

УДК 004.932.2

Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко, І. Ю. Видмиш, Д. О. Шаромов

НОРМАЛІЗОВАНА КОРЕЛЯЦІЙНА ОБРОБКА ДВОВИМІРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Анотація. В роботі розглянуто особливості нормалізованої кореляційної обробки двовимірних бінарних зображень. Цей підхід реалізований на матричному оптикоелектронному кореляторі, в якому базовим вузлом є кореляційна матриця. В такій матриці існує можливість створення тороїдальних зв'язків між її крайніми елементами (комірками). Наведено два варіанти виконання нормалізованої кореляційної обробки бінарних зображень. Розглянуті варіанти реалізації кореляційної обробки зображень дозволяють значно скоротити апаратні витрати матричного корелятора.

Ключові слова: нормалізована кореляційна обробка, бінарне зображення, тороїдальна топологія зв'язків, взаємкореляційна функція.

Аннотация. В работе рассмотрены особенности нормализованной корреляционной обработки двумерных бинарных изображений. Этот подход реализован на матричном оптикоэлектронном корреляторе, в котором базовым узлом является корреляционная матрица. В такой матрице существует возможность создания тороидальных связей между её крайними элементами (ячейками). Приведены два варианта выполнения нормализованной корреляционной обработки бинарных изображений. Рассмотренные варианты реализации корреляционной обработки изображений позволяют значительно сократить аппаратные затраты матричного коррелятора.

Ключевые слова: нормализованная корреляционная обработка, бинарное изображение, тороидальная топология связей, взаимокорреляционная функция.

Abstract. In the work normalized correlation processing of 2D binary images was considered. This approach in optoelectronic matrix correlator wherein the base block is a correlation matrix was implemented. In this matrix it is possible to build toroidal links between extreme elements (cells). There are two embodiments of the normalized correlation processing of binary images. Considered embodiments of correlation imaging processing allow significantly reduce hardware costs of matrix correlator.

Key words: normalized correlation processing, binary image, toroidal topology links, cross-correlation function.

Вступ

Процес кореляції займає значне місце в обробці та аналізі сигналів і зображень. Так цей математичний апарат знайшов застосування в обробці зображень у сфері комп'ютерного зору та дистанційного зондування із супутників, в яких порівнюються дані з різних зображень, в радарному та гідроакустичному обладнанні для дальнометрії і визначення місцезнаходження (пеленгації), в яких порівнюються передані і відбиті сигнали [1, 2]. Результати кореляції використовуються при детектуванні та ідентифікації сигналів в шумі, в організації технічного контролю для спостереження за впливом входу на вихід, в ідентифікації двійкових кодових слів в системі з імпульсно-ковою модуляцією, в звичайних схемах оцінювання за методом найменших квадратів і в багатьох інших областях, зокрема, в кліматології [1 – 4].

Отже, в якості складових елементів багатьох систем обробки та аналізу радіотехнічних, електричних, біомедичних сигналів на практиці широко застосовуються корелятори, що працюють в реальному часі [1 – 4].

Актуальність

Серед великого розмаїття задач кореляційної обробки двовимірних зображень, в процесі виконання яких визначається відповідність зображень або найкраще розміщення еталона на зображенні, або відповідність однієї частини зображення іншій [5 – 7], можна виділити задачу визначення місцезнаходження центра еталона на полі поточного зображення. В цьому випадку серед відомих критеріїв локальної подібності, що застосовуються на різних етапах кореляційної обробки при пошуку об'єктів [5], доцільно вибрати взаємкореляційну функцію (ВКФ). ВКФ відноситься до достатніх статистик в задачах координатної прив'язки зображень та пошуку об'єктів при наявності гауссового шуму [8]. Необхідно відзначити, що розмір та форма еталонного зображення при пошуку об'єктів повинні відповідати об'єкту, що розшукується, щоб виключити вплив неінформативних точок на точність визначення координат [8].

Мета

Метою даної роботи є вдосконалення процесу кореляційної обробки у матричному кореляторі.

Постановка задачі

Базове кореляційне співвідношення для двовимірних зображень можна представити таким чином [2]:

$$C(u, v) = \sum_{y=1}^M \sum_{x=1}^N f(x + u, y + v) \cdot t(x, y), \quad (1)$$

де u, v – координати фрагмента кадру f , причому координати пікселів x, y змінюються в межах розміру $N \times M$ шаблону t .

Значення величини $C(u, v)$ з виразу (1) в значній мірі залежить від величини яскравості шаблону та кадру [2]. Вищу надійність при виявленні об'єкта забезпечує нормалізована кореляція C_n , яка приймає значення в діапазоні $C_n \in [0, +1]$. При цьому близьке до одиниці значення C_n свідчить про високу подібність шаблону та фрагмента кадру, а рівне нулю про їх взаємне неспівпадіння [2].

Такий підхід можна реалізувати на відомій структурі оптоелектронного корелятора, яка містить матрицю обчислювальних комірок для визначення кореляційних коефіцієнтів, а також блок керування [9 – 12].

Кореляційна матриця містить обчислювальні комірки 1.i.j (рис. 1) для визначення кореляційних коефіцієнтів (i – номер стовпця; j – номер рядка), кожна з них має адресний вхід 2, синхровхід 3, вхід 4 початкового встановлення, вхід 5 еталонного сигналу, оптичний вхід 6, оптичний вихід 7, інформаційні входи 8-11, інформаційні виходи 12-15, керуючі шини 16-18 матриці, вхід 19 еталонного сигналу матриці. Інформаційні виходи 14 і 12, 13 і 15 кожної обчислювальної комірки 1.i.j, крім крайніх, з'єднані з інформаційними входами 10 і 8, 9 і 11 відповідно сусідніх обчислювальних комірок, розташованих праворуч (1.i+1.j), ліворуч (1.i-1.j), зверху (1.i,j+1) і знизу (1.i,j-1) [12].

У даній кореляційній матриці оптичні сигнали на вході 6 перетворюються у цифровий бінарний код, який в подальшому обробляється в кожній обчислювальній комірці матриці, а результат формується у вигляді наявності чи відсутності оптичного сигналу на виході 7 кожної обчислювальної комірки [12]. Разом з тим аналого-цифрове та цифро-аналогове перетворення оптичних і цифрових сигналів може бути реалізовано за межами кореляційної матриці сучасними методами та засобами АЦП і ЦАП [13, 14].

Корелятор (рис. 1) визначає місцезнаходження центра двовимірного еталонного зображення $G = \{g_{ij}\}$ на полі двовимірного поточного зображення $F = \{f_{ij}\}$, де $N \times M$ – розмірність поточного зображення F , $n \times m$ – розмірність еталонного зображення G . Поточне F та еталонне G зображення є бінарними зображеннями, тобто кожний їх піксель подається однорозрядним двійковим кодом. На полі поточного зображення F і на полі еталонного зображення G обов'язково присутні центрований рядок і центрований стовпець, які мають нульові номери.

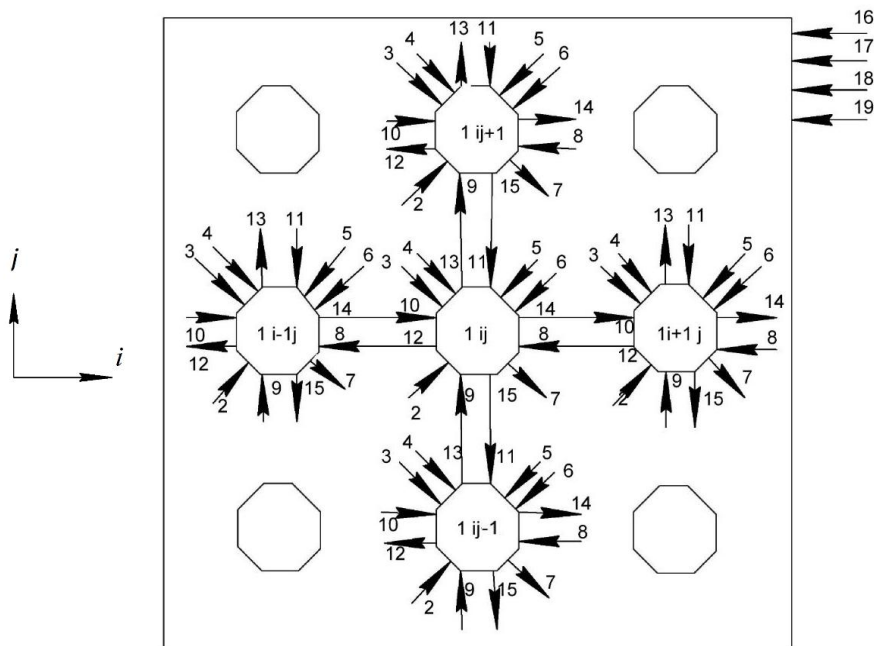


Рисунок 1 – Структура оптоелектронної матриці корелятора

Для наведеної структури корелятора для обчислення взаємнокореляційної функції (ВКФ) використовується таке співвідношення [10, 12]:

$$C_{kl} = \sum_{-\frac{n}{2}}^{\frac{n}{2}} \sum_{-\frac{m}{2}}^{\frac{m}{2}} g_{ij} \cdot f_{i-k, j-l}, \quad (2)$$

де f_{ij} – елемент (піксель) великоформатного поточного зображення (ПЗ) F ; g_{ij} – елемент (піксель) дрібноформатного еталонного зображення (ЕЗ) G ; C_{kl} – кореляційний коефіцієнт матриці рельєфу C з координатами (k, l) по відповідних осях (i, j) . Таким чином вектор зсуву пікселів f_{ij} поточного зображення F можна подати як $(-k, -l)$.

В результаті в операційно-транзитному режимі на l -му такті ($l = \overline{0, n \times m}$) в кожній обчислювальній комірці формується елемент τ_{ij}^l кореляційного рельєфу вигляду:

$$\tau_{ij}^l = g_l \cdot f_{ij}, \quad (3)$$

причому

$$g_l = \varphi(g_{ij}), \quad (4)$$

де функція $\varphi(g_{ij})$ визначає спосіб сканування еталонного зображення G . Наприклад, сканування по спіралі починається з центрального елемента еталонного зображення G з координатами $(0, 0)$ [10, 11].

Приклад нормалізованої кореляційної обробки

Для прискорення процесу обчислення ВКФ пропонується такий підхід до визначення координат центра еталонних зображень G на полі поточного зображення F , який дозволяє відмовитись від «вирощування» кореляційного рельєфу вигляду (2) за рахунок поступового зменшення елементів матриці поточного кореляційного рельєфу на загальну величину у кожному такті обробки [11]. В результаті одиничне значення на робочому полі зберігають тільки глобальні максимуми, що не лише дозволяє перейти від багатоградацийного до бінарного результуючого кореляційного рельєфу, але й за рахунок візуалізації збільшити наочність результату і прискорити визначення необхідних координат. Для збереження інформації при зсуві поточного зображення F за формулою (2) розмірність робочого поля, що дорівнює матриці обчислювальних комірок, повинна бути не менше $(N + n - 1) \times (M + m - 1)$ [10, 12].

На рис. 2 показано графічне подання матриці обчислювальних комірок для визначення кореляційних коефіцієнтів [10].

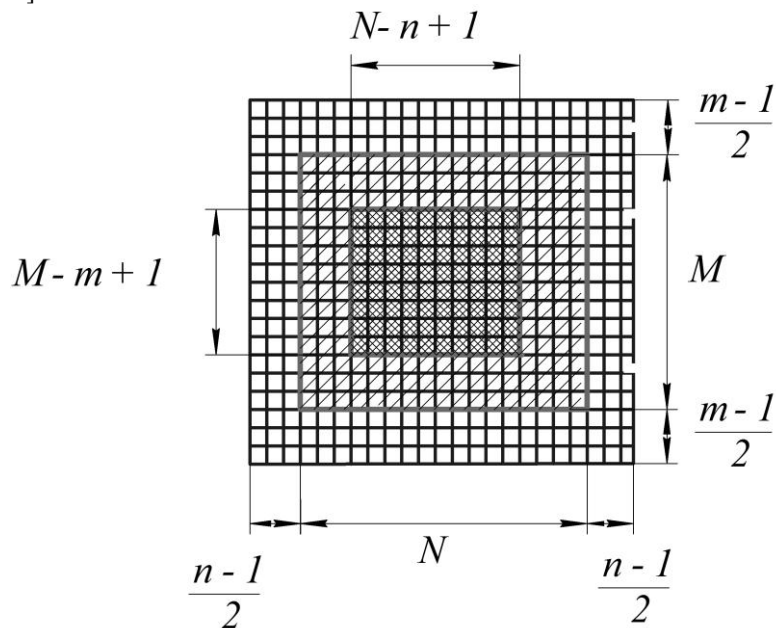


Рисунок 2 – Графічне подання матриці обчислювальних комірок корелятора

З урахуванням поля двовимірного поточного зображення F розмірністю $N \times M$ і поля двовимірного еталонного зображення G розмірністю $n \times m$ в процесі виконання кореляційної обробки можливий зсув у полі поточного зображення праворуч і ліворуч як максимум на величину $\left\lfloor \frac{n-1}{2} \right\rfloor$, а вгору і вниз на величину $\left\lfloor \frac{m-1}{2} \right\rfloor$. Тоді матриця обчислювальних комірок містить відповідно $\left(N + 2 \left\lfloor \frac{n-1}{2} \right\rfloor \right)$ стовпців і $\left(M + 2 \left\lfloor \frac{m-1}{2} \right\rfloor \right)$ рядків [10].

Для зчитування результату кореляційної обробки двовимірних зображень виділяється центральна частина матриці обчислювальних комірок розмірністю $(N - n + 1) \times (M - m + 1)$ у вигляді «вікна».

Розмір «вікна» і його розташування на полі матриці обчислювальних комірок визначається розмірами поля $N \times M$ поточного і поля $n \times m$ еталонного зображень і застосованим способом сканування еталонного зображення [10, 15, 16].

На рис. 3 – 5 наведено приклади виконання кореляційної обробки двовимірних бінарних поточного F та еталонного G зображень з використанням матриці обчислювальних комірок для випадку, коли $N \times M = 5 \times 5$ (рис. 3а) і $n \times m = 3 \times 3$ (рис. 3б). Інформаційні пікселі обох зображень показано чорними точками. Спосіб розгортки (сканування) еталонного зображення G показано на рис. 3в.

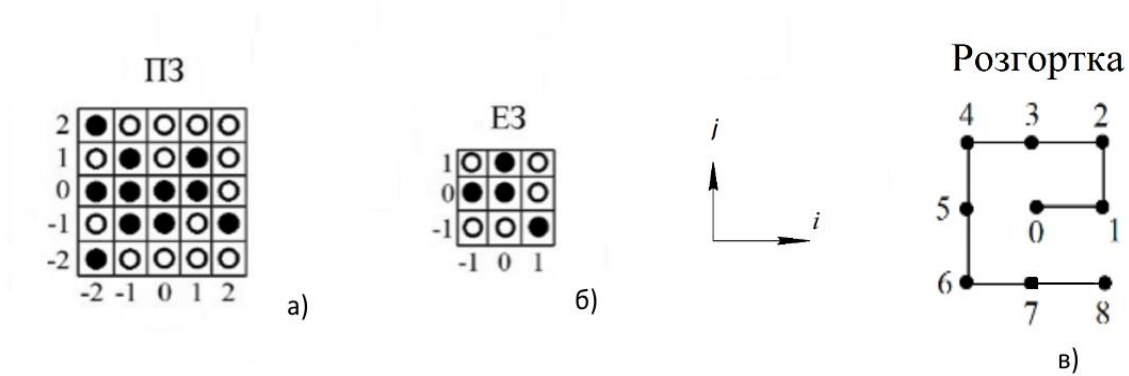


Рисунок 3 – а) – поточне зображення ПЗ; б) – еталонне зображення ЕЗ; в) – розгортка ЕЗ.

Для випадку не застосування з'єднань між крайніми рядками і стовпцями матриці обчислювальних комірок і вказаному способі сканування еталонного зображення G (рис. 3в) та початковому одиничному стані робочого поля (рис. 4а) показано поля поточного зображення F (рис. 4б) з визначеним зсувом поточного зображення F у відповідні такти роботи, вміст кожної обчислювальної комірки матриці показано праворуч на рис. 4в. Робоче поле для зсуву поточного зображення F реалізоване на матриці обчислювальних комірок розмірністю $(N + n - 1) \times (M + m - 1)$ для збереження інформації при зсуві поточного зображення F за формулою (2).

Всього виконується дев'ять тактів від нульового до восьмого за кількістю пікселів еталонного зображення G (рис. 3б). На восьмому такті формується кінцевий результат кореляційної обробки, який свідчить про те, що обчислювальні комірки матриці, які знаходяться в одиничному стані, відповідають координатам центра еталонного зображення G на полі поточного зображення F . Результат кореляційної обробки свідчить, що центри еталонного зображення знаходяться у точках з координатами $(-1; 0)$ та $(1; 0)$ (рис. 4в).

На рис. 5а наведено вигляд початкового одиничного стану робочого поля розміром $N \times M$ з урахуванням інформаційних зв'язків між обчислювальними комірками першого і старшого стовпців та першого і старшого рядків матриці [15, 16]. На восьмому такті формується кінцевий результат кореляційної обробки з координатами центрів еталонного зображення $(-1; 0)$ та $(1; 0)$ (рис. 5в), який співпадає з отриманим на рис. 4в. Робочі такти, тобто такти, в яких виконувались зміни кореляційного рельєфу, показано на рис. 4в і 5в.

Оскільки результат кореляційної обробки зчитується з «вікна» матриці обчислювальних комірок розмірністю $(N - n + 1) \times (M - m + 1)$, то накладання інформації при зсуві поточного зображення F в полі матриці обчислювальних комірок розмірністю $N \times M$ не призводить до спотворення результату [10, 15, 17].

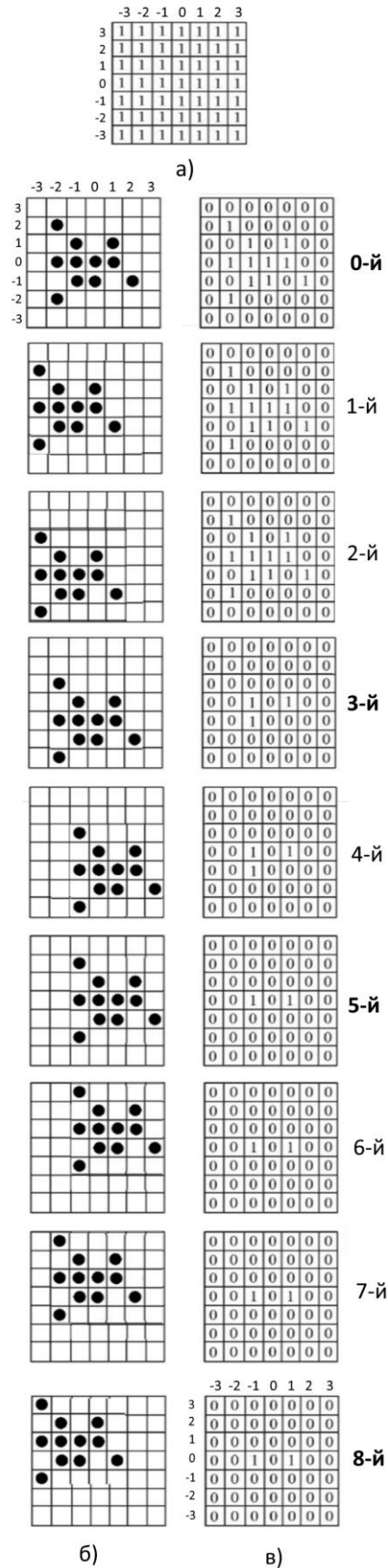


Рисунок 4 – а) – початковий стан робочого поля; б) – робоче поле поточного зображення; в) – результат кореляційної обробки

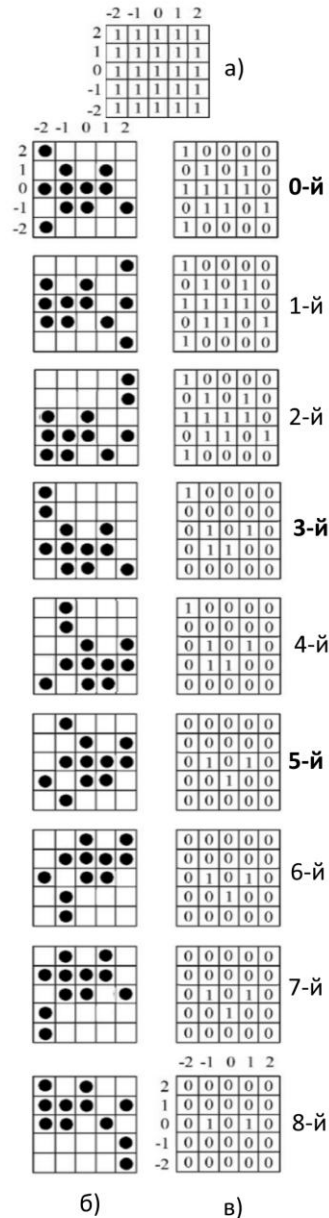


Рисунок 5 – а) – початковий стан робочого поля; б) – робоче поле поточного зображення; в) – результат кореляційної обробки

Висновки

1. Одним з перспективних способів реалізації кореляційної обробки двовимірних зображень є її природне виконання на матричному кореляторі, базовим вузлом якого є матриця кореляційних коефіцієнтів. Це дозволяє зробити тривалість процесу кореляції незалежною від розмірності вхідного зображення.

2. Можливість використання тороїдальної топології зв'язків у кореляційній матриці дозволяє реалізувати на робочій матриці кореляційний процес за розмірністю вхідного зображення без додаткових рядків і стовпців матриці, що зменшить апаратні витрати.

3. Застосування методу нормалізації вмісту матриці кореляційних коефіцієнтів забезпечує перехід від багатоградацийного до бінарного результуючого кореляційного рельєфу, що дозволяє не тільки зменшити апаратні витрати, але й збільшити наочність результату, оскільки одиничне значення зберігають тільки максимуми на робочому кореляційному полі. Крім того, в процесі кореляції не «вироснуться» максимуми кореляційного рельєфу.

Список літератури

1. Беде Лиу. Цифровая обработка сигналов: практический подход / Беде Лиу, Петренко А.И. Абрахам Пелед, С. Эммануил, Айфичер, У. Барри: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 992 с.
2. Алпатов Б.А. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Б.А. Алпатов, П.В. Бабаян, О.Е. Балашов, А.И. Степашкин. – М.: Радиотехника, 2008. – 176 с.
3. Дуда Ф. Распознавание образов и анализ сцен / Ф. Дуда, П. Харт: пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 512 с.
4. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт: пер. с англ. – Кн. 2. – М.: Мир, 1982. – 480 с.
5. Кун С. Матричные процессоры на СБИС / С. Кун: пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 672 с.
6. СБИС для распознавания образов и обработки изображений / Под ред. К. Фу: пер. с англ. – М.: Мир, 1998. – 248 с.
7. Обидин Ю.В. Специализированный коррелятор /Ю.В. Обидин // Автотометрия. – 1989. – №2. – С. 15-18.
8. Кендал М.Д. Статистические выводы и связи / М.Д. Кендал, А. Стюарт: пер. с англ. – М.: Наука, 1973. – 280 с.
9. Relief Determination of Correlation Function in Image Processing / Т. Martyniuk, А. Kozhemjako, М. Номчук // Обробка сигналів і зображень та розпізнавання образів: 3-я Всеукр. міжнар. наук.-техн. конф., 26-30 листопада 1996; праці. – Київ, 1996. – С. 90-91.
10. Мартинюк Т.Б. Кореляція, фільтрація та сегментація зображень. Лабораторний практикум / Т.Б. Мартинюк, Г.Л. Лисенко, Я.Г. Скороюкова. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 80 с.
11. Мартинюк Т.Б. Реалізація кореляційної обробки на матричних структурах / Т.Б. Мартинюк, А.В. Кожем'яко, М.А. Хомчук // Вісник ВПШ. – 1997. - №3. – С. 33-37.
12. Пат. 95168 Україна, МПК G06F17/00. Корелятор / Т.Б. Мартинюк, С.В. Сидорук, С.В. Костюк. – № u 2014 07561; заявл. 04.07.2014; опубл. 10.12.2014, Бюл. №23.
13. Азаров О. Д. Обчислювальні АЦП і ЦАП, що самокалібруються, для систем цифрового оброблення аналогових сигналів. : монографія / О. Д. Азаров, О. О. Коваленко. - УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006.- 146 с.
14. Azarov, O.D., Dudnyk, O.D., Duk, M., Porubov, D. (2013) Static and dynamic characteristics of the self-calibrating multibit ADC analog components //Proc. SPIE. 8698, Optical Fibers and Their Applications 2012, 86980N (January 11.2013); doi 10.1117/12.2019737.
15. Мартинюк Т. Б. Цифровий матричний корелятор з тороїдальною топологією зв'язків / Т.Б. Мартинюк, А.М. Гринчук, О.В. Калінін // Вісник ВПШ. – 2001. – №1. – С. 45-48.
16. Пат.105178 Україна, МПК G06F15/00. Корелятор / Т. Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко, І. Ю. Видмиш, Т. Ю. Позднякова. – № u 2015 07905; заявл. 10.08.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. №5.
17. Особенности реализации топологии связей в матричном корреляторе / Т. Б. Мартинюк, Г.Л. Лысенко, В. А. Ткаченко, С.Е. Тужанский, А.В. Кожемяко // Теорія і практика перебудови економіки: збірник наук. праць. – Черкаси: ЧІТІ, 2001. – С. 255-258.

Відомості про авторів

Мартинюк Тетяна Борисівна – д. т. н., професор, професор кафедри ОТ, службовий тел. 24-50.

Кожем'яко Андрій Вікторович – к. т. н., доцент, доцент кафедри ЛОТ, службовий тел. 21-25.

Видмиш Інна Юрївна – студентка 2-го курсу магістратури кафедри ЛОТ.

Шаромов Дмитро Олександрович – студент 5-го курсу факультету КСА.