. 4. Порівняння швидкодії роботи алгоритму еквалізації гистограми зображення на основі CPU- та GPU-орієнтованих апаратних платформ

#### Аналіз методів підвищення інформативності рентгенівських знімків

Незважаючи на широке поширення, рентгенографія має свої недоліки: шкідливий вплив іонізуючого випромінювання на досліджуваний організм; низька інформативність в порівнянні з сучасними

томографічними методами, що пояснюється проєкційним нашаруванням анатомічних структур на рентгенівському зображенні [3].

Для підвищення інформативності рентгенівських знімків доцільно застосовувати методи пов'язані з виділенням дрібних деталей та контурів, оскільки контури у даному випадку – одні із найбільш інформативних структурних елементів зображення [9].

Одним із розглянутих у даному дослідженні методів підвищення інформативності рентгенівських знімків є оператор Собеля – дискретний диференціальний оператор, який обчислює наближення градієнта яскравості зображення. Якщо  $A$  вихідне зображення, а  $G_x$  та  $G_y$  – два зображення, де кожна точка містить часткові похідні по  $x$  та по  $y$  відповідно, то вони обчислюються наступним чином [3, 10]:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} * A, \quad G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ +1 & +2 & +1 \end{bmatrix} * A, \quad (3)$$

Оператор Собеля оснований на згортці зображення невеликими сепарабельними цілочисельними фільтрами у вертикальному і горизонтальному напрямках, тому його відносно легко обчислювати. З іншого боку, використовувана ним апроксимація градієнта досить груба, особливо це позначається на високочастотних коливаннях зображення [3].

Іншим розглянутим у даному дослідженні методом підвищення інформативності рентгенівських знімків є детектор контурів Кенні, що використовує фільтр на основі першої похідної від Гауссіана. Так як він сприйнятливий до шумів, краще не застосовувати даний метод на попередньо необроблених зображеннях [11].

Контури на зображенні можуть перебувати в різних напрямках, тому алгоритм Кенні використовує чотири фільтра для виявлення горизонтальних, вертикальних і діагональних контурів. Скориставшись оператором виявлення контурів знаходять значення для першої похідної в горизонтальному і вертикальному напрямках.

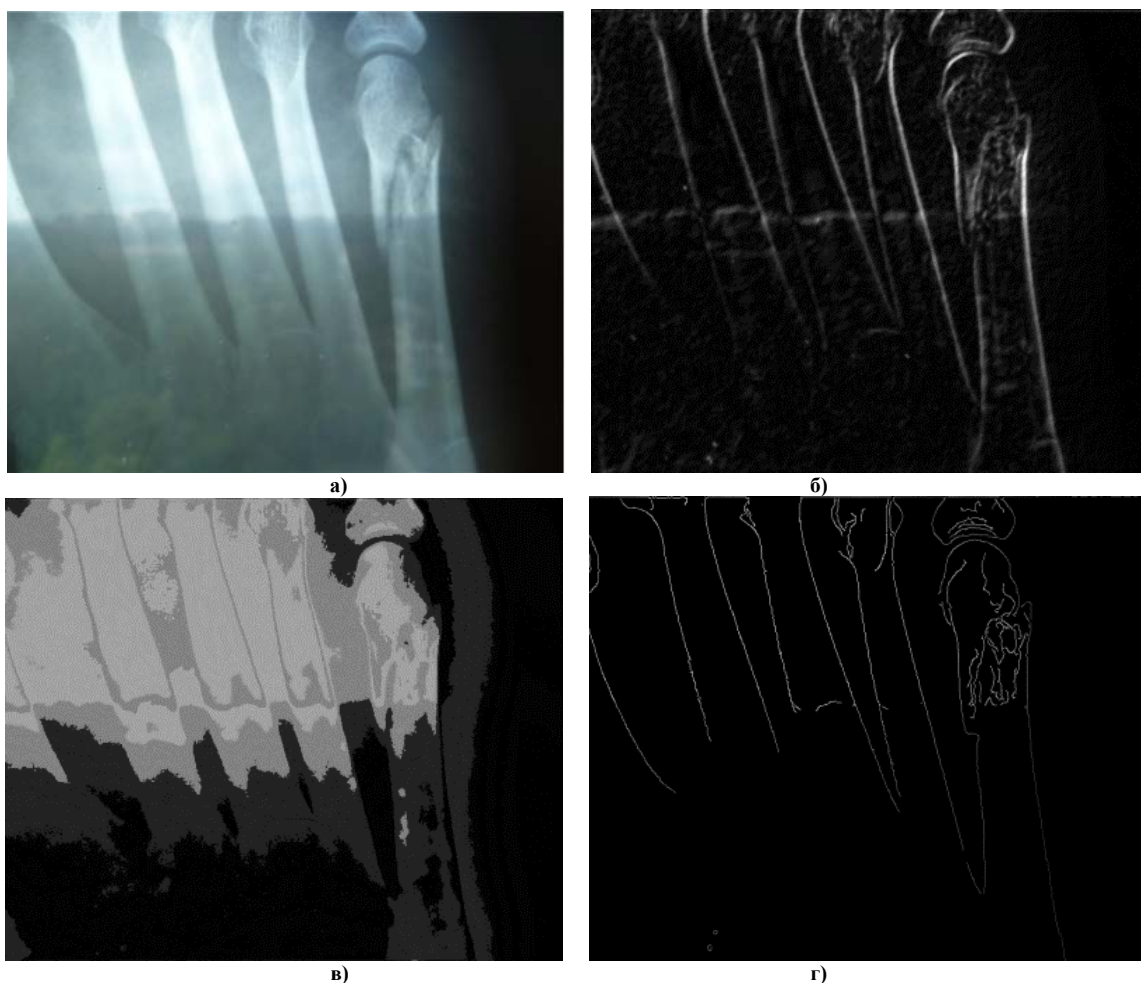


Рис. 5 – Результати цифрової корекції та підвищення якості рентгенівських знімків, а) вхідне зображення, б) зображення, оброблене оператором Собеля, в) зображення, оброблене оператором Лапласа, г) зображення, оброблене детектором контурів Кенні

Ще одним методом підвищення інформативності рентгенівських знімків є оператор Лапласа, який часто використовується в обробленні зображень, наприклад в задачах виділення контурів або при оцінюванні руху. Дискретний лапласіан визначається як сума часткових похідних і обчислюється як сума



перепадів на сусідніх відносно центрального пікселя. Застосовується для виділення м'яких деталей. Ядро матриці має наступний вигляд [12]:

$$L = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

Також, у даному дослідженні розглянуто метод гамма-корекції – корекція яскравості цифрового зображення або відеопотоку. Зазвичай, використовується степенева функція у вигляді [3]:

$$V_{\text{out}} = V_{\text{in}}^{\gamma}, \quad (5)$$

де  $V_{\text{out}}$  – отримана яскравість;  $V_{\text{in}}$  – дійсна яскравість.

Гамма-корекція призначена для демонстрації зображень на пристроях виведення з нелінійною характеристикою яскравості, зберігання оцифрованого зображення у вигляді, де на темні кольори припадає менший відносний шум квантування, ніж на світлі [3].

Результати оброблення зображень вищевказаними методами в межах проведених досліджень наведено на рис. 5.



Рис. 6. Результати комбінованого застосування методів цифрової корекції та підвищення якості для рентгенівських знімків, різної складності, а), в), д) – вхідні зображення різних класів; б), г), е) – оброблені зображення

На основі експериментальних досліджень визначено, що для цифрової корекції та підвищення якості рентгенівських знімків найкращою виявилась така комбінація методів оброблення:

- 1) зображення, оброблені операторами Собеля і Лапласа накладаються;
- 2) формується маска зображення шляхом логічного множення отриманого зображення на зображення, оброблене детектором контурів Кенні;
- 3) маска накладається на вхідне зображення;
- 4) гамма-корекція отриманого зображення.

Результати оброблення зображень вищевказаною комбінацією методів в межах проведених досліджень наведено на рис. 6.

### Висновки

В роботі проаналізовано способи цифрової корекції та підвищення якості растрових зображень, зокрема рентгенівських знімків. Програмно реалізовано та експериментально досліджено методи оброблення зображень на базі: алгоритмів еквалізації гістограми зображення та Retinex, фільтру для підвищення різкості зображення, операторів Собеля і Лапласа, детектора контурів Кенні та гамма-корекції. Зокрема, після застосування даних методів до зображень рентгенівських знімків, відзначено покращення видимості раніше непомітних елементів зображення та дрібних деталей, що свідчить про підвищення їх інформативності. При порівнянні швидкодії окремих методів реалізованих на GPU-орієнтованій програмно-апаратній платформі виявлено, що при збільшенні розмірності зображень швидкість їх оброблення на GPU-орієнтованій платформі значно зростає і перевищує швидкість оброблення на CPU-орієнтованій платформі. Зокрема, для зображень розмірністю 4096×3072 пікселів швидкість їх оброблення на GPU-орієнтованій платформі перевищує швидкість оброблення на CPU-орієнтованій платформі майже в 5 разів. При дослідженні впливу розглянутих методів на рентгенівські зображення виявлено, що оброблення рентгенівського зображення лише одним із досліджуваних методів не забезпечує достатньої ефективності, проте оброблення зображення комбінацією із декількох методів підвищує його інформативність.

### Література

1. Кожем'яко В. П. Візуалізація як унікальна інформаційно-інтелектуальна технологія: потреба нової методології та нового логічного базису / Кожем'яко В.П., Яровий А.М., Яровий А. А. // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2014. – №2(28). – С. 5-16.
2. Яровий А.А. Аналіз методів цифрової корекції та підвищення якості растрових зображень у сфері рентгенографії / Яровий А.А., Пасічник Д.Г. : Збірник праць X Міжнародної науково-практичної конференції [Інтернет-Освіта-Наука (ІОН-2016)] – Вінниця, ВНТУ, 2016. – с. 5-8.
3. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р.С. Гонсалес, Р.Е. Вудс; пер. с англ. Л.И. Рубанова, П.А. Чочиа. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва: Техносфера, 2012. – 1103 с. – ISBN 9785948363318.
4. Гашников М.В. Методы компьютерной обработки изображений: учебное пособие / Гашников М.В., Глумов Н.И., Ильясова Н.Ю. и др.; Под ред. В. А. Соифера. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 784с. – ISBN 5-9221-0180-3.
5. Поляков А. Ю. Методы и алгоритмы компьютерной графики в примерах на VisualC++ и C#: научное издание / А.Ю. Поляков, В.А. Брусенцев. –2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ -Петербург, 2003. – 547 с. – ISBN 5941573774.
6. Яшнин В. В. Анализ и обработка изображений: принципы и алгоритмы / Яшнин В. В. – М.: Машиностроение, 2004. – 112 с. – ISBN 5-217-02625-1.
7. Яровий А.А. Комп'ютерне моделювання процесу паралельного оброблення зображень на основі технологій OpenMP та NVIDIA CUDA / А. А. Яровий, О. О. Кулик, І. Р. Арсенюк // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2015. – №2(30). – С. 33-39.
8. L. Timchenko The method of parallel-hierarchical transformation for rapid recognition of dynamic images using GPGPU technology / L. Timchenko, A. Yarovyi, N. Kokriatskaya, S. Nakonechna, L. Abramenko, T. Ławicki, P. Popiel, L. Yesmakhanova : [Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments], (September 28, 2016), Proceedings SPIE 10031. – 2016. – <http://dx.doi.org/10.1117/12.2249352>.
9. Пасічник Д.Г. Аналіз підходів до підвищення якості растрових зображень на основі технології GPGPU / Пасічник Д.Г., Яровий А.А. [Електронний ресурс]: Конференції ВНТУ / Режим доступу: <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2016/paper/view/510/404> - Назва з екрану.
10. Фисенко В.Т. / Компьютерная обработка и распознавание изображений / В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.
11. Prateek Joshi OpenCV by example / Prateek Joshi, David MillánEscrivá, Vinícius Godoy – Packt Publishing Ltd., 2016. – 306 p. – ISBN 978-1-78528-094-8.
12. Гришенцев А.Ю. Методы и модели цифровой обработки изображений / Гришенцев А.Ю., Коробейников А.Г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014 – 190 с. – ISBN 978-5-7422-4892-7.

## References

1. Kozhemiako V. P. Vizualizatsiia yak unikalna informatsiino-intelektualna tekhnolohiia: potreba novoi metodolohii ta novoho lohichnoho bazysu / Kozhemiako V.P., Yarovy A.M., Yarovy A. A. // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnolohii. – 2014. – №2(28). – S. 5-16.
2. Yarovy A.A. Analysis of the methods of digital correction and increasing the quality of the raster images in roentgenography. / Yarovy A.A., Pasichnyk D.G. : Proceedings of the X International Conference „INTERNET – EDUCATION – SCIENCE IES-2016”, Vinnytsia, Ukraine. – Vinnytsia, VNTU, 2016. – p. 5-8.
3. Honsales R. Tsyfrovaia obrabotka yzobrazheniy / R.S. Honsales, R.E. Vuds; per. s anhl. L.Y. Rubanova, P.A. Chochya. – 3-e yzd., yspr. y dop. – Moskva: Tekhnosfera, 2012. – 1103 s. – ISBN 9785948363318.
4. Gashnikov M.V. Metodyi kompyuternoy obrabotki izobrazheniy: uchebnoe posobie / Gashnikov M.V., Glumov N.I., Ilyasova N.Yu. i dr.; Pod red. V. A. Soyfera. – Moskva: FIZMATLIT, 2001. – 784s. – ISBN 5-9221-0180-3.
5. Polyakov A. Yu. Metodyi i algoritmyi kompyuternoy grafiki v primerah na VisualC++ i C#: nauchnoe izdanie / A.Yu. Polyakov, V.A. Brusentsev. –2-e izd., pererab. i dop. – SPb.: BHV -Peterburg, 2003. – 547 s. – ISBN 5941573774.
6. Yashnin V. V. Analiz i obrabotka izobrazheniy: printsipyi i algoritmyi / Yashnin V. V. – M.: Mashinostroenie, 2004. – 112 s. – ISBN 5-217-02625-1.
7. Yarovy A.A. Computer modeling of the process of image parallel processing on the base of OpenMP and NVIDIA CUDA technologies / A. A. Yarovy, O. O. Kulyk, I. R. Arseniuk // Optoelectronic information-power technologies. – 2015. – №2(30). – P. 33-39.
8. L. Timchenko The method of parallel-hierarchical transformation for rapid recognition of dynamic images using GPGPU technology / L. Timchenko, A. Yarovy, N. Kokriatskaya, S. Nakonechna, L. Abramenko, T. Ławicki, P. Popiel, L. Yesmakhanova : [Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments], (September 28, 2016), Proceedings SPIE 10031. – 2016. – <http://dx.doi.org/10.1117/12.2249352>.
9. Pasichnyk D.G. Analysis of approaches for quality increasing of raster images on the base of GPGPU-technology / Pasichnyk D.G., Yarovy A.A. [Electronic resource] : VNTU Conference / Mode of access: <http://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2016/paper/view/510/404> - Title from screen.
10. Fisenko V.T. / Kompyuternaya obrabotka i raspoznavanie izobrazheniy / V.T. Fisenko, T.Yu. Fisenko – SPb: SPbGU ITMO, 2008. – 192 s.
11. Prateek Joshi OpenCV by example / Prateek Joshi, David MillánEscrivá, Vinicius Godoy – Packt Publishing Ltd., 2016. – 306 p. – ISBN 978-1-78528-094-8.
12. Grishentsev A.Yu. Metodyi i modeli tsifrovoy obrabotki izobrazheniy / Grishentsev A.Yu., Korobeynikov A.G. – SPb.: Izd-vo Politehn. un-ta, 2014 – 190 s. – ISBN 978-5-7422-4892-7.

Рецензія/Peer review : 14.9.2016 р.

Надрукована/Printed : 8.11.2016 р.

Стаття рецензована редакційною колегією д.т.н., проф., Кожем'яко В.П.