

УДК 004.932.2

Т. Б. Мартинюк, С. В. Богомолів, С. М. Фащілін, Є. С. Генеральницький

АНАЛІЗ ЗОБРАЖЕНЬ В ОПТОЕЛЕКТРОННІЙ СИСТЕМІ З КОРЕЛЯЦІЙНОЮ МАТРИЦЕЮ

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Анотація. Кореляційна обробка знаходить ефективне застосування при обробці сигналів та зображень у сфері комп'ютерного зору та дистанційного зондування із супутників. Тому кореляційна обробка є перспективним напрямком аналізу та розпізнавання зображень, оскільки величезні обсяги відеоінформації потребують необхідності автоматизації при швидкісній обробці зображень. Необхідність швидкісної обробки значних масивів оптичної інформації, зокрема відеосигналів, потребує комплексного підходу до введення та виведення інформації у зручному для людини вигляді, а також застосування потужних цифрових методів кореляційної обробки відцифрованих зображень. Тому метою даної роботи є вдосконалення процесу цифрової кореляційної обробки зображень в оптоелектронній системі з можливістю візуалізації результатів кореляційної обробки. В даній роботі представлено структуру оптоелектронної системи на базі кореляційної матриці з тороїдальною топологією зв'язків між її обчислювальними комітками. Розглянуто особливості функціонування оптоелектронної системи та наведено два приклади кореляційної обробки бінарних зображень. Зменшення функціонального навантаження на обчислювальні комітки в кореляційній матриці дозволяє застосувати цифрові кореляційні методи, а переведення вхідного оптичного зображення у цифрове двовимірне бінарне з подальшим представленням результату кореляційної обробки як оптичний двовимірний сигнал реалізовано відповідно на інтегральному аналого-цифровому перетворювачі та матриці світлодіодів. Орієнтація на нормалізовану кореляційну обробку дозволяє, по-перше, отримати бінарний кореляційний рельєф з відповідним зменшенням апаратних витрат обчислювальних коміток в кореляційній матриці, а по-друге, реалізувати візуалізацію бінарного кореляційного рельєфу із застосуванням матриці світлодіодів.

Ключові слова: оптоелектронна система, кореляційна матриця, нормалізована кореляційна обробка.

Аннотация. Корреляционная обработка находит эффективное применение при обработке сигналов и изображений в сфере компьютерного зрения и дистанционного зондирования со спутников. Поэтому корреляционная обработка является перспективным направлением анализа и распознавания изображений, поскольку для огромных объемов видеoinформации необходима автоматизация при скоростной обработке изображений. Необходимость быстросействующей обработки значительных массивов оптической информации, в частности видеосигналов, требует комплексного подхода к вводу и выводу информации в удобном для человека виде, а также применения мощных цифровых методов корреляционной обработки оцифрованных изображений. Поэтому целью данной работы является усовершенствование процесса цифровой корреляционной обработки изображений в оптоэлектронной системе с возможностью визуализации результатов корреляционной обработки. В данной работе представлена структура оптоэлектронной системы на базе корреляционной матрицы с тороидальной топологией связей между ее вычислительными ячейками. Рассмотрены особенности функционирования оптоэлектронной системы и приведены два примера корреляционной обработки бинарных изображений. Уменьшение функциональной нагрузки на вычислительные ячейки в корреляционной матрице позволяет применить цифровые корреляционные методы, а перевод входного оптического изображения в цифровое двухмерное бинарное с последующим представлением результата корреляционной обработки в виде оптического двухмерного сигнала реализовано соответственно на интегральном аналого-цифровом преобразователе и матрице светодиодов. Ориентация на нормализованную корреляционную обработку позволяет, во-первых, получить бинарный корреляционный рельеф с соответствующим уменьшением аппаратных затрат вычислительных ячеек корреляционной матрицы, а во-вторых, реализовать визуализацию бинарного корреляционного рельефа с применением матрицы светодиодов.

Ключевые слова: оптоэлектронная система, корреляционная матрица, нормализованная корреляционная обработка.

Abstract. Correlation processing is used effectively with signal/image processing in the field of computer vision and remote sensing from satellites. Therefore, correlation processing is a promising area of image analysis and recognition, as for huge amounts of video information the automation with high-speed image processing is required. The need for high-speed processing of large amounts of optical information, including video signals, requires a comprehensive approach to the input and output of information in a human-friendly way, and the using of powerful digital methods for the correlation processing of digitized images. Therefore, the purpose of this work is to improve the process of digital correlation image processing in optoelectronic system with the ability to visualize the results of correlation processing. This paper presents a structure of optoelectronic system based on a correlation matrix with a toroidal topology of connections between its computational cells. Features of functioning of optoelectronic system are considered and two examples of correlation processing of binary images are given. The reduction of functional load on the computational cells in the correlation matrix allows to use the digital correlation methods, and the conversion of the input optical image into a digital two-dimensional binary, with subsequent presentation of the result of the correlation processing as the optical two-dimensional signal are realized respectively on the integrated analog-to-digital converter and LED matrix. Orientation to the normalized correlation processing allows, first, to obtain a binary correlation relief with a corresponding decrease in the hardware costs of the computational cells of the correlation matrix, and second, to realize the visualization of the binary correlation relief with the using of an LED matrix.

Keywords: optoelectronic system, correlation matrix, normalized correlation processing.

DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2019-46-3-39-46>.

Вступ

Процес кореляції займає значне місце при аналізі та розпізнаванні сигналів і зображень [1]. Так цей математичний апарат знайшов ефективне застосування в обробці зображень у сфері комп'ютерного зору та дистанційного зондування із супутників, в яких порівнюється інформація з різних зображень [2].

Крім того, обробка та аналіз сигналів і зображень є перспективним напрямком, оскільки величезні обсяги відеоінформації потребують необхідності автоматизації цих процесів при швидкісній обробці. Тому обробка зображень у реальному часі потребує потужних паралельних обчислювальних методів та засобів [3].

Актуальність

Актуальність тематики обумовлена сучасною тенденцією в напрямку створення на рівні людського сприйняття та мислення засобів обробки, аналізу та розпізнавання сигналів та зображень [4]. При цьому процедура аналізу даних на базі кореляційної обробки є суттєвою процедурою при розпізнаванні образів [1-5].

На основі оптичної та оптоелектронної елементних баз найбільше поширення одержали два типи системи обробки оптичних зображень, для яких характерним є використання оптичного двовимірного просторового сигналу в якості носія інформації, що дозволяє досягти високого рівня паралелізму їх обробки [6,7]. Але одним з чинників, що стримують реалізацію оптоелектронних цифрових процесорів, є відсутність конкретних розробок двовимірного масиву оптичних і оптико-електронних логічних елементів, що виконують паралельно функціонально повний набір логічних операцій над двовимірними масивами бінарних просторово-дискретних зображень [8].

Мета

Метою даної роботи є вдосконалення процесу цифрової кореляційної обробки зображень в оптоелектронній системі з можливістю візуалізації результатів кореляційної обробки.

Постановка задачі

У відомій структурі матричного оптоелектронного корелятора [9,10] базовим вузлом є матриця обчислювальних комірок, які містять крім таких цифрових елементів, як мультиплексор, два тригери та логічний елемент І, також світлодіод та фотодіод [11]. Це обумовлено тим, що передбачалось використання кореляційної обробки оптичних зображень, які переводились у бінарні цифрові зображення, тобто виконувалась безпосередньо цифрова обробка з наступним переведенням результату в двовимірний оптичний сигнал. Але при апаратній реалізації такого підходу у кожній обчислювальній комірці матриці виникали певні труднощі, тому було запропоновано ще один варіант реалізації оптоелектронного корелятора, в якому виділено блок кореляції, що складається з АЦП, кореляційної матриці та матриці світлодіодів [11].

Таким чином, кореляційна матриця виконує цифрову обробку бінарних зображень, а перетворення оптичного зображення у цифрове і цифрового двовимірного сигналу в оптичне виконують відповідно АЦП і матриця світлодіодів. Крім того, введення у структуру матричного корелятора [11] блока пам'яті еталонів та блока керування дозволяє розглядати його як оптоелектронну систему з кореляційною матрицею.

У роботах [12,13] розглянуто особливості нормалізованої кореляційної обробки бінарних двовимірних зображень, а також вплив застосування тороїдальної топології зв'язків у кореляційній матриці на її розмірність [14]. Наведені у статті [12] приклади ілюструють простоту візуалізації результатів кореляційної обробки матрицею світлодіодів.

Отже, виведення зі складу кожної обчислювальної комірки кореляційної матриці фотодіода та світлодіода зі схемами їх узгодження з цифровими елементами дозволяє наблизитись до реальної апаратної реалізації оптоелектронної системи із запропонованою кореляційною матрицею на сучасній елементній базі, а саме на програмованих логічних інтегральних схемах (ПЛІС) [15].

Процес функціонування оптоелектронної системи

На рис. 1 наведено структуру оптоелектронної системи, яка складається з кореляційної матриці, блока керування, пам'яті еталонів, аналого-цифрового перетворювача (АЦП) та матриці світлодіодів [16]. На рис. 2 зображено блок-схему алгоритму кореляційної обробки у наведеній оптоелектронній системі.

Процес обробки починається з того, що на блок керування надходить сигнал початкового встановлення, у його лічильник тактів записується розмірність матриці еталонного зображення ($CT = pxm$). Далі сигнал запуску та сигнал синхронізації з блока керування приводять до початкового встановлення обчислювальних комірок кореляційної матриці. У пам'ять еталонів записуються еталонні зображення. Після цього корелятор готовий до виконання кореляційної обробки поточного зображення.

Оптичне двовимірне поточне зображення надходить на аналого-цифровий перетворювач (АЦП), а після перетворення в бінарне двовимірне зображення подається до кореляційної матриці, де фіксується в її обчислювальних комірках. Кореляційна обробка починається з подачі еталонного зображення попіксельно до кореляційної матриці з пам'яті еталонів. Після подачі кожного пікселя еталонного зображення виконується відповідний зсув інформації у кореляційній матриці. Одночасно змінюється адреса, що фіксується у лічильнику тактів ($CT = CT-1$), відповідного розряду (пікселя) еталонного зображення у пам'яті еталонів. Цей процес завершується після зчитування останнього розряду еталонного зображення з пам'яті еталонів, тобто коли лічильник тактів у блоці керування обнулюється ($CT = 0$).

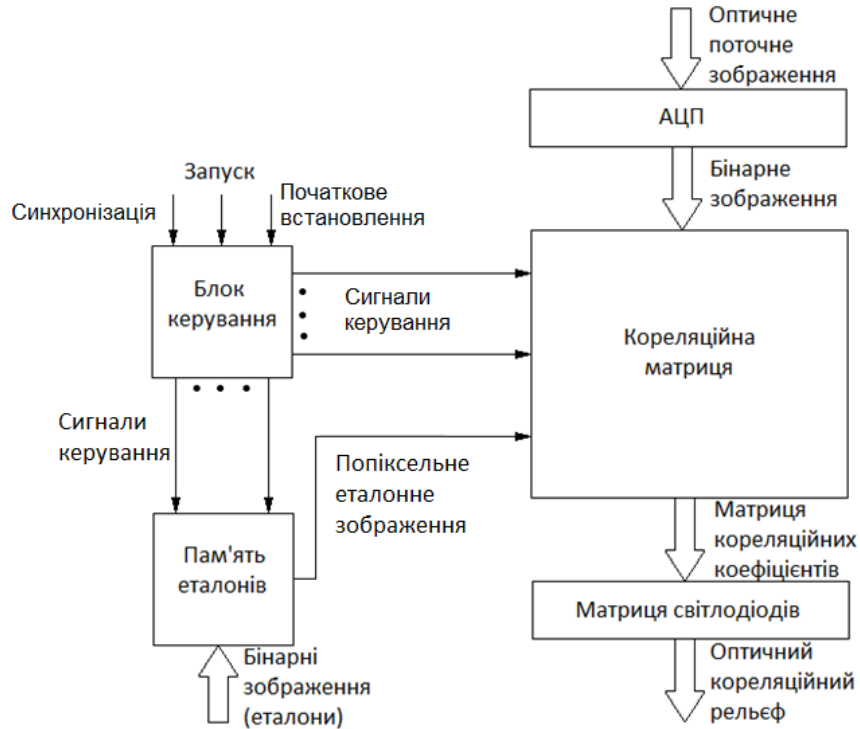


Рисунок 1 – Структура оптоелектронної системи

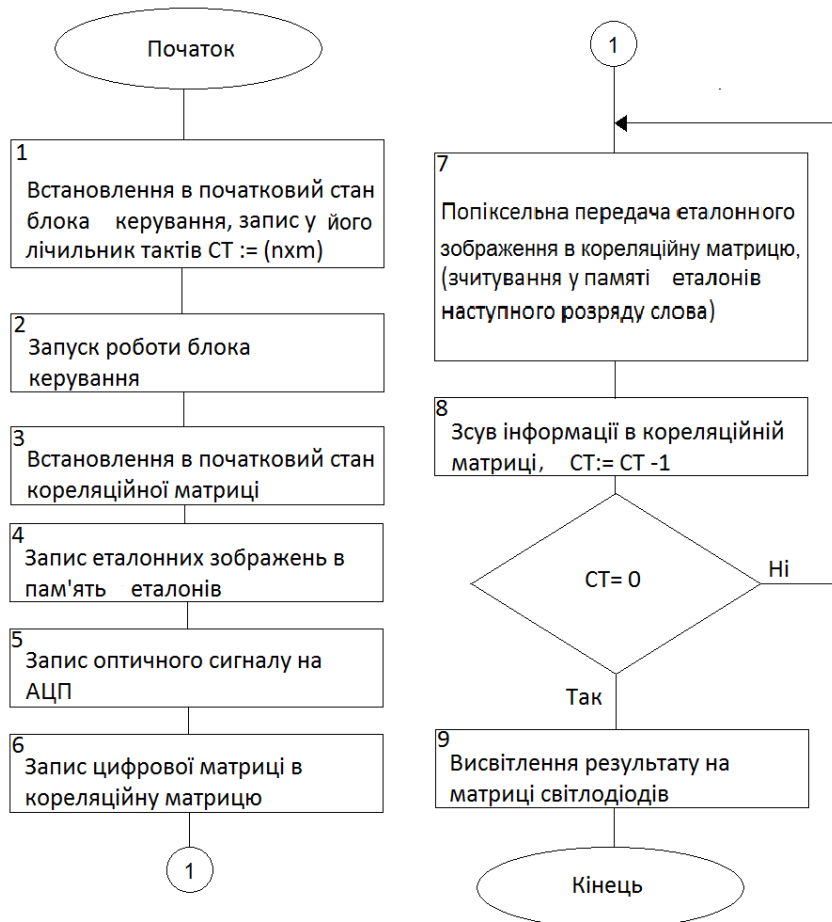


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритму кореляційної обробки

Після завершення кореляційної обробки з бінарних виходів кореляційної матриці до відповідних входів матриці світлодіодів подається сформований двовимірний кореляційний рельєф. В результаті на виходах матриці світлодіодів формується оптичний вигляд кореляційного рельєфу, де висвітлюються одиничні пікселі максимумів кореляційного рельєфу при нормалізованій кореляційній обробці [12,13].

Функціональні можливості кореляційної матриці

Базовим вузлом кореляційної матриці є обчислювальна комірка (computational cell) (рис. 3), яка містить D-тригер, RS-тригер, мультиплексор MX, елемент І. Кожна i,j -та обчислювальна комірка виконує цифрову кореляцію відповідного пікселя f_{ij} поточного двовимірного сигналу з кожним пікселем g_{ij} еталонного зображення, де i,j – координати при матричному поданні оцифрованого зображення.

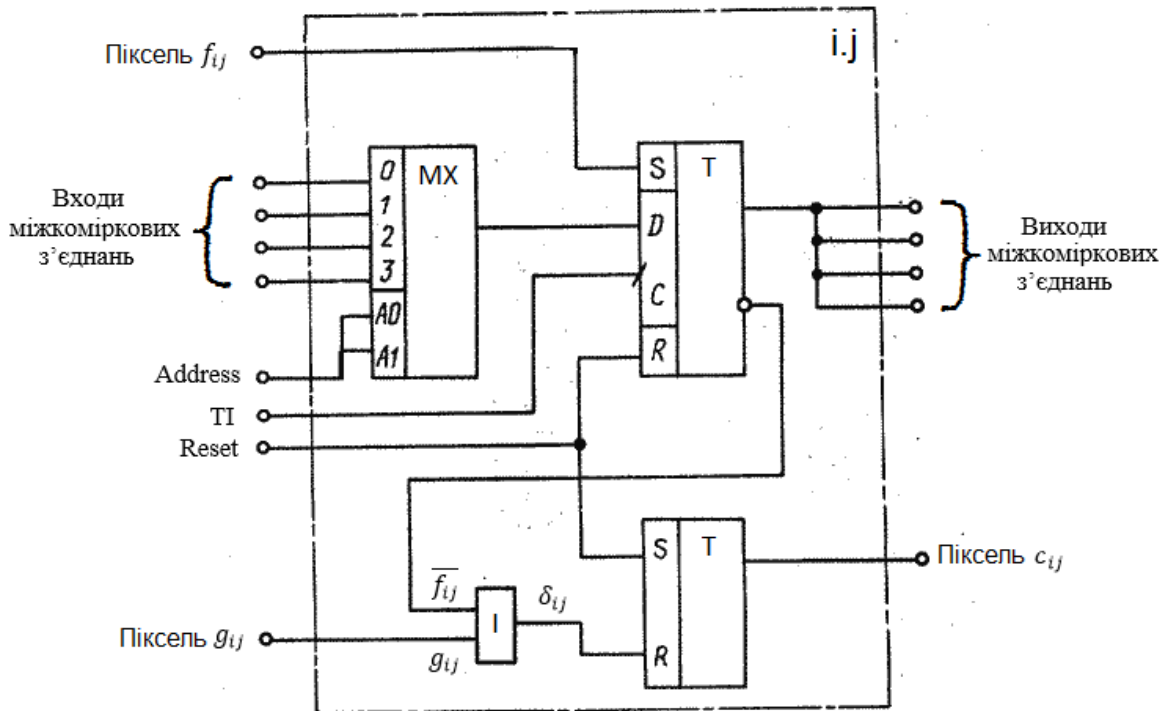


Рисунок 3 – Функціональна схема обчислювальної комірки

При надходженні керуючого сигналу початкового встановлення здійснюється встановлення в нульовий стан D-тригера і встановлення в одиничний стан RS-тригера всіх обчислювальних комірок кореляційної матриці. З надходженням чергового синхроімпульсу із входу синхронізації в D-тригер записується значення відповідного елемента f_{ij} бінарного поточного зображення F, що надходить на бінарний вхід i,j -ої обчислювальної комірки матриці. При надходженні на вхід кожної обчислювальної комірки значення елемента g_{ij} бінарного еталонного зображення G на виході елемента I формується сигнал вигляду:

$$\delta_{ij} = g_{ij} \cdot \overline{f_{ij}}, \quad (1)$$

який при $\delta_{ij} = 1$ скидає в нульовий стан RS-тригер, будучи поданий на його R-вхід.

Значення інверсного пікселя $\overline{f_{ij}}$ надходить з інверсного виходу D-тригера на один з входів елемента I. Якщо $\delta_{ij} = 0$, то RS-тригер залишається в одиничному стані і на бінарному виході i,j -ої обчислювальної комірки фіксується одиничний сигнал c_{ij} , який є відповідним інформативним пікселем кореляційного рельєфу.

Отже, схему обчислювальної комірки (рис. 3) можна умовно поділити на дві частини: а) транзитну, що містить мультиплексор MX і D-тригер і виконує збереження інформації (пікселя f_{ij}), що

фіксується у D-тригері, та зсув його у певному напрямку за адресою, що подається на адресні входи мультиплексора MX ; б) обчислювальну, що містить RS-тригер та елемент І, який формує сигнал δ_{ij} вигляду (1) для отримання та фіксування у RS-тригері пікселя c_{ij} кореляційного рельєфу з урахуванням значення поточного пікселя g_{ij} еталонного зображення.

На рис. 4 наведено приклад початкових даних для кореляційної обробки бінарного поточного зображення F, еталонного зображення G, а також спосіб сканування еталонного зображення за спіраллю від центрального (нульового) пікселя еталонного зображення G. Крім того, показано нумерацію пікселів обох зображень з урахуванням правила сканування (рис. 4 в).



Рисунок 4 – Приклад початкових даних для кореляційної обробки

Для прикладу обрано еталонне зображення G розмірністю 3x3 (рис. 4 б), а на рис.5 наведено два варіанти еталонних зображень у вигляді “хреста”, які найбільш ефективно дозволяють визначити центр у поточних зображеннях. Так як у пам'яті еталонів зчитування інформації повинно бути послідовним (рядковим), то виконано розгортку еталонних зображень з центрального елемента і далі по спіралі (рис. 4 в), оскільки метою кореляційної обробки є визначення координат центрів еталона на полі поточного зображення.



Рисунок 5 – Два варіанти еталонних зображень

На рис. 6 представлено приклади двох варіантів кореляційної обробки поточного бінарного зображення, а саме способом “виращування” кореляційного рельєфу (рис. 6 а) та способом нормалізованої кореляційної обробки (рис. 6 б). В обох варіантах показано тільки робочі такти обробки, де виконується зміна пікселів кореляційного рельєфу, а також задіяно тороїдальну топологію зв'язків між обчислювальними комірками кореляційної матриці [14].

Робочих тактів п'ять, тобто вони відповідають інформативним (одичним) пікселям еталонного зображення (рис. 4 б). Для двох наведених варіантів ліворуч показано робоче поле, де виконується зсув зображення у транзитній частині, а праворуч – поле кореляційного рельєфу, де формується результат кореляції в обчислювальній частині комірок кореляційної матриці. Крім того, для прикладу нормалізованої кореляційної обробки показано початковий (одичний) стан поля кореляційного рельєфу. В обох випадках обробки максимальне (1-й варіант) та одичне (2-й варіант) значення відповідають місцезнаходженню пікселя, що є центром еталонного зображення G на полі поточного зображення F, що також дозволяє визначити його координати. З прикладів видно, що нормалізована кореляційна обробка (2-й варіант) є вигіднішою через зручність для візуалізації її результатів.

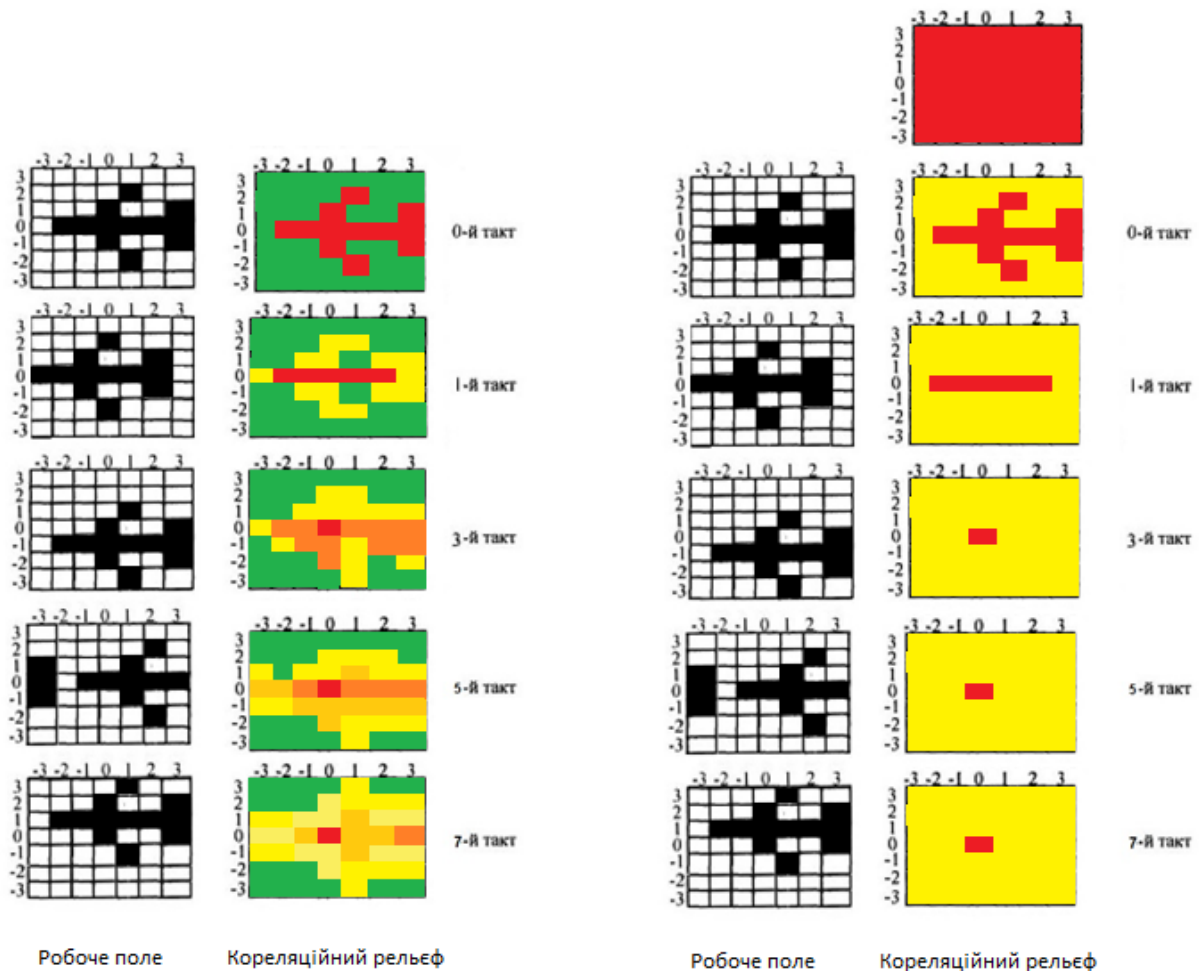
Висновки

1. Проведений огляд літературних джерел показав, що кореляційна обробка зображень - це перспективний напрям для використання в системах виявлення об'єктів шляхом аналізу бінарних двовимірних зображень.

2. Зменшення функціонального навантаження на обчислювальні комірками кореляційної матриці дозволяє застосувати цифрові кореляційні методи, а переведення вхідного оптичного зображення у

цифрове двовимірне бінарне з подальшим представленням результату кореляційної обробки як оптичний двовимірний сигнал покладається відповідно на інтегрально реалізовані АЦП та матрицю світлодіодів.

3. Орієнтація на нормалізовану кореляційну обробку дозволяє, по-перше, отримати бінарний кореляційний рельєф з відповідним зменшенням апаратних витрат обчислювальних комірок кореляційної матриці, а по-друге, реалізувати візуалізацію бінарного кореляційного рельєфу із застосуванням матриці світлодіодів.



а) б)
Рисунок 6 – Приклади варіантів кореляційної обробки

Список літератури

- [1] У. Прэтт, Цифровая обработка изображений, кн. 2. М., Россия: Мир, 1982.
- [2] Е.Ф. Очин, Вычислительные системы обработки изображений. Л., Россия: Энергоатомиздат, 1989.
- [3] Б.А. Алпатов, П. В. Бабаян, О. Е. Балашов и А. И. Степашкин, Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление. М., Россия: Радиотехника, 2008.
- [4] Р. Дуда и П. Харт, Распознавание образов и анализ сцен. М., Россия: Мир, 1976.
- [5] М.Д. Кендал и А. Стюарт, Статистические выводы и связи. М., Россия: Наука, 1973.
- [6] А.А. Акаев и С.А. Майоров, Оптические методы обработки информации. М., Россия: Высш. школа, 1988.
- [7] В. И. Козик, Е. С. Нежевенко, Ю. А. Попов, О. И. Потатуркин и В. Г. Сулягин, «Обработка изображений с использованием видеопроцессора и светодиодного коррелятора», Автометрия, №3, с. 53-58. 1985.
- [8] Т. Б. Мартиноук, Г. Л. Лисенко, А. В. Кожем'яко та М. І. Громадський, «Особливості реалізації оптоелектронного матричного корелятора», на VII Міжнар. науково-практ. конф. Наука і освіта 2004, Дніпропетровськ, 2004, с. 14-17.

- [9] В. П. Кожемяко, В. Б. Гайда, Ю. Ф. Кутаев и Т. Б. Мартынюк, «Коррелятор», А.с. СССР G06F 15/336. №1674154 МКИ (2005), 30.08.91.
- [10] В. П. Кожемяко, Ю. Ф. Кутаев, В. Б. Гайда и Т. Б. Мартынюк, «Коррелятор», А.с. СССР G06F 15/336. №1730640 МКИ (2005), 30.04.92.
- [11] Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко, М. Г. Тарновський и Д. О. Шаромов, «Реалізаційні моделі оптичного корелятора». Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, 2017. №2 (39), С. 53-59.
- [12] Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко, І. Ю. Видмиш и Д. О. Шаромов, «Нормалізована кореляційна обробка двовимірних зображень». Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2016. №3 (37), С. 44-50.
- [13] Т. Б. Мартинюк, О. М. Тарасова та С. М. Фацілін, «Нормалізована кореляційна обробка на оптичному кореляторі», на шостій міжнар. наук. - техн. конф. Оптикоелектронні інформаційні технології Фотоніка ОДС - 2018, Вінниця, 2018, с. 27.
- [14] Т.Б. Мартинюк, А.М. Гринчук та О.В. Калінін, «Цифровий матричний корелятор з тороїдальною топологією зв'язків», Вісник ВПІ, №1, с. 45-48. 2001.
- [15] Р.И. Грушвицкий, А.Х. Мурсаев и Е.П. Угрюмов, Проектирование систем на микросхемах программируемой логики. СПб., Россия: БХВ-Петербург, 2002.
- [16] Т.Б.Мартинюк, С.М. Фацілін та Б.І. Круківський, «Корелятор», Патент України G06F 15/00. №135902 МПК (2008), 25.07.2019.
Стаття надійшла: 30.10.2019.

References

- [1] U. Prett, Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy, kn. 2. M., Rossiya: Mir, 1982.
- [2] E. F. Ochinnikov, Vyichislitelnyye sistemy obrabotki izobrazheniy. L., Rossiya: Energoatomizdat, 1989.
- [3] B. A. Alpatov, P. V. Babayan, O. E. Balashov i A. I. Stepashkin, Metodyi avtomaticheskogo obnaruzheniya i soprovozhdeniya ob'ektov. Obrabotka izobrazheniy i upravlenie. M., Rossiya: Radiotekhnika, 2008.
- [4] R. Duda i P. Hart, Raspoznavanie obrazov i analiz stsen. M., Rossiya: Mir, 1976.
- [5] M. D. Kendall i A. Stuart, Statisticheskie vyivody i svyazi. M., Rossiya: Nauka, 1973.
- [6] A.A. Akaev i S.A. Mayorov, Opticheskie metody obrabotki informatsii. M., Rossiya : Vyssh. shkola, 1988.
- [7] V. I. Kozik, E. S. Nezhevenko, Yu. A. Popov, O. I. Potaturkin i V. G. Sutyagin, «Obrabotka izobrazheniy s ispolzovaniem videoprotssora i svetodiodnogo korrelyatora», Avtometriya, #3, s. 53-58. 1985.
- [8] T. B. Martinyuk, G. L. Lisenko, A. V. Kozhem'yako ta M. I. Gromadskiy, «OsoblivostI realizatsIyi optoelektronnogo matrichnogo korelyatora», na VII MIzhnar. naukovoprakt. konf. Nauka I osvIta 2004, DnIpropetrovsk, 2004, s. 14-17.
- [9] V. P. Kozhemyako, V. B. Gayda, Yu. F. Kutaev i T. B. Martinyuk, «Korrelyator», A.s. SSSR G06F 15/336. #1674154 MКИ (2005), 30.08.91.
- [10] V. P. Kozhemyako, Yu. F. Kutaev, V. B. Gayda i T. B. Martinyuk, «Korrelyator», A.s. SSSR G06F 15/336. #1730640 MКИ (2005), 30.04.92.
- [11] [11] T. B. Martinyuk, A. V. Kozhem'yako, M. G. Tarnovskiy i D. O. Sharomov, «RealizatsIynI modell optoelektronnogo korelyatora». InformatsIynI tehnologIyi ta komp'yuterna InzhenerIya, 2017. #2 (39), S. 53-59.
- [12] T. B. Martinyuk, A. V. Kozhem'yako, I. Yu. Vidmish i D. O. Sharomov, «Normalizovana korelyatsIyna obrobka dvovimIrnih zobrazhen». InformatsIynI tehnologIyi ta komp'yuterna InzhenerIya. 2016. #3 (37), S. 44-50.
- [13] T. B. Martinyuk, O. M. Tarasova ta S. M. FaschIln, «Normalizovana korelyatsIyna obrobka na optoelektronnomu korelyatorI», na shostIy mIzhnar. nauk. - tehn. konf. OptoelektronnI InformatsIynI tehnologIyi FotonIka ODS - 2018, VInnitsya, 2018, s. 27.
- [14] T. B. Martinyuk, A. M. Grinchuk ta O. V. KalInIn, «Tsifroviiy matrichniy korelyator z toroYidalnoyu topologIeyu zv'yazkIv», VIsnik VPI, #1, s. 45-48. 2001.
- [15] R. I. Grushvitskiy, A. H. Mursaev i E. P. Ugrumov, Proektirovanie sistem na mikroshemah programmiruemoj logiki. SPb., Rossiya: BHV-Peterburg, 2002.
- [16] T. B. Martinyuk, S. M. FaschIln ta B. I. KrukIvskiy, «Korelyator», Patent UkraYini G06F 15/00. #135902 MПК (2008), 25.07.2019.

Відомості про авторів

Мартинюк Тетяна Борисівна — доктор техн. наук, професор кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Богомолів Сергій Віталійович – кандидат техн. наук, доцент кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Фащилін Сергій Максимович — магістр факультету комп'ютерних систем і автоматики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Генеральницький Євгеній Сергійович – аспірант кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Т. Б. Мартынюк, С. В. Богомолів, С. М. Фащилин, Е. С. Генеральницький

АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ОПТОЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЕ С КОРРЕЛЯЦИОННОЙ МАТРИЦЕЙ

ВНТУ, г. Винница

T. B. Martyniuk, S. V. Bohomolov, S. M. Faschilin, Y. S. Heneralnytskyi
IMAGE ANALYSIS IN OPTOELECTRONIC SYSTEM WITH CORRELATION MATRIX

VNTU, Vinnytsia

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Найновіші правила оформлення і подання статей знаходяться на сайті журналу
<http://itce.vntu.edu.ua/>