

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
Міністерство освіти і науки України

Вінницький національний технічний університет  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ОДАЙСЬКА ХРИСТИНА САВЕЛІЇВНА**

УДК 004.921; 004.932.4; 621.391.8; 621.397.42

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ВІЗУАЛЬНОЇ ЯКОСТІ  
ЗОБРАЖЕНЬ У КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ  
СИСТЕМАХ**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти  
Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Х. С. Одайська

Науковий керівник:

Баловсяк Сергій Васильович,  
доктор техн. наук, доцент

Чернівці – 2020

## АНОТАЦІЯ

*Одайська Х. С.* Методи та засоби підвищення візуальної якості зображень у комп'ютеризованих оптико-електронних системах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – "Комп'ютерні системи та компоненти". – Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2020.

Дисертаційну роботу присвячено розробленню математичних моделей, методів і програмно-апаратних засобів підвищення візуальної якості формування зображень, що дозволило одержати нове рішення важливого науково-технічного завдання підвищення точності та швидкодії оброблення зображень у комп'ютеризованих оптико-електронних системах (КОЕС), які як джерело початкових зображень використовують цифрові відеокамери.

Важливим етапом оброблення зображень у комп'ютеризованих і комп'ютерних системах є підвищення їх візуальної якості, яка кількісно описується, зокрема, співвідношенням сигнал/шум (ВСШ). Висока якість формування зображень необхідна для їх коректного оброблення в комп'ютерних системах (КС), наприклад, у КС медичної та технічної діагностик, КС розпізнавання облич. Підвищення якості зображень виконується, наприклад, шляхом зниження рівня шуму й адаптивної зміни параметрів відеокамер. У сучасних комп'ютерних системах висока якість зображень є необхідною умовою для ефективного виконання таких важливих етапів їх оброблення: візуалізації, сегментації, розпізнавання, підготовки до якісного фотодруку, передавання по комп'ютерним мережам та ін. Завдання зниження рівня шуму є важливим для практики, оскільки на експериментальних зображеннях, отриманих у КОЕС за допомогою фоточутливих матриць (ФМ), у більшості випадків присутній шум, наприклад,

гаусовий. Значні рівні шуму на цифрових зображеннях часто спричинюються за рахунок зменшення розмірів елементів ФМ, оскільки існує тенденція до збільшення кількості пікселів ФМ при збереженні фізичних розмірів матриць.

Для отримання максимального співвідношення сигнал/шум зображень при їх фільтрації потрібне точне значення рівня шуму. Проте, існуючі методи та апаратно-програмні засоби визначення рівня шуму мають обмежену точність і швидкодію, а сучасні методи фільтрації зображень у КОЕС у загальному випадку забезпечують ВСШ, яке менше за теоретично можливе. Це зменшує точність результатів для прикладних задач оброблення зображень. Крім цього, швидкодія існуючих методів та засобів є недостатньою для цифрового оброблення зображень у КОЕС медичної діагностики в режимі реального часу. З цієї причини завдання вдосконалення методів і засобів зниження рівня шуму на зображеннях є актуальним.

Процес апаратного оброблення зображень у КОЕС регулюється такими параметрами цифрових відеокамер, як «Яскравість», «Контраст» та ін. Проте, параметри відеокамери за замовчуванням звичайно не забезпечують максимального співвідношення сигнал/шум для експериментальних зображень. Це призводить до зниження ВСШ зображень, отриманих, наприклад, у системах відеоспостереження. В той же час, налаштування параметрів відеокамер у ручному режимі є трудомістким процесом. Тому актуальним завданням є розроблення високоточних методів і засобів для адаптивної зміни параметрів відеокамер.

Прикладне науково-технічне завдання полягає в розробленні високоточних і швидкодійних програмно-апаратних засобів комп'ютеризованих систем, призначених для підвищення візуальної якості зображень шляхом зниження їх рівня шуму та адаптивної зміни параметрів відеокамер.

Запропоновано архітектуру КОЕС для підвищення якості формування зображень, яка як джерело початкових зображень використовує цифрові відеокамери. Згідно із запропонованою архітектурою комп'ютеризована система складається з підсистем визначення рівня шуму, фільтрації шуму та

адаптивної зміни параметрів відеокамер. Запропонована архітектура комп'ютеризованої системи передбачає спільне застосування високоточної підсистеми визначення рівня шуму як при його фільтрації, так і при зміні параметрів відеокамер, що дозволяє уникнути дублювання блоків КОЕС, а також збільшити ВСШ на оброблених зображеннях.

Підсистему визначення рівня шуму  $\sigma_{NE}$  на зображеннях реалізовано на основі запропонованих методів LLROI та HLROI. Метод LLROI (Low-pass & Low-pass filtration & Region Of Interest) засновано на низькочастотній фільтрації шумової складової та низькочастотній фільтрації при виділенні ділянки інтересу зображення ROI. Метод HLROI (High-pass & Low-pass filtration & Region Of Interest) засновано на високочастотній фільтрації при виділенні шумової складової та низькочастотній фільтрації при виділенні ділянки інтересу. Характерною особливістю запропонованих методів є врахування (за допомогою емпіричних формул) статистичних характеристик гаусового шуму при виділенні ділянок інтересу на зображеннях, на яких переважає такий шум. Це дозволило підвищити точність визначення СКВ шуму до 30% і збільшити співвідношення сигнал/шум для фільтрованих зображень. Показано, що за точністю метод HLROI незначно переважає метод LLROI. На основі запропонованих методів створено програми в системі MATLAB, синтезовано структури КОЕС та їх Simulink-моделі, розроблено структурні схеми блоків підсистеми. Апаратна реалізація блоків фільтрації зображень у КОЕС виконана засобами ПЛІС (FPGA) Artix-7, що дозволило на порядок підвищити швидкодію роботи системи та виконувати оброблення не тільки окремих (статичних) зображень, але й кадрів відеопотоку в режимі реального часу.

Реалізовано програмно-апаратні засоби підсистеми зменшення рівня шуму на цифрових зображеннях. Для цього розроблено математичну модель і метод автоматичної фільтрації шуму на зображеннях за допомогою фільтра Гауса, особливістю якого є обчислення усереднених амплітудних і частотних параметрів корисного сигналу на основі енергетичного спектра зображення. Оптимальне значення СКВ ядра фільтра отримано як значення, при якому мінімізується СКВ яскравості фільтрованого зображення від яскравості

корисного сигналу. На основі запропонованого методу реалізовано програмні засоби в системі Matlab, синтезовано структуру КОЕС фільтрації шуму на зображеннях, розроблено структурні схеми основних блоків КОЕС. Точність розробленого методу фільтрації перевірено при зменшенні рівня шуму на множині з 100 тестових зображень. Показано, що розроблений метод є квазі-оптимальним, оскільки обчислені значення пікового ВСШ у середньому менші за оптимальні на 0.14 дБ. Швидкодія розробленого методу більш ніж у 2 рази вища за швидкодію методів-аналогів, які володіють співрозмірною точністю.

Розроблено методи адаптивної зміни параметрів «Яскравість» і «Контраст» відеокамер у комп'ютеризованих системах. На основі запропонованих методів розроблено апаратні та програмні засоби для підсистеми адаптивної зміни параметрів відеокамер, синтезовано структуру КОЕС та її Simulink-модель, а також розроблено структурні схеми блоків підсистеми. Розроблено програму в системі MATLAB, призначену для адаптивної зміни параметрів відеокамери на основі критеріїв якості зображень  $K_V$ . Критерії якості зображень  $K_V$  побудовано на основі ВСШ з врахуванням насичення зображення (параметр  $R_A$ ) та ВСШ з обмеженнями на екстремальні значення сигналу (параметр  $R_L$ ). Точність розроблених методів перевірено при адаптивній зміні параметрів трьох моделей відеокамер, при цьому отримано збільшення ВСШ до 1.4 дБ у порівнянні з аналогами та високу якість для отриманих зображень. Показано, що комплексне використання критеріїв якості  $R_A$  та  $R_L$  забезпечує вищу точність адаптивної зміни параметрів відеокамер, порівняно з використанням окремих критеріїв.

Розроблено метод і програмні засоби для визначення рівня шуму зображень з використанням паралельних обчислень, що у випадку двохядерних процесорів забезпечує збільшення швидкодії до 1.5 разів.

Комп'ютерне моделювання, експериментальні дослідження та впровадження розроблених програмно-апаратних засобів у комп'ютеризованих системах підтвердили адекватність розроблених математичних моделей і ефективність запропонованих методів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що на основі запропонованих математичних моделей і методів розроблено:

- прикладне програмне забезпечення в системі MATLAB для визначення рівня шуму, яке використовує низькочастотну та високочастотну фільтрації зображень, завдяки чому отримано вищу точність оцінки якості зображень, ніж для програм-аналогів;

- програмні засоби в системі MATLAB для підвищення якості зображень у комп'ютеризованій системі шляхом зменшення рівня шуму, які використовують фільтр Гауса та виконують аналіз енергетичних спектрів зображень, що забезпечують квазіоптимальну якість фільтрованих зображень згідно з критерієм ВСШ і можуть використовуватися в системах відеоспостереження й автоматичної фільтрації цифрових зображень, системах розпізнавання зображень облич і візуального контролю виробничих процесів, тощо;

- апаратні засоби на основі FPGA для цифрової фільтрації зображень, отриманих за допомогою відеокамер, що забезпечило на порядок вищу швидкодію фільтрації та дозволило виконувати оброблення не тільки окремих (статичних) зображень, але й кадрів відеопотоку в режимі реального часу;

- програмно-апаратні засоби для адаптивної зміни параметрів «Яскравість» і «Контраст» цифрових відеокамер у КОЕС відповідно до умов освітленості сцени, завдяки чому отримано зображення з відеокамер із вищим ВСШ, ніж при використанні налаштувань камер за замовчуванням.

Розроблені програмно-апаратні засоби практично використані при фільтрації зображень та адаптивній зміні параметрів цифрових відеокамер в ІТ-компанії «Юкон-Софтваре» (м. Чернівці).

**Ключові слова:** комп'ютеризовані оптико-електронні системи, цифрове оброблення зображень, цифрова відеокамера, якість зображення, співвідношення сигнал/шум, фільтрація гаусового шуму, енергетичний спектр, адаптивна зміна параметрів відеокамери, ПЛІС, паралельні обчислення.

## ABSTRACT

*Odaiska Kh. S.* Methods and means for enhancing the visual quality of images in computerized optoelectronic systems. – Qualification research on the rights of manuscript.

Dissertation for the scientific degree of Ph.D. of Technical Sciences in specialty 05.13.05 "Computer systems and components". – Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2020.

The dissertation is devoted to the development of mathematical models, software and hardware means and methods to improve the visual quality of images formation, which allowed obtaining a new solution to the important scientific and technical problem of improving the accuracy and speed of image processing in computerized optoelectronic systems (COES), which use digital video cameras as the source of the original images.

An important step in image processing in computerized and computer systems is to improve their visual quality, which is quantified, in particular, the signal-to-noise ratio (SNR). High quality image formation is necessary for their correct processing in computer systems (CS), for example, in the CS of medical and technical diagnostics, the CS of face recognition. Image quality improvement is carried out, for example, by reducing noise and adaptive change of camcorder's settings. In modern computer systems, high image quality is a necessary condition for the effective implementation of the following important stages of their processing: visualization, segmentation, recognition, preparation for high-quality photo printing, transmission over computer networks, etc. The task of noise reducing is important for practice, as in experimental images obtained at COES using photosensitive matrices (PM), in most cases noise is present, such as Gaussian. Significant levels of noise in digital images are often caused by the size

reduction of the PM elements, as there is a tendency to raise in number of PM pixels while maintaining the physical size of the matrices.

To obtain the maximum signal-to-noise ratio of images while filtering them, the exact value of the noise level is required. However, existing methods and software and hardware means for determining the noise level have limited accuracy and speed, and modern methods of image filtering in COES generally provide SNR, which is less than theoretically possible. This reduces the accuracy of the results for applied image processing tasks. In addition, the speed of existing methods and tools is insufficient for digital image processing in COES of medical diagnostics in real time. For this reason, the task of improving methods and means of reducing noise in images is relevant.

The process of computer image processing in COES is regulated by such parameters of digital video cameras as "Brightness", "Contrast" and others. However, the default camcorder settings usually do not provide the maximum signal-to-noise ratio for experimental images. This leads to a decrease in the SNR of images obtained, for example, in video surveillance systems. At the same time, adjusting the settings of camcorders manually is a time consuming process. Therefore, the relevant task is to develop high-precision methods and tools for adaptive changes in the parameters of video cameras.

The applied scientific and technical task is to develop high-precision and high-speed software and hardware means of computerized systems designed to improve the visual quality of images by reducing their noise level and adaptively changing the parameters of video cameras.

The COES architecture is offered to improve the quality of image formation, which uses digital video cameras as a source of initial images. According to the offered architecture, the computerized system consists of subsystems for determining the noise level, noise filtering and adaptive change of camera settings. The proposed architecture of the computerized system provides for the joint use of a high-precision subsystem for determining the noise level both when filtering and



changing the parameters of video cameras, which avoids duplication of COES units, as well as increase the SNR in the processed images.

The subsystem for determining the noise level  $\sigma_{NE}$  in the images is implemented on the basis of the offered LLROI and HLROI methods. The LLROI (Low-pass & Low-pass filtration & Region Of Interest) method is based on low-pass filtering of the noise component and low-frequency filtering when selecting the area of interest of the ROI image. The HLROI (High-pass & Low-pass filtration & Region Of Interest) method is based on high-frequency filtering when selecting the noise component and low-frequency filtering when selecting the area of interest. A characteristic feature of the proposed methods is to take into account (using empirical formulas) the statistical characteristics of Gaussian noise when selecting areas of interest in images in which such noise predominates. This allowed to increase the accuracy of determination of noise standard deviation to 30% and increase the signal-to-noise ratio for filtered images. It is shown that the accuracy of the HLROI method slightly exceeds the LLROI method. On the basis of the offered methods programs in the MATLAB system are created, structures of COES and their Simulink-models are synthesized, structural schemes of blocks of a subsystem are developed. Hardware implementation of image filtering units in COES is made by PLD (FPGA) Artix-7, which allowed to increase the speed of the system and process not only individual (static) images, but also frames of the video stream in real time.

The software and hardware means of the subsystem of noise reduction in digital images are implemented. To do this, a mathematical model and method of automatic noise filtering in images using a Gaussian filter, a feature of which is the calculation of the average amplitude and frequency parameters of the useful signal based on the energy spectrum of the image. The optimal value of the standard deviation of the filter core is obtained as a value at which the standard deviation of the brightness of the filtered image is minimized from the brightness of the useful signal. Based on the proposed method, software was implemented in the Matlab system, the structure of COES of noise filtering on images was synthesized,

structural diagrams of the main blocks of COES were developed. The accuracy of the developed filtering method was tested by reducing the noise level on a set of 100 test images. It is shown that the developed method is quasi-optimal, since the calculated values of peak SNR are on average less than optimal by 0.14 dB. The speed of the developed method is more than 2 times higher than the speed of analog methods that have proportional accuracy.

Methods of adaptive change of parameters of "Brightness" and "Contrast" of video cameras in computerized systems are developed. On the basis of the offered methods the hardware and software for the subsystem of adaptive change of parameters of video cameras are developed, the structure of COES and its Simulink-model is synthesized, and also the structural schemes of subsystem blocks are developed. A program in the MATLAB system has been developed, designed to adaptively change the parameters of the camcorder based on the quality criteria of  $K_V$  images.  $K_V$  image quality criteria are based on SNR taking into account image saturation (parameter  $R_A$ ) and SNR with restrictions on extreme signal values (parameter  $R_L$ ). The accuracy of the developed methods was checked by adaptive change of parameters of three models of video cameras, at the same time increase of SNR to 1.4 dB in comparison with analogs and high quality for the received images is received. It is shown that the integrated use of quality criteria  $R_A$  and  $R_L$  provides higher accuracy of adaptive change of video camera parameters, compared to the use of individual criteria.

A method and program means have been developed to determine the noise level of images using parallel calculations, which in the case of dual-core processors provides an increase in speed up to 1.5 times.

Computer modeling, experimental research and implementation of developed software and hardware in computerized systems have confirmed the adequacy of the developed mathematical models and the effectiveness of the proposed methods.

The practical significance of the obtained results is that on the basis of the proposed mathematical models and methods developed:

- application software in the MATLAB system for noise level determination, which uses low-frequency and high-frequency image filtering, due to which a higher accuracy of image quality assessment is obtained than for analog programs;

- MATLAB computerized means to improve image quality in a computerized system by reducing noise, using a Gaussian filter and analyzing the energy spectra of images that provide quasi-optimal quality of filtered images according to the SNR criterion and can be used in video surveillance and automatic filtering digital images, face recognition systems and visual control of production processes, etc.;

- FPGA-based hardware for digital filtering of images obtained with the help of video cameras, which provided an order of magnitude higher filtering speed and allowed processing not only individual (static) images, but also frames of the video stream in real time;

- software and hardware means for adaptive change of parameters of "Brightness" and "Contrast" of digital video cameras in COES according to conditions of illumination of a scene thanks to what the image from video cameras with higher SNR, than at use of settings of cameras by default is received.

Developed software and hardware means are practically used in image filtering and adaptive change of parameters of digital video cameras in the IT company "Yukon-Software" (Chernivtsi).

**Keywords:** computerized optoelectronic systems, digital image processing, digital video camera, image quality, signal to noise ratio, Gaussian noise filtering, energy spectrum, optimization of video cameras parameters, FPGA, parallel computing.

**СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

- [1] С. В. Баловсяк, та Х. С. Одайська, "Автоматичне визначення рівня гаусового шуму на цифрових зображеннях методом виділених областей", *Кибернетика и вычислительная техника*, т. 189, № 3, с. 44-60, 2017. doi: 10.15407/kvt189.03.044.
- [2] С. В. Баловсяк, та Х. С. Одайська, "Автоматичне видалення гаусового шуму на цифрових зображеннях за допомогою квазіоптимального фільтра Гауса", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 3 (83), с. 26-35, 2017.
- [3] S. V. Balovsyak, and Kh. S. Odaiska, "Automatic Highly Accurate Estimation of Gaussian Noise Level in Digital Images Using Filtration and Edges Detection Methods", *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing (IJIGSP)*, vol. 9, no. 12, pp. 1-11, 2017. doi: 10.5815/ijigsp.2017.12.01.
- [4] S. V. Balovsyak, and Kh. S. Odaiska, "Automatic Determination of the Gaussian Noise Level on Digital Images by High-Pass Filtering for Regions of Interest", *Cybernetics and Systems Analysis*, vol. 54, no. 4, pp. 662-670, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10559-018-0067-3>.
- [5] S.V. Balovsyak, and Kh.S. Odaiska, "Hardware and Software Complex for Automatic Level Estimation and Removal of Gaussian Noise in Images", *Advances in Computer Science for Engineering and Education, ICCSEEA 2018, Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 754, pp.144-154, 2019. doi: 10.1007/978-3-319-91008-6\_15.
- [6] С. В. Баловсяк, та Х. С. Одайська, "Оцінка рівня Гаусового шуму на цифрових зображеннях за допомогою виділення області інтересу методом сегментації", *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Комп'ютерні системи та компоненти*, т. 7, № 1, с. 92-99, 2016.
- [7] С. В. Баловсяк, Х. С. Одайська, та Н. В. Рощупкіна, "Визначення рівня гаусового шуму на цифрових зображеннях методом фільтрації", *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Комп'ютерні системи та компоненти*, т. 7, № 2, с. 75-82, 2016.

- [8] С. В. Баловсяк, та Х. С. Одайська, "Реконструкція зображень символів за допомогою штучних нейронних мереж на основі аналізу локальних областей", на *III Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2014”*, Чернівці, 2014, с. 99-101.
- [9] С. В. Баловсяк, та Х. С. Одайська, "Метод автоматичної просторово-однорідної фільтрації зображень з Гаусовим шумом", на *IV Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2015”*, Чернівці, 2015, с. 151-153.
- [10] С. В. Баловсяк, та Х. С. Одайська, "Визначення оптимальної дисперсії ядра фільтра Гауса при фільтрації Гаусового шуму на зображеннях з однією просторовою частотою корисного сигналу", на *V Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2016”*, Чернівці, 2016, с. 133-135.
- [11] S. V. Balovsyak, and Kh. S. Odaiska, "Automatic estimation of Gaussian noise level in digital images by methods of low-pass and high-pass filtrations", in *VI International Scientific Practical Conference (I International Symposium) "Practical Application of Nonlinear Dynamic Systems for Infocommunication"*, Chernivtsi, Ukraine, 2017, pp. 79-80.
- [12] С. В. Баловсяк, Х. С. Одайська, та О. С. Чуб, "Обчислення рівня гаусового шуму для фотосенсорів веб-камер методами низькочастотної фільтрації зображень", на *II Всеукр. наук.-практ. конф. «Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних та комп'ютерних систем» MEICS-2017*, Дніпро, 2017, с. 104-105.
- [13] С. В. Баловсяк, Х. С. Одайська, та О. В. Фочук, "Розпаралелювання обчислень при визначенні рівня гаусового шуму на цифрових зображеннях", на *VII Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2018”*, Чернівці, 2018, с. 76-78.

- [14] С. В. Баловсяк, С. Л. Воропаєва, С. О. Летучий, та Х. С. Одайська, "Апаратно-програмний комплекс для автоматичного вибору параметрів відеокамер з використанням паралельних обчислень", на *VII Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2018”*, Чернівці, 2018, с. 116-118.
- [15] S. V. Balovsyak, O. V. Derevyanchuk, I. M. Fodchuk, O. P. Kroitor, Kh. S. Odaiska, and O. O. Pshenychnyi, "Adaptive oriented filtration of digital images in the spatial domain", in *Intern. Scientific and Technical Internet Conf. "Computer Graphics and Image Recognition"*, Vinnytsya, Ukraine, 2018, vol. 2, pp. 5-10.
- [16] Х.С. Одайська, та С.В. Баловсяк, Комп'ютерна програма "Визначення рівня гаусового шуму на зображеннях", ("GaussNoise18"), *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір, № 91159*, 31.07.2019.
- [17] Х.С. Одайська, та С.В. Баловсяк, Комп'ютерна програма "Видалення гаусового шуму на зображеннях фільтром Гауса", ("GNoiseFilter18"), *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір, № 91158*, 31.07.2019.
- [18] Х.С. Одайська, та С.В. Баловсяк, Комп'ютерна програма "Налаштування параметру "Яскравість" цифрової відеокамери", ("VideoParameter18"), *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір, № 91160*, 31.07.2019.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	17
ВСТУП .....	19
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ВІЗУАЛЬНОЇ ЯКОСТІ ЗОБРАЖЕНЬ У КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ОПТИКО- ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМАХ.....	26
1.1 Комп'ютеризовані системи формування та оброблення цифрових зображень .....	27
1.2 Аналіз побудови та принципів роботи відеокамер.....	35
1.3 Методи та засоби підвищення якості зображень у комп'ютеризованих системах .....	42
1.4 Вибір напрямку й обґрунтування завдань досліджень .....	50
Висновки до розділу 1 .....	52
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ВІЗУАЛЬНОЇ ЯКОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ.....	53
2.1 Архітектура та функції комп'ютеризованої системи для підвищення візуальної якості формування зображень.....	54
2.2 Математична модель процесу фільтрації зображень, сформованих у фоточутливих матрицях відеокамер .....	59
2.3 Метод визначення рівня шуму зображень з використанням їх низькочастотної фільтрації.....	64
2.4 Метод визначення рівня шуму зображень з використанням їх високочастотної фільтрації.....	72
2.5 Метод квазіоптимальної фільтрації вихідного сигналу відеокамер за допомогою фільтра Гауса .....	79
Висновки до розділу 2 .....	91
РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНІ ЗАСОБИ ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ШУМУ ЗОБРАЖЕНЬ У КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИЙ СИСТЕМІ.....	92
3.1 Програмно-апаратні засоби для визначення рівня шуму.....	93

3.2 Програмно-апаратні засоби для фільтрації шуму .....	108
3.3 Експериментальні дослідження запропонованих методів та засобів визначення рівня шуму на зображеннях .....	112
3.4 Експериментальні дослідження розробленого методу та засобів фільтрації зображень .....	123
Висновки до розділу 3 .....	130
<b>РОЗДІЛ 4 КОМП'ЮТЕРИЗОВАНІ СИСТЕМИ ДЛЯ АДАПТИВНОЇ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ЦИФРОВИХ ВІДЕОКАМЕР.....</b>	<b>131</b>
4.1 Комп'ютеризована система для адаптивної зміни параметру «Яскравість» відеокамери.....	132
4.1.1 Метод та програмно-апаратні засоби для адаптивної зміни параметру «Яскравість» відеокамери .....	132
4.1.2 Експериментальні дослідження розроблених засобів для адаптивної зміни параметру «Яскравість» відеокамери .....	144
4.2 Комп'ютеризована система для адаптивної зміни параметру «Контраст» відеокамери.....	152
4.3 Метод і програмні засоби для визначення рівня шуму зображень за допомогою паралельних обчислень .....	161
Висновки до розділу 4 .....	169
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>170</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>172</b>
<b>ДОДАТКИ .....</b>	<b>189</b>
Додаток А Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації .....	190
Додаток Б Оброблення цифрових зображень у частотній області .....	193
Додаток В Тестові цифрові зображення та приклади їх фільтрації ....	204
Додаток Г Приклади оброблення зображень при адаптивній зміні параметрів відеокамери .....	226
Додаток Д Фрагменти лістингів комп'ютерних програм .....	234
Додаток Е Характеристики запропонованих методів .....	242
Додаток Ж Акти впровадження результатів дисертації .....	243



## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Комп'ютеризовані оптико-електронні системи (КОЕС) формування та оброблення цифрових зображень широко використовуються в різних галузях науки, техніки та медицини [1]-[28]. Висока якість формування зображень необхідна для їх коректного оброблення в комп'ютерних системах (КС), наприклад, у КС медичної та технічної діагностики [6]-[9], КС розпізнавання облич [29]-[32]. Джерелом початкових зображень для таких КОЕС і КС у більшості випадків є цифрові відеокамери [10]-[13]. При цьому роль відеокамер як джерела інформації постійно зростає, наприклад, у 2019 році реалізовано понад 10 млн. відеокамер для систем відеоспостереження [12]. Важливим етапом оброблення зображень у КОЕС є підвищення їх візуальної якості [7], [8], [21], яка кількісно описується, зокрема, співвідношенням сигнал/шум (ВСШ). Підвищення якості зображень виконується за допомогою програмно-апаратних засобів, наприклад, шляхом зниження рівня шуму та налаштування параметрів відеокамер [14]-[24]. У сучасних комп'ютерних системах висока якість зображень є необхідною умовою для ефективного виконання таких важливих етапів їх оброблення: візуалізації, сегментації, розпізнавання, підготовки до якісного фотодруку, передавання по комп'ютерним мережам та ін. [25]-[33].

Завдання підвищення якості зображень шляхом фільтрації шуму є важливим для практики, оскільки на експериментальних зображеннях, отриманих у КОЕС за допомогою fotocутливих матриць (ФМ), у більшості випадків присутній шум, наприклад, гаусовий [14], [20], [25]-[28], [32]. Значні рівні шуму на зображеннях у сучасних КОЕС часто спричинюються за рахунок зменшення розмірів елементів ФМ, оскільки існує тенденція до збільшення кількості пікселів ФМ при збереженні фізичних розмірів матриць. З метою отримання максимального ВСШ при фільтрації зображень потрібно попередньо обчислити значення рівня шуму. Проте, існуючі методи та апаратно-програмні засоби визначення рівня шуму мають обмежену точність і швидкодію [22], [26], [34]-[39], а сучасні методи фільтрації зображень у КОЕС [29]-[34], [40] - [50] у

загальному випадку забезпечують ВСШ, яке менше за теоретично можливе [42], [43]. Це зменшує точність результатів для прикладних задач оброблення зображень. Крім цього, швидкодія існуючих методів та засобів є недостатньою для цифрового оброблення зображень у КОЕС медичної діагностики в режимі реального часу [11], [18]. З цієї причини завдання вдосконалення методів і засобів зниження рівня шуму на зображеннях є актуальним.

Процес апаратного оброблення зображень у комп'ютеризованих системах регулюється такими параметрами відеокамер, як «Яскравість», «Контраст» та ін., які в значній мірі впливають на якість отриманих зображень [10]-[12]. Проте, параметри відеокамер, які встановлюються за замовчуванням, звичайно не забезпечують максимальну якість зображень [29], [30]. У той же час, налаштування параметрів відеокамер у ручному режимі є трудомістким процесом. Тому актуальним завданням є розроблення компонентів КОЕС для адаптивної зміни параметрів відеокамер.

Отже, розроблення високоточних і швидкодійних програмно-апаратних засобів комп'ютеризованих оптико-електронних систем, призначених для підвищення візуальної якості зображень шляхом зниження їх рівня шуму та адаптивної зміни параметрів відеокамер, є актуальним завданням з наукової та практичної точок зору.

Дослідженнями в даній галузі займався ряд вітчизняних і закордонних вчених, прізвища яких наведено в літературі.

#### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дослідження, результати яких подані в дисертації, виконані на кафедрі комп'ютерних систем та мереж Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича згідно плану держбюджетних науково-дослідних тем:

- "Мультифункціональний адаптивно реконфігуровний модуль цифрової обробки інформації для задач медико-екологічного і технологічного профілю" (2015-2016 рр., № держреєстрації 0115U003239).
- "Високопродуктивні комп'ютерні засоби і системи багатомасштабної і багатопараметричної ідентифікації та обробки інформації в режимі реального часу" (2016-2020 рр., № держреєстрації 0116U007043).

Під час виконання дисертаційної роботи здобувач проходила стажування в Політехнічному університеті Валенсії (Іспанія) з 24.08.2015 по 26.06.2016 р. у рамках програми Erasmus Mundus EUROEAST.

У вищевказаних темах і програмі здобувач брала участь як виконавець, під час виконання яких автором удосконалено метод обчислення рівня шуму на зображеннях у КОЕС, який реалізовано програмно в системі MATLAB та апаратно засобами ПЛІС, розроблено метод та апаратно-програмні засоби для зменшення рівня шуму на зображеннях, розроблено апаратно-програмні засоби для адаптивної зміни параметрів відеокамер у КОЕС.

**Мета і завдання дослідження.** Мета роботи полягає в підвищенні точності та швидкодії програмно-апаратних засобів КОЕС, призначених для покращення візуальної якості зображень за рахунок зниження їх рівня шуму й адаптивної зміни параметрів відеокамер.

Досягнення мети передбачало виконання таких **завдань**:

1. Провести аналіз побудови та принципів роботи КОЕС формування зображень, які як джерело початкового сигналу використовують відеокамери; запропонувати високоефективну архітектуру таких систем.
2. Провести аналіз методів і засобів підвищення візуальної якості зображень, які застосовують фільтрацію зображень та адаптивну зміну параметрів відеокамер, з метою визначення основних напрямів підвищення їх точності та швидкодії.
3. Розробити математичну модель, методи та програмно-апаратні засоби комп'ютеризованих систем для оцінки якості зображень з урахуванням їх рівня шуму, виконати дослідження запропонованих методів.
4. Розробити математичну модель, метод і програмно-апаратні засоби для підвищення якості зображень у комп'ютеризованих системах шляхом фільтрації, дослідити можливості запропонованого методу.
5. Розробити методи та створити програмно-апаратні засоби КОЕС для адаптивної зміни параметрів цифрових відеокамер.
6. Розробити метод та створити програмно-апаратні засоби КОЕС для підвищення якості зображень із використанням паралельних обчислень.

**Об'єктом дослідження** є процес підвищення візуальної якості формування цифрових зображень у комп'ютеризованих оптико-електронних системах.

**Предметом дослідження** є методи та програмно-апаратні засоби зменшення рівня шуму цифрових зображень та адаптивної зміни параметрів відеокамер у комп'ютеризованих оптико-електронних системах.

**Методи дослідження.** У роботі використовувались: теорія чисельних методів, теорія алгоритмів, теорія диференціально-інтегрального числення, лінійна алгебра, методи фільтрації зображень для розробки моделей і методів підвищення якості формування зображень. Для аналізу та перевірки достовірності отриманих теоретичних положень проведено комп'ютерне моделювання засобами MATLAB і Simulink.

**Наукова новизна отриманих результатів** роботи полягає в розробленні методів підвищення візуальної якості зображень, сформованих за допомогою цифрових відеокамер, що забезпечує вирішення актуального завдання підвищення точності та швидкодії оброблення зображень у комп'ютеризованих оптико-електронних системах.

1. Подальшого розвитку отримала архітектура побудови комп'ютеризованої системи формування зображень, яка відрізняється від існуючих спільним застосуванням високоточної підсистеми визначення рівня шуму як при його фільтрації, так і при адаптивній зміні параметрів відеокамер, що дозволяє виключити дублювання блоків комп'ютеризованої системи, а також збільшити співвідношення сигнал/шум на оброблених зображеннях.

2. Вперше розроблено метод підвищення візуальної якості зображень шляхом їх фільтрації, особливістю якого є обчислення амплітудних і частотних параметрів корисного сигналу на основі радіального розподілу для енергетичного спектру, що забезпечує спрощення реалізації апаратних засобів комп'ютеризованої системи формування зображень, квазіоптимальний результат фільтрації та більш ніж у 2 рази вищу швидкодію.

3. Подальшого розвитку отримали методи оцінки якості формування цифрових зображень, основанийі на їх згортанні, які відрізняються від існуючих врахуванням статистичних характеристик яскравості зображень при виділенні

їх ділянок інтересу, що дозволяє зменшити обчислювальні витрати за рахунок використання операцій типу MADD, підвищити точність визначення рівня шуму до 30 % і збільшити співвідношення сигнал/шум на зображеннях, отриманих у комп'ютеризованій системі за допомогою відеокамери.

4. Подальшого розвитку отримали методи оброблення зображень з адаптивною зміною параметрів «Яскравість» і «Контраст» цифрової відеокамери відповідно до умов освітленості сцени з використанням зворотного зв'язку між комп'ютеризованою системою та відеокамерою, які відрізняються від відомих урахуванням кількості пікселів зображення з допустимими значеннями яскравості, що дозволяє до 1.4 дБ збільшити співвідношення сигнал/шум для оброблених зображень.

5. Подальшого розвитку отримав метод визначення рівня шуму зображень із використанням паралельних обчислень, який відрізняється від існуючих розширенням тайлів зображень перед їх паралельним згортанням на величину половини від розміру ядра фільтра, що забезпечує незалежне оброблення тайлів зображень різними ядрами процесорів SIMD системи, усунення крайових ефектів при фільтрації зображень і збільшення швидкодії оброблення зображень у комп'ютеризованих системах до 1.5 разів.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в тому, що на основі запропонованих методів розроблено:

- прикладне програмне забезпечення в системі MATLAB для визначення рівня шуму, яке використовує низькочастотну та високочастотну фільтрації зображень, завдяки чому отримано вищу точність оцінки якості зображень, ніж для програм-аналогів;

- програмні засоби в системі MATLAB для підвищення якості зображень у КОЕС шляхом зменшення рівня шуму, які використовують фільтр Гауса та виконують аналіз енергетичних спектрів зображень, що забезпечують квазіоптимальну якість фільтрованих зображень згідно з критерієм ВСШ; такі засоби можуть використовуватися в системах відеоспостереження й автоматичної фільтрації цифрових зображень, системах розпізнавання зображень облич і візуального контролю виробничих процесів, тощо;

- апаратні засоби на основі ПЛІС для цифрової фільтрації зображень, отриманих за допомогою відеокамер, що забезпечило на порядок вищу швидкодію фільтрації та дозволило виконувати оброблення не тільки окремих (статичних) зображень, але й кадрів відеопотоку в режимі реального часу;

- програмно-апаратні засоби для адаптивної зміни параметрів «Яскравість» і «Контраст» цифрових відеокамер у КОЕС відповідно до умов освітленості сцени, завдяки чому отримано зображення з відеокамер із вищим ВСШ, ніж при використанні налаштувань камер за замовчуванням.

Розроблені програмно-апаратні засоби практично використані при фільтрації зображень та адаптивній зміні параметрів цифрових відеокамер в ІТ-компанії «Юкон-Софтваре» (м. Чернівці).

Теоретичні та практичні результати роботи використано при викладанні дисциплін «Пристрої зв'язку з об'єктом» і «Комп'ютерні системи» (Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича – ЧНУ), а також при виконанні держбюджетних тем на кафедрі комп'ютерних систем та мереж ЧНУ.

### **Особистий внесок здобувача**

За час підготовки дисертаційної роботи здобувач приймала участь у розробленні математичних моделей і методів оброблення зображень, а також в їх програмно-апаратній реалізації. Усі основні результати дисертаційної роботи, яка винесена на захист, отримані здобувачем самостійно (додаток А). У роботах, які опубліковані у співавторстві, здобувачу належить: [52], [58] – аналіз методів фільтрації шуму на цифрових зображеннях; [51], [53], [54], [56], [57], [63] – розроблення та програмна реалізація методів обчислення рівня гаусового шуму з використанням виділених ділянок, низькочастотної та високочастотної фільтрації; [52], [55], [59], [60], [65] – розроблення методу обчислення параметрів квазіоптимального фільтра Гауса та створення на його основі програмного забезпечення для квазіоптимальної фільтрації гаусового шуму на зображеннях, [55], [62], [64] – створення апаратно-програмних засобів для адаптивної зміни параметрів відеокамер, [52], [53], [61] – тестування розробленого програмно-апаратного забезпечення при

підвищенні якості зображень, [66], [67], [68] – програмна реалізація методів обчислення рівня та фільтрації шуму, методи адаптивної зміни параметрів відеокамер у КОЕС.

### **Апробація матеріалів дисертації**

Результати досліджень, що становлять основу дисертації, доповідались і обговорювались на семи конференціях, тези доповідей опубліковані у збірниках праць відповідних конференцій:

1. III, IV, V, VII Міжнародні науково-практичні конференції: «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПКТ – 2014”, „ПКТ – 2015”, „ПКТ – 2016”, „ПКТ – 2018” (Чернівці, 2014, 2015, 2016, 2018).

2. VI International Scientific Practical Conference (I International Symposium) «Practical Application of Nonlinear Dynamic Systems for Infocommunication» (Chernivtsi, Ukraine, 2017).

3. II Всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних та комп'ютерних систем» MEICS-2017 (Дніпро, 2017).

4. International Scientific and Technical Internet Conference "Computer Graphics and Image Recognition" (Vinnytsya, Ukraine, 2018).

### **Публікації**

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 18 наукових робіт, із них 7 – статей у фахових виданнях, 7 – доповіді у матеріалах міжнародних конференцій, 1 – доповідь у матеріалах всеукраїнської конференції, 3 – свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерну програму), 2 – роботи у міжнародних виданнях, що входять до наукометричної бази SCOPUS. Список публікацій [51]-[68] наведено в кінці дисертаційної роботи.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота викладена на 245 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (172 найменування) і 7 додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 135 сторінок друкованого тексту. Робота містить 108 рисунків і 19 таблиць.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Й.Й. Білінський, *Методи обробки зображень в комп'ютеризованих оптико-електронних системах: монографія*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2010.
- [2] И.С. Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых, Г.И. Перетягин, и А.А. Спектор, *Цифровая обработка изображений в информационных системах: учебное пособие*. Новосибирск, Россия: Изд-во НГТУ, 2000.
- [3] О.В. Дробик та ін., *Цифрова обробка аудіо- та відеоінформації у мультимедійних системах: навчальний посібник*. Київ, Україна: Наукова думка, 2008.
- [4] О. М. Березький, О. Й. Піцун, А. Р. Боднар, та Т. М. Долинюк, "Класифікація гістологічних та цитологічних зображень на основі згорткових нейронних мереж", *Штучний інтелект*, № 1, с. 33-42, 2017.
- [5] А. М. Петух, О. М. Рейда, В. П. Майданюк, та В. П. Кожем'яко, *Інформаційно-вимірювальні системи відновлення і ущільнення зображень: монографія*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2011.
- [6] I. N. Bankman, *Handbook of Medical Image Processing and Analysis*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Inc., 2009.
- [7] С. В. Павлов, Д. В. Вовкотруб, Р. Ю. Довгальок, та А.-З. Хані, "Інформаційні технології підвищення якості біомедичних зображень", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, т. 2, № 21, с. 41-48, 2011.
- [8] А.А. Яровий, І.Р. Арсенюк, та Д.Г. Пасічник, "Проектування системи цифрової корекції та підвищення якості растрових зображень у сфері рентгенографії", *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*, т.1, № 38, с. 72–77, 2017.
- [9] В. Г. Пантелеев, О. В. Егорова, и Е. И. Клыкова, *Компьютерная микроскопия*. Москва, Россия: Техносфера, 2005.



- [10] В. В. Березин, А. А. Умбиталиев, Ш. С. Фахми, А. К. Цыцулин, и Н. Н. Шипилов, *Твердотельная революция в телевидении: Телевизионные системы на основе приборов с зарядовой связью, систем на кристалле и видеосистем на кристалле*. Москва, Россия: Радио и связь, 2006.
- [11] В. П. Боюн, "Сприйняття і обробка зображень в системах реального часу", *Штучний інтелект*, № 3, с. 114-125, 2013.
- [12] Technology white paper reveals top trends impacting the video surveillance market in 2020. [Online]. Available: <https://www.telecomtv.com/content/video-technology/ihb-market-technology-white-paper-reveals-top-trends-impacting-the-video-surveillance-market-in-2020-37354>. Accessed on: Jan 12, 2020.
- [13] В.В. Старовойтов, и Ю.И. Голуб, *Цифровые изображения: от получения до обработки*. Минск, Беларусь: ОИПИ НАН Беларуси, 2014.
- [14] A.L. Bovik, *The Essential Guide to Image Processing*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Inc., 2009.
- [15] W. Burger and M.J. Burge, *Principles of Digital Image Processing. Fundamental Techniques*. London, UK: Springer-Verlag, 2009.
- [16] S.G. Hoggar, *Mathematics of digital images. Creation, Compression, Restoration, Recognition*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2006.
- [17] W. Pratt, *Digital Image Processing*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2007.
- [18] J.C. Russ, *The Image Processing. Handbook*. Abingdon-on-Thames, UK: Taylor & Francis Group, 2011.
- [19] В.П. Бабак, В.С. Хандецький, та Е. Шрюфер, *Обробка сигналів: Підручник*. Київ, Україна: Либідь, 1996.
- [20] Н. Н. Красильников, *Цифровая обработка 2D и 3D изображений*. Санкт-Петербург, Россия: БХВ-Петербург, 2011.
- [21] А. Л. Приоров, И. В. Апальков, и В. В.Хрящев, *Цифровая обработка изображений: учебное пособие*. Ярославль, Россия: ЯрГУ, 2007.
- [22] А.Б. Сергиенко, *Цифровая обработка сигналов: Учеб. пособие для вузов*. Санкт-Петербург, Россия: Питер, 2002.

- [23] Б. Яне, *Цифровая обработка изображений*. Москва, Россия: 2007.
- [24] Л. П. Ярославский, *Введение в цифровую обработку изображений*. Москва, СССР: Сов. радио, 1979.
- [25] R. Gonzalez, and R. Woods. *Digital image processing*. New Jersey, USA: Prentice Hall, 2002.
- [26] Р. Гонсалес, и Р. Вудс, *Цифровая обработка изображений*. Москва, Россия: Техносфера, 2005.
- [27] R. Gonzalez, R. Woods, and L. Eddins. *Digital Image Processing using MATLAB*. New Jersey, USA: Prentice Hall, 2004.
- [28] Р. Гонсалес, Р. Вудс, и С. Эддинс, *Цифровая обработка изображений в среде MATLAB*. Москва, Россия: Техносфера, 2006.
- [29] E. R. Davies. *Computer and Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2012.
- [30] S. Krigg. *Computer Vision Metrics. Survey, Taxonomy, and Analysis*. Basel, Switzerland, Springer, 2014.
- [31] L.G. Shapiro, G. Stockman. *Computer vision*. New Jersey, USA: Prentice-Hall, 2001.
- [32] Д. Форсайт, и Ж. Понс, *Компьютерное зрение. Современный подход*. Москва, Россия: Вильямс, 2004.
- [33] Л. Шапиро, и Дж. Стокман. *Компьютерное зрение*. Москва, Россия: Бином. Лаборатория знаний, 2013.
- [34] X. Liu, M. Tanaka, and M. Okutomi, "Single-Image Noise Level Estimation for Blind Denoising", *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 22, No. 12, pp. 5226- 5237, 2013.
- [35] В.В. Абрамова, С.К. Абрамов, В.В. Лукин, и Г.А. Проскура, "Исследование возможности повышения быстродействия метода оценивания дисперсии помех на цифровых изображениях", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 2 (82), С.4-9, 2017.
- [36] В.В. Абрамова, С.К. Абрамов, и В.В. Лукин, "Многоэтапный автоматический метод оценивания дисперсии аддитивного шума с

- использованием детектора однородных участков на основе момента четвертого порядка", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 4 (63), С.15-24, 2013.
- [37] D. D. Muresan, and T. W. Parks, "Adaptive principal components and image denoising", in *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Barcelona, Spain, 2003, pp. 101-104.
- [38] S. Pyatykh, J. Hesser, and L. Zheng, "Image noise level estimation by principal component analysis", *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. 22, no.2, pp.687-699, 2013.
- [39] D. Zoran, and Y. Weiss, "Scale invariance and noise in natural images", in *Proc. IEEE 12th Int. Conf. Comput. Vis.*, 2009, pp. 2209-2216.
- [40] B. R. Corner, R. M. Narayanan, and S. E. Reichenbach, "Noise estimation in remote sensing imagery using data masking", *Int. J. Remote Sensing*, vol. 24, no. 4, pp. 689-702, 2003.
- [41] G. Ilango, and R. Marudhachalam, "New Hybrid Filtering Techniques for Removal of Gaussian Noise from Medical Images", *Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 6, no. 2, pp. 8-12, 2011.
- [42] Chatterjee, and P. Milanfar, "Is denoising dead?", *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 19, no. 4, pp. 895-911, 2010.
- [43] В. В. Лукин, Н. Н. Пономаренко, С. К. Абрамов, и А. А. Зеленский, "Потенциальная эффективность фильтрации изображений: есть ли предел и близок ли он?", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 3 (44), с. 38-43, 2010.
- [44] Р. Н. Кветний, І. В. Богач, О. Р. Бойко, О. Ю. Софина, та О.М. Шушура; за заг. ред. Р.Н. Кветного, *Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 1: навчальний посібник*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2012.
- [45] Р. Н. Кветний, І. В. Богач, О. Р. Бойко, О. Ю. Софина, та О.М. Шушура; за заг. ред. Р.Н. Кветного, *Комп'ютерне моделювання систем та процесів*.

- Методи обчислень. Частина 2: навчальний посібник.* Вінниця, Україна: ВНТУ, 2012.
- [46] В.П. Майданюк, та І.Р. Арсенюк, "Поліпшення якості зображень", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології (OEIET)*, т. 30, № 2, с.19-32. 2015.
- [47] А.Я. Кулик, та Я.А. Кулик, "Використання медіанного фільтра у проблемно-орієнтованих розподілених комп'ютерних системах", *Науковий вісник Чернівецького університету. Комп'ютерні системи та компоненти*, т. 1, № 1, с. 51-54, 2010.
- [48] В.В. Гармаш, В.В. Калашніков, та А.Я. Кулик, "Фільтрація зображень з використанням кратномасштабного білатерального фільтра", *Вісник Хмельницького національного університету*, т. 4, с. 170-175, 2013.
- [49] A. Buades, B. Coll, and J.M. Morel, "A review of image denoising algorithms, with a new one", *SIAM Journal on Multiscale Modeling and Simulation*, vol. 4, pp. 490-530, 2005.
- [50] D. Boleanu, *Advances in wavelet theory and their applications in engineering, physics and technology.* London, UK: InTech, 2012.
- [51] С. В. Баловсяк, та Х. С. Одайська, "Автоматичне визначення рівня гаусового шуму на цифрових зображеннях методом виділених областей", *Кибернетика и вычислительная техника*, т. 189, № 3, с. 44-60, 2017. doi: 10.15407/kvt189.03.044.
- [52] С. В. Баловсяк, та Х. С. Одайська, "Автоматичне видалення гаусового шуму на цифрових зображеннях за допомогою квазіоптимального фільтра Гауса", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 3 (83), с. 26-35, 2017.
- [53] S. V. Balovsyak, and Kh. S. Odaiska, "Automatic Highly Accurate Estimation of Gaussian Noise Level in Digital Images Using Filtration and Edges Detection Methods", *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing (IJIGSP)*, vol. 9, no. 12, pp. 1-11, 2017. doi: 10.5815/ijigsp.2017.12.01.
- [54] S. V. Balovsyak, and Kh. S. Odaiska, "Automatic Determination of the Gaussian Noise Level on Digital Images by High-Pass Filtering for Regions of

- Interest", *Cybernetics and Systems Analysis*, vol. 54, no. 4, pp. 662-670, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10559-018-0067-3>.
- [55] S.V. Balovsyak, and Kh.S. Odaiska, "Hardware and Software Complex for Automatic Level Estimation and Removal of Gaussian Noise in Images", *Advances in Computer Science for Engineering and Education, ICCSEEA 2018, Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 754, pp.144-154, 2019. doi: 10.1007/978-3-319-91008-6\_15.
- [56] С. В. Баловсяк, та Х. С. Одайська, "Оцінка рівня Гаусового шуму на цифрових зображеннях за допомогою виділення області інтересу методом сегментації", *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Комп'ютерні системи та компоненти*, т. 7, № 1, с. 92-99, 2016.
- [57] С. В. Баловсяк, Х. С. Одайська, та Н. В. Рощупкіна, "Визначення рівня гаусового шуму на цифрових зображеннях методом фільтрації", *Науковий вісник Чернівецького національного університету. Комп'ютерні системи та компоненти*, т. 7, № 2, с. 75-82, 2016.
- [58] С. В. Баловсяк, та Х. С. Одайська, "Реконструкція зображень символів за допомогою штучних нейронних мереж на основі аналізу локальних областей", на *III Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2014”*, Чернівці, 2014, с. 99-101.
- [59] С. В. Баловсяк, та Х. С. Одайська, "Метод автоматичної просторово-однорідної фільтрації зображень з Гаусовим шумом", на *IV Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2015”*, Чернівці, 2015, с. 151-153.
- [60] С. В. Баловсяк, та Х. С. Одайська, "Визначення оптимальної дисперсії ядра фільтра Гауса при фільтрації Гаусового шуму на зображеннях з однією просторовою частотою корисного сигналу", на *V Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2016”*, Чернівці, 2016, с. 133-135.
- [61] S. V. Balovsyak, and Kh. S. Odaiska, "Automatic estimation of Gaussian noise level in digital images by methods of low-pass and high-pass filtrations", in *VI International Scientific Practical Conference (I International Symposium)*

- "Practical Application of Nonlinear Dynamic Systems for Infocommunication"*, Chernivtsi, Ukraine, 2017, pp. 79-80.
- [62] С. В. Баловсяк, Х. С. Одайська, та О. С. Чуб, "Обчислення рівня гаусового шуму для фотосенсорів веб-камер методами низькочастотної фільтрації зображень", на *II Всеукр. наук.-практ. конф. «Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних та комп'ютерних систем» MEICS-2017*, Дніпро, 2017, с. 104-105.
- [63] С. В. Баловсяк, Х. С. Одайська, та О. В. Фочук, "Розпаралелювання обчислень при визначенні рівня гаусового шуму на цифрових зображеннях", на *VII Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2018”*, Чернівці, 2018, с. 76-78.
- [64] С. В. Баловсяк, С. Л. Воропаєва, С. О. Летучий, та Х. С. Одайська, "Апаратно-програмний комплекс для автоматичного вибору параметрів відеокамер з використанням паралельних обчислень", на *VII Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» „ПІКТ – 2018”*, Чернівці, 2018, с. 116-118.
- [65] S. V. Balovsyak, O. V. Derevyanchuk, I. M. Fodchuk, O. P. Kroitor, Kh. S. Odaiska, and O. O. Pshenychnyi, "Adaptive oriented filtration of digital images in the spatial domain", in *Intern. Scientific and Technical Internet Conf. "Computer Graphics and Image Recognition"*, Vinnytsya, Ukraine, 2018, vol. 2, pp. 5-10.
- [66] Х.С. Одайська, та С.В. Баловсяк, Комп'ютерна програма "Визначення рівня гаусового шуму на зображеннях", ("GaussNoise18"), *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір, № 91159*, 31.07.2019.
- [67] Х.С. Одайська, та С.В. Баловсяк, Комп'ютерна програма "Видалення гаусового шуму на зображеннях фільтром Гауса", ("GNoiseFilter18"), *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір, № 91158*, 31.07.2019.

- [68] Х.С. Одайська, та С.В. Баловсяк, Комп'ютерна програма "Налаштування параметру "Яскравість" цифрової відеокамери", ("VideoParameter18"), *Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір*, № 91160, 31.07.2019.
- [69] S. V. Balovsyak, and Kh. S. Odaiska, "Hardware and Software Complex for Automatic Level Estimation and Removal of Gaussian Noise in Images", in *The First Intern. Conf. on Computer Science, Engineering and Education Applications (ICCSEEA2018)*, Kiev, Ukraine, 2018, pp. 4-6.
- [70] Р.А. Кожемякин, А.Н. Земляченко, Н.Н. Пономаренко, и В.В. Лукин, "Автоматическое сжатие гиперспектральных изображений с использованием вариационно-стабилизирующего преобразования", *Радиоэлектронні і комп'ютерні системи*, № 1 (60), с. 58-65, 2013.
- [71] Y. Tsin, V. Ramesh, and T. Kanade, "Statistical Calibration of CCD Imaging Process", in *Proc. IEEE Intern. Conf. Computer Vision*, 2001, pp. 480-487.
- [72] C. Liu, R. Szeliski, S. B. Kang, C. L. Zitnick, and W. T. Freeman, "Automatic Estimation and Removal of Noise from a Single Image", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 30, no. 2, pp. 299-314, 2008.
- [73] М.Г. Князев, А.В. Бондаренко, и И.В. Докучаев, "Расчет пороговых значений потока излучения и освещенности для ПЗС матриц KODAK KAI-1003M, KODAK KAI-1020 и PHILIPS FTF3020M", *Цифровая обработка сигналов*, № 3, с. 49-56, 2006.
- [74] М.М. Гуревич, *Фотометрия. Теория, методы и приборы*. Ленинград, СССР: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1983.
- [75] М.П. Бабич, та І.А. Жуков, Комп'ютерна схемотехніка: Навчальний посібник. Київ, Україна: МК-Пресс, 2004.
- [76] Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, та Б. І. Стадник, *Засоби та методи вимірювань неелектричних величин. Підручник для вищих навч. закл.*, Львів, Україна: Бескид Біт, 2008.
- [77] Р.Г. Джексон, *Новейшие датчики*. Москва, Россия: Техносфера, 2007.

- [78] С. Добрусенко, "CCD&CMOS матрицы и модули фирмы PixelPlus Co. Ltd. совмещенные с видеопроцессором на одном кристалле", *Радиокомпоненты*, № 6, с. 30-32, 2005.
- [79] С. А. Молодяков, *Фотоприемники в системах потоковой обработки сигналов и изображений*. Санкт-Петербург, Россия: Изд-во Политехн. ун-та, 2014.
- [80] А. А. Горбачев, В. В. Коротаев, и С. Н. Ярышев, *Твердотельные матричные фотопреобразователи и камеры на их основе*. Санкт-Петербург, Россия: НИУ ИТМО, 2013.
- [81] В.С. Титов, В.С. Яковлева, и В.С. Панищев, *Адаптивные видеодатчики на базе КМОП приемников излучения с активными пикселями*. – Курск, Россия: КурскГТУ, 2008.
- [82] Cypress. CMOS Image Sensor. [Online]. Available: <http://www.cypress.com>. Accessed on: May 15, 2018.
- [83] Micron Technology. CMOS Image Sensor. [Online]. Available: <http://www.micron.com>. Accessed on: May 15, 2018.
- [84] OmniVision. Image Sensor. [Online]. Available: <http://www.ovt.com>. Accessed on: May 15, 2018.
- [85] П. В. Агуров. *Интерфейсы USB. Практика использования и программирования*. Санкт-Петербург, Россия: БХВ-Петербург, 2004.
- [86] А.А. Лапин. *Интерфейсы. Выбор и реализация*. Москва, Россия: Техносфера, 2005.
- [87] OV5610 Color CMOS QSXGA (5.17 MPixel) CameraChip with OmniPixel Technology Data Sheet. Omni Vision. [Online]. Available: <https://wenku.baidu.com/view/597c8e53ad02de80d4d8403c.html?re=view>. Accessed on: May 15, 2018.
- [88] Цветная мегапиксельная телевизионная камера высокого разрешения в корпусе внутреннего исполнения. Модель VEC-545-USB. [Электронный ресурс]. Доступно: [http://evs.ru/d\\_sheet/VEC-545-USB.pdf](http://evs.ru/d_sheet/VEC-545-USB.pdf). Дата обращения: Май, 15, 2018.



- [89] В.Р. Rusyn, А.А. Lutsyk, and R.Ya. Kosarevych, "Modified architecture of lossless image compression based on FPGA for on-Board devices with linear CCD", *Journal of Automation and Information Sciences*, vol. 50, no. 2, pp.41-49, 2019.
- [90] В.Ю. Зотов, *Проектирование встраиваемых микропроцессорных систем на основе ПЛИС фирмы XILINX®*. Москва, Россия: Горячая линия – Телеком, 2006.
- [91] А.О. Мельник, *Архітектура комп'ютера*. Луцьк, Україна: Волинська обласна друкарня, 2008.
- [92] Analysts: Smartphone Market 'In Freefall'. [Online]. Available: <https://www.pcmag.com/news/368095/analysts-smartphone-market-in-freefall>. Accessed on: May 3, 2019.
- [93] Программа «Интеллект». Настройка параметров яркости, контраста, цветности, формата цветопередачи. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://doc.axxonsoft.com/confluence/pages/viewpage.action?pageId=83494493>. Дата обращения: Май, 15, 2018.
- [94] Н. Daniel, Introduction to Smart Video Technologies from Intel. [Online]. Available: <https://software.intel.com/en-us/articles/introduction-to-smart-video-technologies-from-intel>. Accessed on: June 19, 2017.
- [95] Дзеркальний фотоапарат: Canon EOS 5D Mark III. [Online]. Available: <https://www.canon.ua>.
- [96] Н.Н. Пономаренко, "Подавление шума на изображениях с использованием больших кодовых книг участков изображений", *Системи обробки інформації*, № 2(100), с. 86-91, 2012.
- [97] А. К. Boyat, and B. K. Joshi, "A Review Paper: Noise Model in Digital Image", *Processing, Signal & Image Processing: An International Journal (SIPIJ)*, vol. 6, No. 2, pp. 63-75, 2015.
- [98] А.В. Lozynskyy, I.M. Romanyshyn, and В.Р. Rusyn, "Intensity estimation of noise-like signal in presence of uncorrelated pulse interferences", *Radioelectronics and Communications Systems*, vol. 62, no. 5, pp. 214-222, 2019.

- [99] П.Е. Ельцов, С.К. Абрамов, М.Л. Усс, и В.В. Лукин, "Обнаружение однородных участков изображений на основе тестов на гауссовость", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 1 (49), с. 38-45, 2011.
- [100] Обзор и сравнение IP-видеокамер наблюдения формата 4К. Модель Samsung PNO-9080R. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://worldvision.com.ua/articles/obzor-i-sravnenie-ip-videokamer-nablyudeniya-formata-4k>. Дата обращения: Май, 15, 2018.
- [101] Research at Microsoft, research areas Computer Vision, Graphics and Multimedia. [Online]. Available: <http://research.microsoft.com/en-us/>. Accessed on: May 15, 2018.
- [102] Н.Н. Бондина, А.С. Калмычков, и В.Э. Кривенцов, "Сравнительный анализ алгоритмов фильтрации медицинских изображений", *Вестник НТУ «ХПИ»*, № 38, с.14-25, 2012.
- [103] Н.Н. Бондина, и Р.Ю. Муратов, "Адаптивные алгоритмы фильтрации и изменения контраста изображения", *Вестник НТУ «ХПИ»*, № 35, с.35-42, 2014.
- [104] C. Kervrann, and J. Boulanger, "Optimal spatial adaptation for patch-based image denoising", *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 15, no. 10, pp. 2866-2878, 2006.
- [105] L. Zhang, W. Dong, D. Zhang, and G. Shi, "Two-stage image denoising by principal component analysis with local pixel grouping", *Pattern Recognition*, vol. 43, no. 8, pp. 1531-1549, 2010.
- [106] A. Foi, V. Katkovnik, and K. Egiazarian, "Pointwise shape-adaptive DCT for high-quality denoising and deblocking of grayscale and color images", *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 16, no. 5, pp. 1395-1411, 2007.
- [107] Р. А. Кожемякин, В. В. Абрамова, и С. К. Абрамов, "Фильтрация изображений, искаженных смесью сигнально-зависимых и сигнально-независимых помех", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 2 (54), с. 58-65, 2012.

- [108] Ю.Е. Воскобойников, и А.Б. Колкер. *Фильтрация сигналов и изображений (с примерами в MathCad): монография*. Новосибирск, Россия: НГАСУ (Сибстрин), 2010.
- [109] С. В. Баловсяк, Я. Д. Гарабазив, и И. М. Фодчук, "Ориентированная фильтрация цифровых электронно-дифракционных изображений", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 3 (77), с. 4-13, 2016.
- [110] R. V. Meera Devi, and B. S. Sathish Kumar, "Gaussian Noise Reduction on Image Automatically", *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 4, pp. 61-64, 2015.
- [111] В.П. Дьяконов, *Вейвлеты. От теории к практике*. Москва, Россия: СОЛОН-Пресс, 2010.
- [112] О. В. Капшій, О. І. Коваль, та Б. П. Русин, *Вейвлет-перетворення у компресії та попередній обробці зображень*. Львів, Україна: Сполом, 2008.
- [113] L.I. Rudin, S. Osher, and E. Fatemi, "Nonlinear total variation based noise removal algorithms", *Physica D*, vol. 60, pp. 259-268, 1992.
- [114] X. Li, and T. Chen, "Nonlinear diffusion with multiple edginess thresholds", *Pattern Recognition*, no. 27, pp. 1029-1037, 1994.
- [115] G. Gilboa, N. Sochen, and Y. Zeevi, "Image Enhancement and Denoising by Complex Diffusion Processes", *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, no. 26, pp. 1020-1036, 2004.
- [116] D. Suresha, and H. N. Prakash, "Data Content Weighing for Subjective versus Objective Picture Quality Assessment of Natural Pictures", *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing (IJIGSP)*, vol. 9, no. 2, pp. 27-36, 2017.
- [117] О.И. Еремеев, Д.В. Февралев, Н.Н. Пономаренко, и В.В.Лукин, "Визуальное качество изображений при различных типах помех", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 2 (54), с. 49-57, 2012.
- [118] С. К. Абрамов, А. А. Зеленский, В. В. Лукин, и Н. Н. Пономаренко, "Использование базы TID2008 при разработке метрик визуального

- качества и методов обработки изображений", *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, № 4(56), с. 99-109, 2012.
- [119] А. Солонина, Д. Улахович, и Л. Яковлев, *Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов*. Санкт-Петербург, Россия: БХВ-Петербург, 2002.
- [120] А.И. Солонина, Д.А. Улахович, С.М. Арбузов, и Е.Б. Соловьева. *Основы цифровой обработки сигналов*. Санкт-Петербург, Россия: БХВ-Петербург, 2005.
- [121] С. Пономаренко, *Adobe Photoshop 7 в подлиннике*, Санкт-Петербург, Россия: БХВ-Петербург, 2003.
- [122] PhotoScape. Photo editing software. [Online]. Available: <http://www.photoscape.org>. Accessed on: June 19, 2017.
- [123] L. Kabbai, A. Sghaier, A. Douik, and M. Machhout, "FPGA implementation of filtered image using 2D Gaussian filter", *International Journal of Computer Science and Applications (IJACSA)*, vol. 7, no. 7, pp. 514-520, 2016.
- [124] H. Zhang, M. Xia, and G. Hu, "A Multiwindow partial buffering scheme for FPGA based 2-D convolvers", *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 54, no. 2, pp. 200-204, 2007.
- [125] Д.В. Сальников, и О.Г. Васильченков, "Модифицированный медианный фильтр с пост фильтрационным принятием решения", *Системи управління, навігації та зв'язку*, № 1(53), с. 158-161, 2019.
- [126] R. Brarath, V. Akkala, P. Pajalakshmi, and P. Kumar, "FPGA Based Implementation of Low Complex Adaptive Speckle Suppression Filter for B-mode Medical Ultrasound Images", *IEEE Conference on Biomedical Engineering and Sciences*, 8-10 December, Miri, Sarawak, Malaysia, 2014, pp. 545-550.
- [127] Y. Said, T. Saidani, F. Smach, M. Atri, and H. Snoussi, "Smart Camera Based on FPGA Oriented to Embedded Image Processing", *International Review on Computer and Software (IRECOS)*, vol. 8, no. 2, pp. 1-6, 2013.

- [128] E. S. Ifeachor, and B. W. Jervis, *Digital signal processing: a practical approach*. New York, USA: Prentice Hall, 2002.
- [129] L. Roger, and Jr. Easton, *Fourier methods in imaging. Series in Imaging Science and Technology*. Springfield, USA: Wiley-IS&T, 2010.
- [130] К. К. Васильев, В. А. Глушков, А. В. Дормидонтов, и А. Г. Нестеренко, *Теория электрической связи: учебное пособие*. Ульяновск, Россия: УЛГТУ, 2008.
- [131] Э.С. Айчифер, и Б.У. Джервис, *Цифровая обработка сигналов: практический подход*. Москва, Россия: Вильямс, 2004.
- [132] В. Е. Гмурман, *Теория вероятностей и математическая статистика*, Москва, Россия: Высш. шк., 2003.
- [133] Г. Корн, и Т. Корн. *Справочник по математике. Для научных работников и инженеров*. Москва, СССР: Наука, 1974.
- [134] Image Processing Place. Image Databases. [Online]. Available: [http://www.imageprocessingplace.com/root\\_files\\_V3/image\\_databases.htm](http://www.imageprocessingplace.com/root_files_V3/image_databases.htm). Accessed on: May 4, 2018.
- [135] C. Fowlkes, D. Martin, and J. Malik, "Local Figure/ Ground Cues are Valid for Natural Images", *Journal of Vision*, vol. 7(8), no. 2, pp. 1-9, 2007.
- [136] The Berkeley Segmentation Dataset and Benchmark. BSDS300. [Online]. Available: <https://www.eecs.berkeley.edu/Research/Projects/CS/vision/bsds>. Accessed on: May 20, 2018.
- [137] В.М. Глушков, *Основы безбумажной информатики*. Москва, СССР: Наука, 1987.
- [138] Ф. Гилл, У. Мюррей, и М. Райт, *Практическая оптимизация*. Москва, СССР: Мир, 1985.
- [139] R. Paredes, and M. Villegas, "Image-Text Dataset Generation for Image Annotation and Retrieval", in *II Congreso Espanol de Recuperacion de Information, CERI 2012*, Valencia, Spain, 2012, pp. 115-120.
- [140] M. Srinivasa Rao, V. Vijaya Kumar, and Mhm. Krishna Prasad, "Texture Classification based on First Order Local Ternary Direction Patterns",

- International Journal of Image, Graphics and Signal Processing (IJIGSP)*, vol. 9, no. 2, pp. 46-54, 2017.
- [141] M.L. Uss, B. Vozel, V.V. Lukin, and K. Chehdi, "Image informative maps for component-wise estimating parameters of signal-dependent noise", *Journal of Electronic Imaging*, vol. 22, no. 1, pp. 013019-1 – 013019-17, 2013.
- [142] B. Rusyn, R. Kosarevych, O. Lutsyk, and V. Korniy, "Segmentation of atmospheric clouds images obtained by remote sensing", in *14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Science Engineering (TCSET)*, 2018, Ukraine, pp. 213-216.
- [143] Р.Н. Кветний, та О.Ю. Софіна, *Методи фільтрації текстурованих зображень у задачах розпізнавання та класифікації: монографія*. Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2010.
- [144] J. Immerkaer, "Fast Noise Variance Estimation", *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 64, No. 2, pp. 300-302, 1996.
- [145] S.-C. Tai, and S.-M. Yang, "A fast method for image noise estimation using Laplacian operator and adaptive edge detection", in *Proc. 3rd Int. Symp. Commun. Control Signal Process (ISCCSP)*, 2008, Malta, pp. 1077-1081.
- [146] В. С. Сизиков, *Устойчивые методы обработки результатов измерений*. Санкт-Петербург, Россия: Специальная Литература, 1999.
- [147] Л. П. Фельдман, І. А. Петренко, та О. А. Дмитрієва, *Чисельні методи в інформатиці*. Київ, Україна: Видавнича група BHV, 2006.
- [148] S. Thonhpanja, A. Phinyomark, P. Phukpattaranont, and C. Limsakul. "Mean and Median Frequency of EMG Signal to Determine Muscle Force based on Time-dependent Power Spectrum", *Electronika IR Elektrotehnika*, vol. 19, no. 3, pp. 51-56, 2013.
- [149] А. Й. Наконечний, Р. А. Наконечний, В. А. Павлиш. *Цифрова обробка сигналів: навчальний посібник*. Львів, Україна: Видавництво Львівської політехніки, 2010.
- [150] А. Ф. Дащенко, В. Х. Кириллов, Л.В. Коломиец, и В.Ф. Оробей. *Matlab в инженерных и научных расчетах*. Одеса, Україна: Астропринт, 2003.

- [151] И. М. Журавель, *Обработка сигналов и изображений. Image Processing Toolbox*. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/22.php>. Дата звернення: 17.04.2018.
- [152] Ю.Л. Кетков, А.Ю. Кетков, и М.М. Шульц, *Matlab 7: программирование, численные методы*. Санкт-Петербург, Россия: БХВ-Петербург, 2005.
- [153] В. С. Моисеев. *Системное проектирование преобразователей информации*. Ленинград, СССР: Машиностроение, 1982.
- [154] К.Г. Самофалов, В.И. Корнейчук, и В.П. Тарасенко, *Цифровые ЭВМ: теория и проектирование*. Київ, СССР: Вища шк., 1989.
- [155] Nexys Video Artix-7 FPGA: Trainer Board for Multimedia Applications. [Online]. Available: <https://store.digilentinc.com/nexys-video-artix-7-fpga-trainer-board-for-multimedia-applications>. Accessed on: May 20, 2018.
- [156] Xilinx. Artix-7 Product Advantage. [Online]. Available: <https://www.xilinx.com/products/silicon-devices/fpga/artix-7.html>. Accessed on: May 20, 2018.
- [157] Simulation and Model-Based Design. [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/products/simulink.html>. Accessed on: May 19, 2018.
- [158] Gauss-filter-FPGA-for-video-processing. Pipeline-architecture-gauss-filter. [Online]. Available: <https://github.com/Wirilila/gauss-filter-FPGA-for-video-processing>. Accessed on: May 21, 2018.
- [159] М. М. Глибовець, та О. В. Олецкий, *Штучний інтелект*. Київ, Україна: КМ Академія, 2002.
- [160] Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест и К. Штайн, *Алгоритмы: построение и анализ*. Москва, Россия: Вильямс, 2005.
- [161] ISO 2720:1974. Photography. General purpose photographic exposure meters (photoelectric type). Guide to product specification. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/7690.html>. Accessed on: May 4, 2018.

- [162] М. Я. Шульман, и Т. Г. Филатова. *Фотоаппараты*. Ленинград, СССР: Машиностроение, 1984.
- [163] ImgOnline. Обработка фото онлайн. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://www.imgonline.com.ua/gif-animation-result.php>. Дата обращения: Май, 15, 2018.
- [164] A4tech. WEBCAM. [Online]. Available: <http://www.a4tech.com/product.aspx?id=199>. Accessed on: May 15, 2018.
- [165] Logitech HD Webcam C270. [Online]. Available: <https://www.logitech.com/ru-ru/product/hd-webcam-c270>. Accessed on: May 15, 2018.
- [166] Texas Instruments. Digital Signal Processor. [Online]. Available: <http://www.ti.com>. Accessed on: May 16, 2018.
- [167] Б. М. Герасимов, В. М. Локазюк, О. Г. Оксіюк, та О. В. Поморова. *Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень : навч. посібник*. Київ, Україна: Вид-во Європ. ун-ту, 2007.
- [168] Н.Н. Оленёв, Р.В. Печёнкин, и А.М. Чернецов, *Параллельное программирование в MATLAB*. Москва, Россия: Вычислительный центр им. А. А. Дородницына РАН, 2007.
- [169] А.В. Боресков и др., *Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA: учеб. пособие*. Москва, Россия: Изд. Моск. ун-та, 2012.
- [170] С.И. Вяткин, А.Н. Романюк, Л.А. Савицкая, и Т.И. Трояновская, "Метод излучательности с использованием графических ускорителей", *Вісник ХНТУ*, т. 1, № 3 (66), с. 352-357, 2018.
- [171] Т.Б. Мартинюк, А.В. Кожем'яко, та Л.М. Куперштейн, "Аналіз тенденцій розвитку сучасних комп'ютерних систем", *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 2, с. 5-13, 2016. (паралельні обчислення, графічні процесори, CUDA)
- [172] CUDA Toolkit Documentation. [Online]. Available: <https://docs.nvidia.com/cuda>. Accessed on: May 16, 2018.