

## Метод статистичного опрацювання даних RGB-пікселів кольорових зображень на основі кодів бінарної арифметики та залишкових класів

Наталія Возна<sup>1</sup>, Ігор Пітух<sup>1</sup>, Людмила Грига<sup>2</sup>

<sup>1</sup> д. т. н., професор, Західноукраїнський НУ, вул. Львівська, 11, 46009, Тернопіль, e-mail: [nvozna@ukr.net](mailto:nvozna@ukr.net)

<sup>1</sup> к. т. н., доцент, Західноукраїнський національний університет, e-mail: [pirom75@ukr.net](mailto:pirom75@ukr.net)

<sup>2</sup> інженер-електронік, ВСП “Надвірнянський фаховий коледж” НТУ, вул. Соборна, 177, 78400, Надвірна, e-mail: [hryhaludmila31@gmail.com](mailto:hryhaludmila31@gmail.com)

*У роботі виконаний аналіз системних характеристик ПЗЗ-матриць RGB-пікселів кольорових зображень та сфери їх застосування у наукових, промислових та військових галузях. Визначені об'єми та швидкості формування потоків даних представлених байт-орієнтованими кодами RGB-пікселів, кодами теоретико-числових базисів Радемахера та Крестенсона. Запропоновано метод статистичного опрацювання даних RGB-пікселів, які застосовуються при побудові кумулятивних гістограм в алгоритмах розпізнавання зображень. Розроблена структурна схема високопродуктивного процесора визначення вибіркового математичного сподівання та досліджені його системні характеристики.*

**Ключові слова:** розпізнавання образів; процесори; RGB-пікселі; теоретико-числові базиси Радемахера та Крестенсона.

**Вступ.** Високочутливі та широкоформатні пристрої з зарядовим зв'язком (ПЗЗ-матриця - CCD-матриця (Charge Coupled Device)) ефективно застосовуються у космічній оптоелектроніці супутників, телескопів, наземних стаціонарних та мобільних засобів телекомунікації, мобільних телефонах, персональних комп'ютерах, планшетах та інше. У військовій галузі такі засоби є базовими у структурах дронів, безпілотних літальних апаратів (БПЛА), засобів наведення ракет та оптичного обміну даними між мобільними військовими об'єктами.

Відомі іноземні фірми Sony, Samsung [1,2] масово тиражують такі пристрої у якості компонентів інформаційних засобів широкої сфери застосування.

### 1. Системні характеристики, об'єми даних та швидкості створення повідомлень ПЗЗ-матрицями RGB-пікселів

Параметри сучасних засобів ПЗЗ-матриць приведені у табл. 1.

Таблиця 1

Параметри ПЗЗ-матриць

№	Матриця	Роздільність пікселів, пхт
1.	WHUXGA	7600x4800
2.	Sony	3200x2016
3.	WQVGA	422x240

Стандарти відеозв'язку ПЗЗ-матриць приведені у табл. 2.

Таблиця 2

Стандарти відеозв'язку

Стандарт	Роздільна здатність	ССД	Пікселів
SQCIF (Sub Quarter CIF)	128x96	1,33:1	12,288
QCIF (Quarter CIF))	176x144	1,22:1	25,344
CIF (або FCIF)	352x288	1,22:1	101,376
4CIF (4*CIF)	704x576	1,22:1	405,504
16CIF (16*CIF)	1408x1152	1,22:1	1,622 016

Проведений аналіз системних характеристик ПЗЗ-матриці демонструють структури потоків даних, які формуються на їх виходах в реальному часі. У табл. 3 показаний приклад структури даних на виходах ПЗЗ-матриці.

Таблиця 3

Приклади формування вихідних даних ПЗЗ-матриць

Назва	Об'єм даних, біт					Одиниці байт/сек
	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>R</i>	<i>G</i>	<i>B</i>	
Матриця						
WHUXGA	7600	4800	8	8	8	$2^{26} \times 72$
NCD	1024	1024	8	8	8	$2^{20} \times 72$
WQVGA	422	240	8	8	8	$2^{17} \times 72$

## 2. Алгоритми опрацювання даних RGB-пікселів при опрацюванні зображень

В табл. 4 приведені аналітичні вирази базових алгоритмів опрацювання RGB-пікселів при опрацюванні зображень.

Таблиця 4

Алгоритми опрацювання RGB-зображень

№	Аналітичний вираз	Функція обчислень
1.	Вибіркове математичне сподівання	$M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$
2.	Ковзне математичне сподівання	$M_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1+j}^{n+j} X_{i+j}$
3.	Вагове математичне сподівання	$M_v = \frac{1}{n} \sum_{i=1+j}^{n+j} V_{i-j} X_{i+j}$
4.	Дисперсія	$D_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - M_x)^2$

Опрацювання образів згідно оцінок Евклідової та Хеммінгової віддалі здійснюється в результаті обчислень наступних функцій:

1. Евклідова відстань  $d(i, j) = \sqrt{\sum (x_i - x_j)^2}$  ;

2. Манхеттенська відстань:  $d_m(i, j) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |x_i - y_j|$  ;

3. Статична відстань:  $d_s(i, j) = \left( \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |x_i - y_j|^p \right)^{1/2}$  .

Аналіз аналітичних виразів таблиць 4 і 5 показує, що базовою операцією обчислення приведених функцій є багаторазове накопичення сум. Це визначає особливо критичні вимоги до швидкодії застосованих комбінаційних та накопичуючих суматорів при реалізації відповідних процесорів. Розробка високопродуктивних структурних рішень такого класу процесорів є предметом дослідження даної статті. При цьому особливі вимоги ставляться до застосованих принципів кодування бітових значень пікселів. В роботі [3] запропоновані 2 способи кодування RGB-пікселів на основі кодів Радемахера-Крестенсона та Хаара-Крестенсона. При опрацюванні таких кодів застосовуються швидкодіючі алгоритми модульної арифметики і системи залишкових класів. При цьому встановлений оптимальний набір взаємнопростих модулів  $P_1=5$ ,  $P_2=7$ ,  $P_3=8$ , добуток яких  $P_0=P_1*P_2*P_3=280>256$ . Це задовільняє умову однозначності кодування двійкових значень пікселів у діапазоні  $0 \leq x_i \leq 255$ . Застосування таких кодів системи залишкових класів дозволяє реалізувати обчислювальні операції множення, піднесення до квадрату та накопичення сум із затримкою сигналів 2 мікротакти. Позитивним фактором (перевагою) наведеного методу кодування є безпосереднє формування кодів Радемахера-Крестенсона та Хаара-Крестенсона на виході запропонованих нами АЦП паралельного типу [4].

При реалізації наведених в таблицях алгоритмів результатом багаторазового сумування є багаторозрядні коди в яких інформаційними є старші розряди. Наприклад, при накопиченні суми Мегапікселів утворюються в кінці циклу додавання 28-розрядний двійковий код, і якому інформаційними є не більше 12 старших розрядів. Таким чином успішно вирішується проблема перетворення багаторозрядних чисел системи залишкових класів у двійкову систему числення шляхом відкидання молодших розрядів коди яких представлені у вигляді залишків в системі взаємно простих модулів. Оскільки функція обчислення вибіркового математичного сподівання практично присутня в інших алгоритмах опрацювання зображень то актуальною задачею є розробка структури такого процесора.

### **3. Розробка структури та мікроелектронної схемотехніки процесора визначення вибіркового математичного сподівання**

На рис.1а представлена структура процесора визначення вибіркового

математичного сподівання, а на рис.2а представлена розроблена структура швидкодіючого однорозрядного синхронізованого двійкового суматора [5].

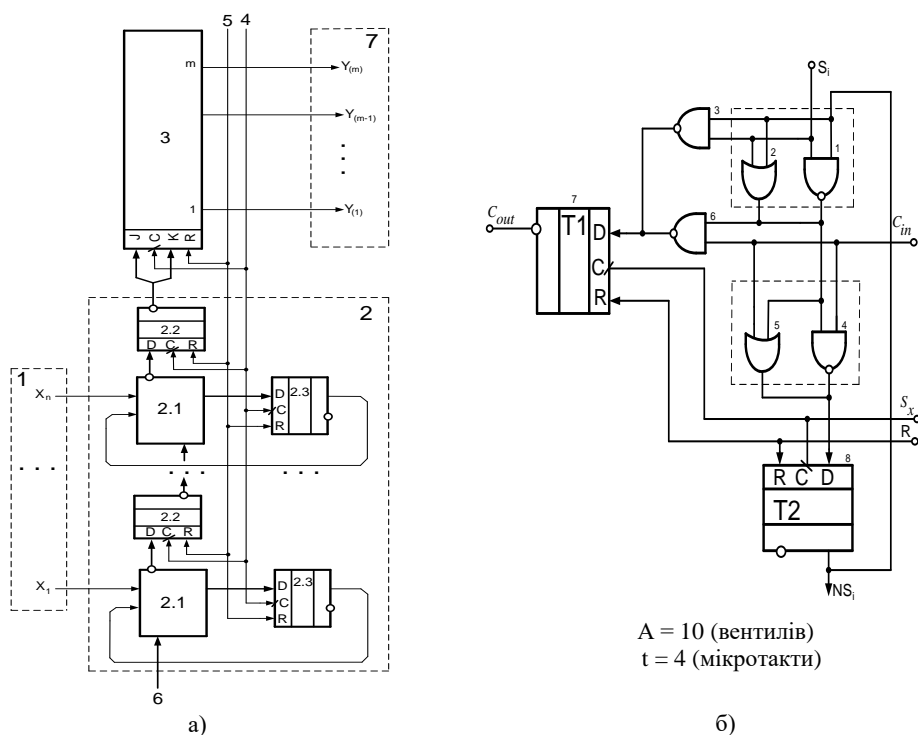


Рис. 1. Структура процесора визначення вибіркового математичного сподівання а), мікроелектронна структура однорозрядного синхронізованого суматора (2.1) б).

Структурна схема процесора визначення  $M_x$  містить: 1 – вхідна  $n$ -розрядна шина; 2 –  $n$ -розрядний накопичуючий двійковий суматор; 3 –  $m$ -розрядний синхронний двійковий лічильник; 4 – перший інформаційний канал синхронізації пристрою; 5 – другий інформаційний канал скиду тригерів накопичуючого суматора та двійкового синхронного лічильника у нульовий стан; 6 – третій вхідний канал пристрою; 7 –  $m$ -розрядна вихідна інформаційна шина пристрою ( $Y_{(1)}, \dots, Y_{(m-1)}, Y_{(m)}$ ).

Структура однорозрядного синхронізованого суматора містить однорозрядний повний комбінаційний суматор на двох послідовно з'єднаних логічних елементах “Виключне І” [6] та два синхронізовані D-тригери.

В кожному мікроциклі процесор визначення  $M_x$  здійснює операцію накопичення суми за 2 мікротакти незалежно від розрядності процесора або вхідних даних.

На рис. 2 представлена функціональна структура процесора визначення вибіркового математичного сподівання на основі кодів ТЧБ Радемахера-Крестенсона.

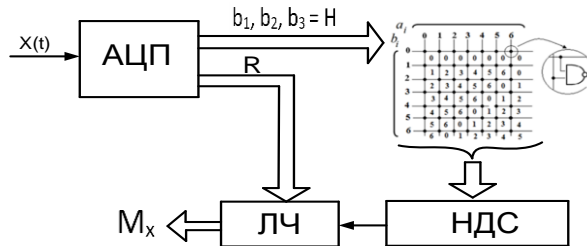


Рис. 2. Функціональна структура процесора визначення вибіркового математичного сподівання з вихідними кодами R-Н.

**Висновки.** Таким чином в роботі здійснений аналіз системних характеристик ПЗЗ-матриць, які формують різні об'єми даних RGB-пікселів. Запропоновані принципи кодування значень RGB-пікселів у кодах Радемахера, Крестенсона, Хаара дозволили розробити високопродуктивні процесори визначення математичного сподівання алгоритм якого є базовим при опрацюванні зображень. У порівнянні з відомими пристроями даного класу досягнута швидкодія обчислень підвищена на 1-2 порядки.

### Література

- [1] Офіційний сайт Sony: Режим доступу <https://www.sony.com>
- [2] Офіційний сайт Samsung: Режим доступу <https://www.samsung.com>
- [3] Возна Н.Я., Николайчук Я.М., Волинський О.І. Алгоритми розв'язання задач криптозахисту пікселів кольорових зображень // Кибернетика и системный анализ, 2019. – Том 55, №3. – С. 149-163.
- [4] Патент України № 116176 Аналого-цифровий перетворювач. Бюл. №3, 2016 р.
- [5] Патент України № 146833 Повний однорозрядний синхронізований суматор. Бюл. №12, 2021 р.

## The method of statistical processing of data of RGB pixels of color images based on the system of residual classes

Nataliia Vozna, Ihor Pitukh, Lydmula Hryha

*The paper analyzes the system characteristics of CCD matrixes of RGB pixels of color images and the scope of their application in scientific, industrial, and military fields. The volumes and rates of formation of data streams represented by byte-oriented codes of RGB pixels by the codes of the number-theoretic bases of Rademacher and Crestenson are determined. The proposed method of statistical processing of RGB pixel data, which is used in the construction of cumulative histograms in image recognition algorithms. A structural diagram of a high-performance processor for determining selective mathematical expectation was developed and its system characteristics were investigated*

Отримано 13.03.23 р.