

УДК 004.932.2

А. Г. БУДА, Т. Б. МАРТИНЮК, Л. М. КУПЕРШТЕЙН, А. В. КОЖЕМ'ЯКО

МЕТРИЧНІ ОЗНАКИ В ДВОВИМІРНОМУ ТА ТРИВИМІРНОМУ ПРОСТОРІ

*Вінницький національний технічний університет**95, Хмельницьке шосе, Вінниця, 21021, Україна**E-mail: antbuda@vntu.edu.ua*

Анотація. В даній роботі розглядається один із етапів розпізнавання зображення, кодування та аналіз інформації, що успішно використовується в методах штучного інтелекту. Запропонований символічний опис зображення «центр-образ» представляється в ущільненому вигляді та передбачає більш прості перетворення для виділення метричних ознак. Створені еталони, що враховують властивості математичної моделі, розширюють інформаційний простір ознак, який прийнятний для аналізу плоских та просторових образів в технічних засобах. Для апаратної реалізації в кожному конкретному випадку слід вибирати компромісні варіанти та забезпечувати обробку зображення в системах реального часу. Реалізація блока обробки в таких системах розпізнавання з використанням нанотехнологій дозволяє досягати високої продуктивності, забезпечувати високу швидкість, інформаційну щільність, широку полосу частот пропускання та малі витрати на передачу.

Ключові слова: розпізнавання образів, ідентифікація зображень, плоскі та просторові зображення, геометричні та центральні моменти, еталон ущільненого зображення.

Аннотация. В данной работе рассматривается один из этапов распознавания изображений, кодирование и анализ информации, который успешно используется в методах искусственного интеллекта. Предложенное символическое описание изображения «центр-образ» представляется в сжатом виде и предусматривает более простые преобразования для выделения метрических признаков. Созданные эталоны, учитывающие свойства математической модели, расширяют информационное пространство признаков, которые приемлемы для анализа плоских и пространственных образов в технических средствах. Для аппаратной реализации в каждом конкретном случае следует выбирать компромиссные варианты и обеспечивать обработку изображения в системах реального времени. Реализация блока обработки в таких системах распознавания с использованием нанотехнологий позволяет достигать высокой производительности, обеспечивать высокую скорость, информационную плотность, широкую полосу частот пропускання и малые затраты на передачу.

Ключевые слова: распознавание образов, идентификация изображений, плоские и пространственные изображения, геометрические и центральные моменты, эталон сжатого изображения.

Abstract. In this paper, one of the stages of image recognition, coding and analysis of information that is successfully used in artificial intelligence methods is considered. The proposed symbolic description of the image the "center-pattern" is presented in a compressed form and provides simpler transformations for the allocation of metric features. The created standards, that consider the properties of the mathematical model, expand the information space of features that are acceptable for analyzing flat and spatial images in technical devices. For hardware implementation in each specific case choose compromise options and provide image processing in real-time systems. The implementation of the processing unit in such recognition systems using nanotechnology allows achieving high performance, providing high speed, information density, wide bandwidth and low transmission costs.

Keywords: pattern recognition, image identification, flat and spatial images, geometrical and central moments, standard of compressed image.

ВСТУП

Із завданням розпізнавання образів живі системи, в тому числі і людина, постійно стикаються з моменту своєї появи. Зокрема, інформація, що надходить з органів відчуття, обробляється мозком, а далі необхідний сигнал передається, наприклад, органам руху, які реалізують необхідні дії.

Розвиток сучасної техніки, поява автоматизованих комплексів, зокрема систем технічного зору, дозволяє ефективно розв'язувати завдання ідентифікації зображення об'єкта [1-3].

АКТУАЛЬНІСТЬ

Загальна схема етапів розпізнавання (рис. 1) являє собою об'єкт 1 (плоский чи просторовий), що підлягає обробці 2 та перетворенню вхідної інформації у вислідні ознаки 3. Кінцевий результат 4 свідчить про те, до якого класу може бути віднесений образ. Тобто, в технічних системах розпізнавання зображень представляє собою задачу перетворення вхідної інформації у вихідну [1-3].

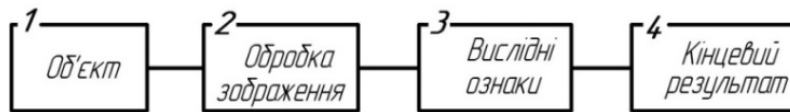


Рисунок 1 – Схема етапів розпізнавання

В теорії розпізнавання образів особлива увага надається вибору опису зображення та отриманню інформації, зручної для пристроїв попередньої обробки та аналізу зображень. Досить часто в задачах розпізнавання образів розглядаються монохромні зображення, що дає можливість розглядати його як функцію на площині.

Існуючі сучасні методи опису зображення виділяють чотири категорії характеристичних параметрів, серед яких перевагу надають використанню аналітичних властивостей функції, які дозволяють точно описувати зображення об'єкта. Відомі методи центрування зображень за допомогою моментів низького порядку [1, 2]; дослідження змін центральних моментів більш високих порядків [3] не дозволяють отримувати інформацію щодо типу об'єкта та його класифікації.

В якості вхідної інформації, більш розширено, для плоских та просторових зображень використовуються геометричні $m_{\alpha\beta}$, центральні моменти $\mu_{\alpha\beta}$ та їх модифікації "центр-образ" [4 – 7], які мають ущільнену форму, спрощують алгоритм перетворення вхідного зображення в еталонне, вихідне.

МЕТА

На підставі моментної характеристики «центр-образ» виділити метричні ознаки, зручні для аналізу плоских та просторових форм зображень.

АНАЛІЗ ЗОБРАЖЕННЯ В ДВОВИМІРНОМУ ПРОСТОРИ

Процедура, що зв'язує перетворення вхідного двовимірного бінарного зображення $f(x, y)$ в еталонне, здійснюється за допомогою способу центрування геометричних моментів $m_{\alpha\beta}$ з визначенням координат $x_{\alpha\beta}, y_{\alpha\beta}$ точок "центра-образа".

Сукупність координат $\{x_{\alpha\beta}^i\}, \{y_{\alpha\beta}^i\}$ еталона ущільненого зображення розраховують відповідним вирівнюванням світлових енергій лівої і правої, верхньої і нижньої половин зображення поля зору (1) та (2):

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=0}^{x_{\alpha\beta}} \sum_{i=0}^N |x_i - x_{\alpha\beta}|^\alpha \cdot |y_i - y_{\alpha\beta}|^\beta = \sum_{x_{\alpha\beta}} \sum_{i=0}^N |x_i - y_{\alpha\beta}|^\alpha \cdot |y_i - y_{\alpha\beta}|^\beta, \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=0}^M \sum_{i=0}^{y_{\alpha\beta}} |x_i - x_{\alpha\beta}|^\alpha \cdot |y_i - y_{\alpha\beta}|^\beta = \sum_{i=0}^M \sum_{y_{\alpha\beta}}^N |x_i - y_{\alpha\beta}|^\alpha \cdot |y_i - y_{\alpha\beta}|^\beta, \end{array} \right. \quad (2)$$

де α, β – порядки моментів $m_{\alpha\beta}$; x_i, y_i – координати i -х точок, що належать зображенню; $|C|$ – модуль числа C ; $M*N$ – розмірність інформаційного поля.

Зв'язна бінарна область Ω (рис. 2), що належить (x, y) , переходить у сукупність точок $\{A_{\alpha\beta}^i\}$ ущільненого зображення, що дозволяє:

- формувати інформаційний простір ознак, які враховують властивості математичної моделі;
- створювати еталони, прийнятні для засобів апаратної реалізації.

У загальному випадку автономний модуль системи технічного зору (СТЗ) складається з блока обробки зображень (рис. 3) та блока керування для формування еталонів симетрії. Блок обробки зображень містить оптичну систему, відеодатчики, цифровий формувач зображень і забезпечує перетворення вхідного зображення $\Omega(x, y)$ в ущільнену інформацію $\{A^1_{\alpha\beta}, A^2_{\alpha\beta}, A^3_{\alpha\beta}, \dots, A^n_{\alpha\beta}\}$.

Блоки обробки зображення та керування забезпечують виконання процедур центрування зображень, а також формування інформаційних ознак (еталонів) для ідентифікації зображень [4, 6, 8, 9].

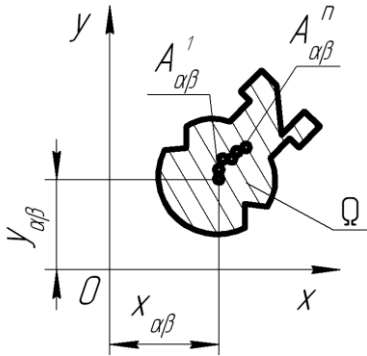


Рисунок 2 – Перетворення зображення в ущільнене $\{A^i_{\alpha\beta}\}$

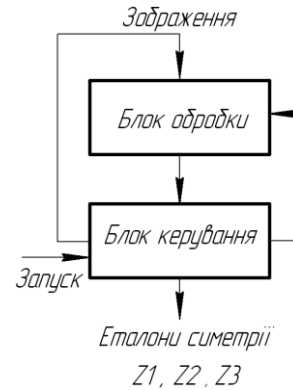


Рисунок 3 – Автономний модуль СТЗ

Еталон 1. Ущільнене зображення $\{A^1_{\alpha\beta}, A^2_{\alpha\beta}, A^3_{\alpha\beta}, \dots, A^n_{\alpha\beta}\}$ може бути віднесено до класу з центральною симетрією, якщо незалежно від його повороту, зображення залишається стійким і не вимагає додаткових зсувів, тобто $\{\Delta x^i_{\alpha 0}\} = 0, \{\Delta y^i_{0\beta}\} = 0$.

Еталон 2. Ущільнене зображення $\{A^1_{\alpha\beta}, A^2_{\alpha\beta}, A^3_{\alpha\beta}, \dots, A^n_{\alpha\beta}\}$ може бути віднесено до класу з осью симетрії, якщо при повороті його на кут, кратний $\pi/2$, зображення залишається стійким і не вимагає додаткових зсувів для досягнення його центрування відносно однієї із осей X' або Y' , тобто $\{\Delta x^i_{\alpha\beta}\} = 0$ або $\{\Delta y^i_{\alpha\beta}\} = 0$.

Еталон 3. Ущільнене зображення $\{A^1_{\alpha\beta}, A^2_{\alpha\beta}, A^3_{\alpha\beta}, \dots, A^n_{\alpha\beta}\}$ може бути віднесено до класу несиметричних зображень, якщо незалежно від повороту для досягнення центрування зображення потрібні зсуви вздовж осей x і y , тобто $\{\Delta x^i\} \neq 0$ або $\{\Delta y^i\} \neq 0$.

АНАЛІЗ ЗОБРАЖЕННЯ В ТРИВИМІРНОМУ ПРОСТОРИ

Відображення об'єкта камерою приймального пристрою розглядається як аналіз сцен з подальшим аналізом контуру просторового об'єкта [3], але не пропонуються еталони розпізнавання.

З метою отримання корисної інформації та створення еталонів розглядається множина опуклих просторових об'єктів (рис. 4): поверхонь обертання (сфери, диска, циліндра) та граней поверхонь (призми та піраміди) [10]. Для кожного об'єкта в тривимірному просторі задається стійке положення.

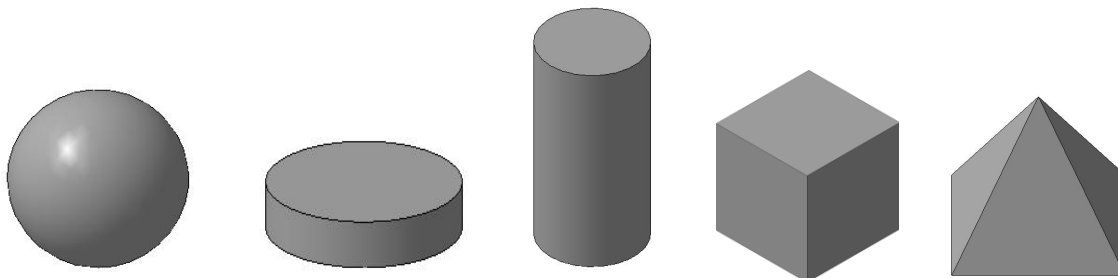


Рисунок 4 – Положення геометричних об'єктів

Як приклад, нижче наводиться аналіз бінарного силуету простої геометричної поверхні – циліндра. Візуалізація здійснюється з позицій 1 – 3 (рис. 5, а), що дозволяє отримувати відповідні відображення (рис. 5, б):

- коло, для камери в положенні 1;
- замкнена комбінована лінія (пряма-крива), для положення камери 2;
- прямокутник, для камери положення 3.

Якщо об'єкт розміщений на горизонтальній площині проєкцій XOY , то сукупність координат $\{x_{a\beta}^i\}$, $\{y_{a\beta}^i\}$ розраховують з врахуванням координат x, y за формулами (1) та (2).

При аналізі об'єкта, розміщеного на фронтальній площині проєкцій XOZ визначають сукупність координат $\{x_{a\gamma}^i\}$, $\{z_{a\gamma}^i\}$ з врахуванням координат x, z за формулами (3) та (4):

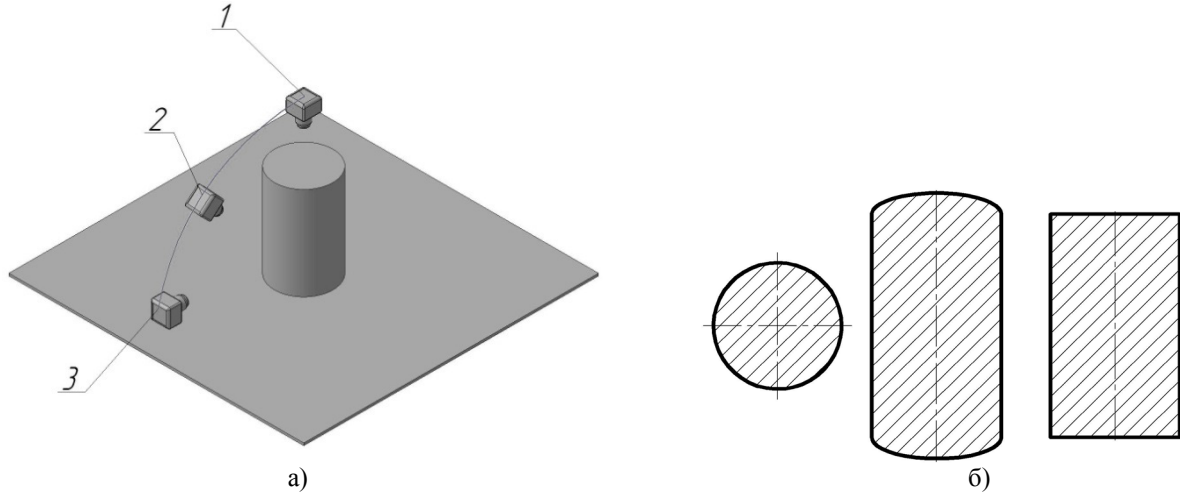


Рисунок 5 – Візуалізація силуетів зображення 3D моделі

$$\left\{ \sum_{i=0}^{x_{a\gamma}} \sum_{i=0}^J |x_i - x_{a\gamma}|^\alpha \cdot |z_i - z_{a\gamma}|^\gamma = \sum_{x_{a\gamma}} \sum_{i=0}^J |x_i - x_{a\gamma}|^\alpha \cdot |z_i - z_{a\gamma}|^\gamma, \right. \quad (3)$$

$$\left. \sum_{i=0}^M \sum_{i=0}^{z_{a\gamma}} |x_i - x_{a\gamma}|^\alpha \cdot |z_i - z_{a\gamma}|^\gamma = \sum_{i=0}^M \sum_{z_{a\gamma}} |x_i - x_{a\gamma}|^\alpha \cdot |z_i - z_{a\gamma}|^\gamma, \right. \quad (4)$$

де α, γ – порядки моментів $m_{a\gamma}$ в координатній площині XOZ ; x_i, z_i – координати i -х точок, що належать відображенню на фронтальній площині проєкцій.

На профільній площині проєкцій YOZ визначають сукупність координат $\{y_{b\beta}^i\}$, $\{z_{b\beta}^i\}$ з врахуванням координат x, z за формулами (5) та (6):

$$\left\{ \sum_{i=0}^{y_{b\beta}} \sum_{i=0}^J |y_i - y_{b\beta}|^\beta \cdot |z_i - z_{b\beta}|^\gamma = \sum_{y_{b\beta}} \sum_{i=0}^J |y_i - y_{b\beta}|^\beta \cdot |z_i - z_{b\beta}|^\gamma, \right. \quad (5)$$

$$\left. \sum_{i=0}^N \sum_{i=0}^{z_{b\beta}} |y_i - y_{b\beta}|^\beta \cdot |z_i - z_{b\beta}|^\gamma = \sum_{i=0}^N \sum_{z_{b\beta}} |y_i - y_{b\beta}|^\beta \cdot |z_i - z_{b\beta}|^\gamma, \right. \quad (6)$$

де β, γ – порядки моментів $m_{b\beta}$ в координатній площині ZOY ; x_i, z_i – координати i -х точок, що належать відображенню на профільній площині проєкцій.

Отже, на підставі визначень відображень в кожній координатній площині абсцис x^i , ординат y^i , аплікат z^i точок "центра-образа" отримуємо такі сукупності еталонів ущільненого просторового зображення:

- $\{A_{a\beta}^1, A_{a\beta}^2, A_{a\beta}^3, \dots, A_{a\beta}^n\}$ – точки "центра-образа" в координатній площині XOY ;
- $\{A_{a\gamma}^1, A_{a\gamma}^2, A_{a\gamma}^3, \dots, A_{a\gamma}^n\}$ – точки "центра-образа" в координатній площині XOZ ;
- $\{A_{b\beta}^1, A_{b\beta}^2, A_{b\beta}^3, \dots, A_{b\beta}^n\}$ – точки "центра-образа" в координатній площині YOZ .

У будь-якій технічній пропозиції ці ознаки повинні бути перетворені в зручну форму для обробки вхідного відеосигналу з подальшим формуванням еталонів. З цією метою попередньо за моментними ознаками здійснюють первинне та повторні центрування, які реалізовані за допомогою способу розпізнавання симетричних зображень об'єктів [11, 12].

Вхідна орієнтація зображення об'єкта подається у вигляді світлового потоку, який розмножується й розділяється на два рівних потоки та обробляється у двох каналах. Далі виконують первинне та вторинні центрування, формують сукупність ознак, які в подальшому перетворюють у вислідні сигнали.

Реалізація блока обробки системи розпізнавання з використанням нанотехнологій, дозволяє досягати високої продуктивності, забезпечувати високу швидкість, інформаційну щільність, широку полосу частот пропускання та малі витрати на передачу [13, 14].

Порівняльний аналіз алгоритмів перетворення функцій зображення $f(x, y)$ плоскої та просторової $f(x, y, z)$ графічних моделей в певний цифровий код на етапі обробки зображення та подальша їх технічна реалізація для 3D моделі передбачає значне збільшення процедур формування зображення (розділ світлових потоків; перетворення і введення більшого числа тінювих бінарних масок; центрувань, формування ознак) [15, 16] та, відповідно, більшого масиву сукупності вислідних сигналів для визначення координати z .

В той же час, обробка тривимірних моделей значно розширює функціональні можливості пристрою та область його застосування. Для апаратурної реалізації в кожному конкретному випадку слід вибирати компромісні варіанти та забезпечувати обробку зображення в системах реального часу.

ВИСНОВКИ

1. Центрування зображень та їх ущільнення дозволяє виділяти геометричні особливості, що сприяє створенню еталонів симетричних зображень, зручних у використанні для пристроїв попередньої обробки та аналізу зображень.

2. Застосування центральних моментів з врахуванням центра тяжіння просторового образу дозволяє розширити простір ознак, а отже, покращити процес розпізнавання зображень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Анисимов Б. В. Распознавание и цифровая обработка изображений / Б. В. Анисимов, Б. В. Курганов, В. К. Злобин. – М. : Высшая школа, 1983. – 295 с.
2. Путятин Е. П. Обработка изображений в робототехнике / Е. П. Путятин, С. И. Аверин. – М. : Машиностроение, 1990. – 320 с.
3. Куафе Ф. Взаимодействие работа с внешней средой: Пер. с франц.// Ф. Куафе – М.: Мир, 1985. – 285 с.
4. Буда А. Г. Техническая реализация признаков, полученных на основе исследования функциональных характеристик / А. Г. Буда, Т. Б. Мартынюк, Г. Л. Лысенко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2002. – № 2 (4). – С. 71-77. ISSN 1681-7893.
5. Буда А. Г. Ознаковий простір моментних характеристик при розпізнаванні класів і підкласів симетричних зображень / А. Г. Буда, Т. Б. Мартинюк // Вісник ВПІ. – 2007. – №1. – С. 61-66. ISSN 1997-9266.
6. Буда А. Г. Еталони зцентрованих зображень, отриманих на новітній елементній базі / А. Г. Буда., Т. Б. Мартинюк // Вісник ВПІ. – 2010 – №5. – С. 75 – 78. ISSN 1997-9266.
7. Буда А. Г. Математична модель перетворення двовимірних зображень / А. Г. Буда // «Прикладна геометрія та інженерна графіка». Міжвідомчий науково-технічний збірник. Випуск 89. Наукове фахове видання. – Київ, 2012 – С. 101-105.
8. Буда А. Г. Модифікована математична модель в системі розпізнавання двовимірних зображень / А. Г. Буда, Т. Б. Мартинюк, Л. М. Куперштейн // Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів (УкрОБРАЗ'2012): 11-та Всеукр. міжнар. конф., 15-19 жовтня 2012 р.: праці. – Київ, 2012. – С. 19 – 22. ISBN 978-966-479-049-6.
9. Buda A., Martyniuk T., Buda S. Methods of representation of the symmetric images in devices of recognition, in Selected Papers from the International Conference on Optoelectronic Information Technologies, Proceedings of SPIE, vol. 4425 (2001), pp. 70-75.
10. Буда А. Г. Тривимірний візуальний аналіз деяких геометричних об'єктів / А. Г. Буда, Л. М. Куперштейн, О. В. Пушкар // Оптикоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС – 2015»: 7-ма міжнар. наук.-техн. конф., 20-23 квітня 2015 р.: тези доп. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – С. 12. ISBN 978-966-641-619-6.
11. Патент України №3741, МПК7 G06K9/58, G06K9/52. Спосіб розпізнавання симетричності зображень об'єктів і пристрій для його реалізації / В. П. Кожем'яко, В. Г. Красиленко, Т. Б. Мартинюк, А. Г. Буда; Заявник і патентовласник ВНТУ; – №93321261, заявл. 16.03.93; опубл. 27.12.94, Бюл. № 6 – 1.
12. Патент України 52678, МПК7 G06K9/00, G06K9/58, G06K9/52. Пристрій для розпізнавання симетричності зображень об'єктів /А. Г. Буда, Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко, В. І. Андрущенко; Заявник і патентовласник ВНТУ; – № 99021033, заявл. 23.02.99; опубл. 15.01.03, Бюл. № 1.

13. Кожем'яко А. В. Варіанти реалізації оптичних каналів обробки в оптоелектронних процесорах для розпізнавання зображень / А. В. Кожем'яко, Т. Б. Мартинюк, А. О. Кириаченко, С. П. Любич // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2014. – №1 (27). – С. 183-192. ISSN1681-7893.
14. Мартинюк Т. Б. Організація аналізатора геометричних ознак зображень на базі ПЛІС // Т. Б. Мартинюк, В. І. Андрущенко, В. О. Богданов // Вісник ВПІ. – 2001 – № 3. – С. 71-76. ISSN 1997-9266.
15. Мартинюк Т. Б. Особливості організації блока керування для системи розпізнавання двовимірних сигналів // Т. Б. Мартинюк, А. Г. Буда, Н. В. Фофанова // Наукові праці ВНТУ. – 2008. – № 3 [Електронний ресурс]. – Режим доступу – <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/4353/78.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
16. Мартинюк Т. Б. Синтез блока керування для оптоелектронного процесора розпізнавання зображень / Т. Б. Мартинюк, А. Г. Буда, С. П. Любич, А. О. Кириаченко // Вісник ВПІ. – 2014 – № 6. – С. 50-57. ISSN 1997-9266.

REFERENCES

1. Anisimov B. V. Recognition and digital processing of images / B. V. Anisimov, B. V. Kurganov, V. K. Zlobin. – М. : Higher school, 1983. – 295 p.
2. Putiatin E. P. Image processing in robotics / E. P. Putyatin, S. I. Averin. – М.: Mechanical Engineering, 1990. – 320 p.
3. Kuafe F. Interaction of the robot with the external environment: Per. from France // F. Kuafe – Moscow: World, 1985. – 285 p.
4. Buda A. G. The technical realization of the features obtained on the basis of the study of functional characteristics / A. G. Buda, T. B. Martynyuk, G. L. Lysenko // Opto-electronic information and energy technologies. – 2002. – No. 2 (4) . – P. 71 – 77. ISSN 1681-7893.
5. Buda A. G. Significance of moment characteristics in the recognition of classes and subclasses of symmetric images / A. G. Buda, T. B. Martynyuk // Bulletin of the FPI. – 2007. – № 1. – P. 61-66. ISSN 1997-9266.
6. Buda A. G. The references of centered images obtained on the newest element base / A. G. Buda., T. B. Martynyuk // Bulletin of the Institute of Fine Arts. – 2010 – No. 5. – P. 75-78. ISSN 1997-9266.
7. Buda A. G. The mathematical model of the transformation of two-dimensional images / A. G. Buda // "Applied geometry and engineering graphics". Interdepartmental scientific and technical collection. Issue 89. Scientific Professional Edition. – Kyiv, 2012, pp. 101-105.
8. Buda A. G. Modified mathematical model in the system of recognition of two-dimensional images / A. G. Buda, T. B. Martynyuk, L. M. Coopershtein // Processing of signals and images and pattern recognition (UkrOBRAZ'2012): 11- and Allukr. international Conf., October 15-19, 2012: Labor. – Kyiv, 2012. – P. 19-22. ISBN 978-966-479-049-6.
9. Budda A., Martyniuk T., Budda S. Methods of Representation of Symmetric Images in Devices of Recognition, in Selected Papers from the International Conference on Optoelectronic Information Technologies, Proceedings of SPIE, Vol. 4425 (2001), pp. 70-75
10. Buda A. G. Three-dimensional visual analysis of some geometric objects / A. G. Buda, L. M. Куперштейн, О. V. Pushkar // Optoelectronic information technologies "Photonics of the SLM-2015": 7th intern. Sci.-Tech. Conf., April 20-23, 2015: Theses Add. – Vinnitsa : VNTU, 2015. – P. 12. ISBN 978-966-641-619-6.
11. Patent of Ukraine №3741, МПК7 G06K9 / 58, G06K9 / 52. Method of recognition of symmetry of objects' images and device for its realization / V. P. Kozhemyako, V. G. Krasilenko, T. B. Martynyuk, A. G. Buda; Applicant and patent holder VNTU ; – No. 93321261, application. March 16, 1993; has published Dec 27, 1994, Bul. No. 6-1.
12. Patent of Ukraine 52678, IPC7 G06K9 / 00, G06K9 / 58, G06K9 / 52. Device for recognizing the symmetry of objects' images / A. G. Buda, T. B. Martynyuk, A. V. Kozhemyako, V. I. Andrushchenko; Applicant and patent holder VNTU ; – No. 99021033, application. 23.02.99; has published January 15, 2003, Bull. No. 1
13. Kozhemyako A. V. Options for the implementation of optical processing channels in optoelectronic processors for image recognition / A. V. Kozhemyako, T. B. Martynyuk, A. O. Kiriachenko, S. P. Lyubich // Opto-electronic information and energy technologies. – 2014. – No. 1 (27). – P. 183-192. ISSN1681-7893.

14. Martynyuk T. B. Organization of analyzer of geometric signs of images based on FPGA // T. B. Martynyuk, V. I. Andrushchenko, V. O. Bogdanov // Bulletin of the FPI. – 2001 – No. 3 – P. 71-76. ISSN 1997-9266.
15. Martynyuk T. B. Features of the organization of the control unit for the system of recognition of two-dimensional signals // T. B. Martynyuk, A. G. Buda, N. V. Fofanova // Scientific papers VNTU. – 2008. – № 3 [Electronic resource] . – Access mode – [https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/4353/78.pdf?sequence=3 & isAllowed = y](https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/4353/78.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
16. Martynyuk T. B. Synthesis of the control unit for optoelectronic image recognition processor / T. B. Martynyuk, A. G. Buda, S. P. Lyubich, A.O. Kiriyachenko // Вісник ВПІ. – 2014 – # 6. – P. 50-57. ISSN 1997-9266.

Надійшла до редакції 19.09.2017р.

БУДА АНТОНИНА GERONІЇВНА – кандидат технічних наук, доцент кафедри системного аналізу, комп'ютерного моніторингу та інженерної графіки

МАРТИНІЮК ТЕТЯНА БОРИСІВНА – доктор технічних наук, професор кафедри обчислювальної техніки

КУПЕРШТЕЙН ЛЕОНІД МИХАЙЛОВИЧ – кандидат технічних наук., доцент кафедри захисту інформації

КОЖЕМ'ЯКО АНДРІЙ ВІКТОРОВИЧ – кандидат технічних наук, доцент кафедри лазерної та опто-електронної техніки