

Вінницький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних систем та автоматики
Кафедра лазерної та оптикоелектронної техніки

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

на тему:

**ОПТОЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ З
КОРЕЛЯЦІЙНОЮ МАТРИЦЕЮ**

Виконав: студент 2-го курсу, групи ЛТО-18м
ОКР підготовки магістр
спеціальності 152 – метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка
За освітньою програмою «Лазерна техніка та
оптоінформатика»
Фацілін С. М. _____

Керівник: д.т.н., проф. каф. ЛОТ
Мартинюк Т.Б. _____
«__» _____ 2019р.

Рецензент: д.т.н., проф. каф. КН
Яровий А.А. _____
«__» _____ 2019р.

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет комп'ютерних систем і автоматики
Кафедра лазерної та оптикоелектронної техніки
Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр
Спеціальність 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»
Освітня програма «Лазерна техніка та оптоінформатика»

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри ЛОТ
д.т.н., проф. Заболотна Н.І.

«__» _____ 20__ р.

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Фащіліну Сергію Максимовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи: Оптоелектронна система аналізу зображень з кореляційною матрицею
керівник проекту (роботи) Мартинюк Тетяна Борисівна доктор техн. наук, проф
затверджені наказом ВНТУ від «__» _____ року № _____.
2. Строк подання студентом магістерської дипломної роботи: _____
3. Вихідні дані до магістерської дипломної роботи:
Метод нормалізованої кореляційної обробки бінарних зображень; структура кореляційної матриці; елементна база для індикації – матриця світлодіодів.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Аналіз методів та засобів кореляційної обробки зображень, Оптикоелектронна система для кореляційної обробки зображень, Імітаційне моделювання процесу кореляційної обробки зображень, Економічна частина
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
 - 1) Структурна схема оптикоелектронної системи.
 - 2) Функціональна схема обчислювальної комірки кореляційної матриці.
 - 3) Матриця світлодіодів.
 - 4) Приклад кореляційної обробки.
 - 5) Блок-схема алгоритму кореляційної обробки зображень.
 - 6) Результати імітаційного моделювання.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Спеціальна частина	Мартинюк Т.Б. д.т.н., проф.		
Економічна частина	Ратушняк О.Г. к.т.н., доц.		

7. Дата видачі завдання «__» _____ 2019 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Формування та затвердження ТЗ		
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР		
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль МКР		
4	Виконання «Економічної частини»		
5	Попередній захист МКР		
6	Нормконтроль МКР		
7	Рецензування МКР		
8	Захист МКР		

Студент

(підпис)

Фащілін С.М.

Керівник роботи

(підпис)

Мартинюк Т.Б.

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробці базових вузлів оптоелектронної системи. Для цього розглянуто методи та засоби цифрової кореляційної обробки зображень, обґрунтовано вибір елементної бази для індикації результатів та розроблено структуру і принцип функціонування оптоелектронної системи. Виконано імітаційне моделювання процесу кореляційної обробки.

ABSTRACT

Master's qualification work is devoted to the development of basic nodes of the optoelectronic system. For this purpose, methods and means of digital correlation processing of images are considered, the choice of an element base for indicating the results is substantiated and the structure and principle of the operation of the optoelectronic system is developed. The simulation modeling of the correlation process is performed.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЦИФРОВОЇ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ	11
1.1 Особливості методів кореляційної обробки зображень.....	11
1.2 Засоби кореляційної обробки зображень.....	19
1.3 Особливості апаратної реалізації кореляторів.....	24
1.4 Огляд моделей топологічних зв'язків у матричних структурах.....	32
1.5 Обґрунтування вибору елементної бази для блока керування.....	34
1.6 Обґрунтування вибору елементної бази для індикації результатів кореляційної обробки зображень.....	36
2. ОПТОЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА ДЛЯ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ	41
2.1 Структура і принцип функціонування оптоелектронної системи.....	41
2.2 Структура і принцип функціонування блока кореляційної матриці....	45
2.3 Структура блока пам'яті еталонів.....	49
2.4 Приклади кореляційної обробки бінарних зображень у блоці кореляційної матриці.....	50
2.5 Особливості блока керування.....	53
3. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ	58
3.1 Блок-схема алгоритму кореляції.....	58
3.2 Результати імітаційного моделювання алгоритму кореляції.....	61
4. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	63
4.1 Технологічний аудит розробки.....	63
4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи.....	68
4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки.....	78

4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.....	80
ВИСНОВКИ	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	85
Додаток А. Технічне завдання.....	88
Додаток Б. Структурна схема оптоелектронної системи.....	91
Додаток В. Структура блока кореляційної матриці.....	92
Додаток Д. Функціональна схема обчислювальної комірки кореляційної матриці.....	93
Додаток Е. Приклад кореляційної обробки.....	94
Додаток Ж. Матриця світлодіодів 1088AS (мікросхема MAX7219).....	95
Додаток К. Блок-схема алгоритму кореляційної обробки.....	96
Додаток Л. Лістинг програми	98
Додаток М. Результати імітаційного моделювання.....	104

ВСТУП

Аналіз зображень - перспективний напрямок у теперішній час, оскільки ця процедура передуватиме подальшому розпізнаванню об'єктів (класифікації, ідентифікації, прогнозуванню тощо). Величезні обсяги відеоінформації разом із необхідністю отримати з неї якнайбільше корисної інформації ведуть до необхідності автоматизації процесів їх оброблення та аналізу. Найкращі результати у цьому випадку досягаються використанням методів та засобів кореляційної обробки.

Оброблення та аналіз зображень у реальному часі потребує потужних паралельних обчислювальних засобів. У процесі кореляційного порівняння еталонного і досліджуваного зображень, що є основою найбільш поширеної операції аналізу зображень, необхідно визначити координати, в яких величина відповідності має найкращі характеристики. З цією метою найбільш придатними є матричні структури, тому що вони природним чином відповідають природі двовимірних зображень.

В наш час на основі оптичної та оптоелектронної елементної бази найбільше поширення одержали два типи систем оброблення оптичних зображень, що містять засоби кореляційного оброблення: оптичні аналогові процесори та оптоелектронні цифрові процесори. Для цих процесорів характерним є використання оптичного двовимірного просторового сигналу в якості носія інформації, що дозволяє досягти високого рівня паралелізму перетворення двовимірного масиву даних.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є вдосконалення структурної організації оптоелектронної системи для кореляційної обробки зображень, а також реалізація базових вузлів оптоелектронної системи з кореляційною матрицею на перспективній елементній базі.

Для досягнення мети у роботі вирішено такі задачі:

1. Проаналізувати методи та засоби кореляційної обробки зображень.

2. Розробити структуру та принцип функціонування оптоелектронної системи для кореляційної обробки зображень.
3. Розробити структуру і принцип роботи базових вузлів оптоелектронної системи з кореляційною матрицею.
4. Виконати та проаналізувати результати імітаційного моделювання процесу кореляційної обробки зображення.

Об'єкт дослідження – цифрова кореляційна обробка бінарних зображень.

Предмет дослідження – оптоелектронна система з кореляційною матрицею.

Методи дослідження. У теоретичних дослідженнях обробки зображення використано метод цифрової кореляційної обробки зображень; метод комп'ютерного моделювання застосовано для моделювання алгоритму нормалізованої кореляційної обробки.

Наукова новизна одержаних результатів. Вдосконалено метод цифрової кореляційної обробки, який відрізняється від існуючих застосувань тороїдальної топології зв'язків між пікселями в кореляційній матриці, що дозволяє отримати бінарний кореляційний рельєф з розмірністю поточного зображення без його збільшення в процесі зсуву поточного зображення.

Практичне значення одержаних результатів.

1. Вдосконалено структуру оптоелектронної системи за рахунок введення пам'яті еталонів, кореляційної матриці та матриці світлодіодів, що дозволяє візуалізувати результати кореляційної обробки.
2. Вперше розроблено пам'яті еталонів та блок керування для нормалізованої кореляційної обробки, що дозволяє розробити завершену структуру оптоелектронної системи з врахуванням конкретних еталонних зображень.
3. Вперше розроблено алгоритм нормалізованої кореляційної обробки

зображень, де враховано бінарність поточного та еталонного зображень а також спосіб розгортки еталонного зображення.

4. Розроблено імітаційну модель процесу кореляційної обробки бінарних зображень, результати якої підтверджують слушність реалізованого процесу кореляційної обробки.

Особистий внесок здобувача. Всі результати автор отримав самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні результати роботи доповідалися та обговорювалися на конференціях: XLVII науково-технічна конференція факультету комп'ютерних систем і автоматики (2018), (м. Вінниця); XLVIII науково-технічна конференція факультету комп'ютерних систем і автоматики (2019), (м. Вінниця); VI міжнародна науково-технічна конференція «Фотоніка ОДС – 2018», (м. Вінниця).

Публікації. За темою роботи опубліковано тези трьох доповідей, отримано патент на корисну модель «Корелятор».

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ЦИФРОВОЇ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

1.1 Особливості методів кореляційної обробки зображень

Під кореляцією розуміється статистичний взаємозв'язок від двох до декількох випадкових величин, а математичною мірою кореляції таких випадкових величин служить кореляційне відношення або коефіцієнт кореляції. Це статистична міра впливу і ступеня лінійної залежності між випадковими змінними. Ця міра змінюється від -1 до +1.

Визначають кореляцію лінійною і нелінійною, додатною і від'ємною [3]. Кореляційний аналіз дає можливість встановити в сигналах або в масивах цифрових даних сигналів наявність певного зв'язку зміни значень сигналів, тобто, коли великі значення середніх значень одного сигналу пов'язані з великими значеннями іншого сигналу – це додатна кореляція. Навпаки, якщо малі значення одного сигналу пов'язані з великими значеннями іншого – від'ємна кореляція. Але, якщо дані двох сигналів ніяк не пов'язані – це нульова кореляція [4].

За ступенем передбачуваності сигнали поділяють на детерміновані та випадкові. Причому, детермінованим називається сигнал, який повністю передбачуваний, тобто всі його параметри заздалегідь і достовірно відомі. Випадковим називається сигнал, хоча б один з його параметрів заздалегідь не може бути в точності передбачений.

Відомо, що тільки випадковий сигнал може бути носієм повідомлення, яке містить інформацію, оскільки детермінований сигнал відповідає заздалегідь відомому повідомленню і тому не несе нової інформації. При аналізі функціонування приймального обладнання систем зв'язку часто вважають, що приймається сигнал відомої форми, але з невідомими параметрами [5].

За означенням кореляційна функція (КФ; англійський термін - correlation function, CF) детермінованого сигналу з кінцевою енергією представляє собою інтеграл (в нескінченних межах) від добутку двох копій сигналу s , які зсунуті один від одного на час τ [4]:

$$B_s(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)s(t - \tau)dt. \quad (1.1)$$

При цьому кореляційна функція показує ступінь подібності між сигналом і його зсунутою копією. Чим більше значення кореляційної функції (1.1), тим ступінь схожості є сильнішою. Крім того, кореляційна функція має такі властивості [4].

1. Значення КФ при $\tau = 0$ дорівнює енергії сигналу, тобто інтегралу від його квадрату:

$$B_s(0) = \int_{-\infty}^{\infty} s^2(t)dt = E. \quad (1.2)$$

2. КФ є парною функцією свого аргументу τ :

$$B_s(\tau) = B_s(-\tau). \quad (1.3)$$

3. Значення КФ при $\tau = 0$ є максимально можливим значенням наступного вигляду:

$$B_s(\tau) \leq B_s(0). \quad (1.4)$$

4. Зі зростанням абсолютного значення τ КФ сигналу з кінцевою енергією згасає:

$$\lim_{|\tau| \rightarrow \infty} B_s(\tau) = 0. \quad (1.5)$$

5. Якщо вхідний сигнал $s(t)$ не містить особливостей у вигляді дельта-функції, то його КФ не може мати розривів, тобто повинна бути безперервною функцією.

6. Якщо сигнал $s(t)$ – це напруга, то розмірність його КФ дорівнює $B^2 \cdot c$. Якщо КФ свідчить про ступінь подібності між зсунутими копіями одного і того ж сигналу (1.1), то взаємна кореляційна функція (ВКФ; англійський термін - cross-correlation function, CCF) дозволяє визначити аналогічну величину для зсунутих екземплярів двох різних сигналів.

Для ВКФ під інтегралом стоїть добуток двох різних сигналів, один з яких звичайний, а інший затриманий на час τ [4]:

$$B_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s_1(t)s_2(t - \tau)dt. \quad (1.6)$$

Властивості ВКФ відрізняються від властивостей КФ [4].

1. Для енергії двох сигналів можна записати такий вираз:

$$|B_{12}(\tau)| \leq \sqrt{E_1 E_2}, \quad (1.7)$$

де E_1 і E_2 - енергії сигналів $s_1(t)$ і $s_2(t)$.

2. Для знаку ВКФ характерне таке співвідношення:

$$B_{12}(-\tau) = B_{21}(\tau), \quad (1.8)$$

тобто зміна знаку τ є рівнозначною взаємній перестановці сигналів.

3. Значення ВКФ при $\tau = 0$ нічим не виділяється; максимум може бути розташований в будь-якому місці вісі τ .

4. Зі зростанням абсолютного значення τ ВКФ сигналів з кінцевою енергією теж згасає:

$$\lim_{|\tau| \rightarrow \infty} B_{12}(\tau) = 0. \quad (1.9)$$

5. Якщо сигнали $s_1(t)$ і $s_2(t)$ не містять особливостей у вигляді дельта-функції, їх ВКФ не може мати розривів, тобто повинна бути безперервною функцією.
6. Якщо сигнали $s_1(t)$ і $s_2(t)$ - це напруга, то розмірність їх ВКФ дорівнює $B^2 \cdot c$.

Для періодичних сигналів поняття ВКФ зазвичай не застосовується, хоча воно може бути введено у випадку, якщо сигнали $s_1(t)$ і $s_2(t)$ мають однаковий період [4].

У сучасних радіоелектронних комплексах вибір сигналів $s_1(t)$ і $s_2(t)$ визначається насамперед не технічними зручностями їх генерування, перетворення і прийому, а можливістю оптимального вирішення завдань, які передбачаються при проектуванні системи [6].

Поряд зі спектральним підходом до опису сигналів часто на практиці виявляється необхідною характеристика, яка давала б уявлення про деякі властивості сигналу, зокрема про швидкість зміни в часі, а також про тривалість сигналу без розкладання його на гармонійні складові.

В якості такої часової характеристики широко використовується кореляційна функція сигналу [7].

Основним елементом будь-якого завдання розпізнавання зображень є необхідність кореляційного аналізу, який дає відповідь на питання: чи відносяться вхідні зображення до класу зображень, що представляють собою певний еталон. Таку відповідь можна одержати, порівнюючи безпосередньо зображення з еталонами. Можна також порівнювати їхні ознаки.

При цьому виникає ряд труднощів і проблем, специфічних, особливо при створенні систем технічного зору [8]:

- зображення розглядаються на складному фоні;
- зображення еталона й вхідних зображень відрізняються положенням у полі зору;
- вхідні зображення не збігаються з еталонами через випадкові завади;
- відмінності вхідних й еталонних зображень виникають за рахунок зміни освітленості, наявності фону, підсвічування, локальних завад;
- еталони й зображення можуть відрізнити геометричні перетворення, включаючи такі складні, як афінні й проєктивні.

Для розв'язання задачі розпізнавання зображень в цілому й на окремих її етапах застосовуються різні методи сегментації, нормалізації й кореляційного аналізу зображень. Такий важливий обов'язковий етап як розуміння (інтерпретація) зображень включається частково в етап сегментації і остаточно вирішується на етапі розпізнавання. Аналіз робот в галузі обробки зорових картин дозволяє запропонувати класифікацію основних методів обробки та розпізнавання зображень з використанням СТЗ відповідно до схеми, наведеної на рис. 1.1 [9-11].

На схемі вказано основні процедури і методи обробки від початкового етапу сприйняття поля зору за допомогою датчиків, наприклад, телекамери до кінцевого, яким є розпізнавання зображень [11].

Оскільки розпізнавання - це найчастіше кінцевий етап обробки, що лежить в основі процесів інтерпретації та розуміння, то вхідними для цієї процедури розпізнавання є зображення, які виділені внаслідок сегментації і частково відреставровані.

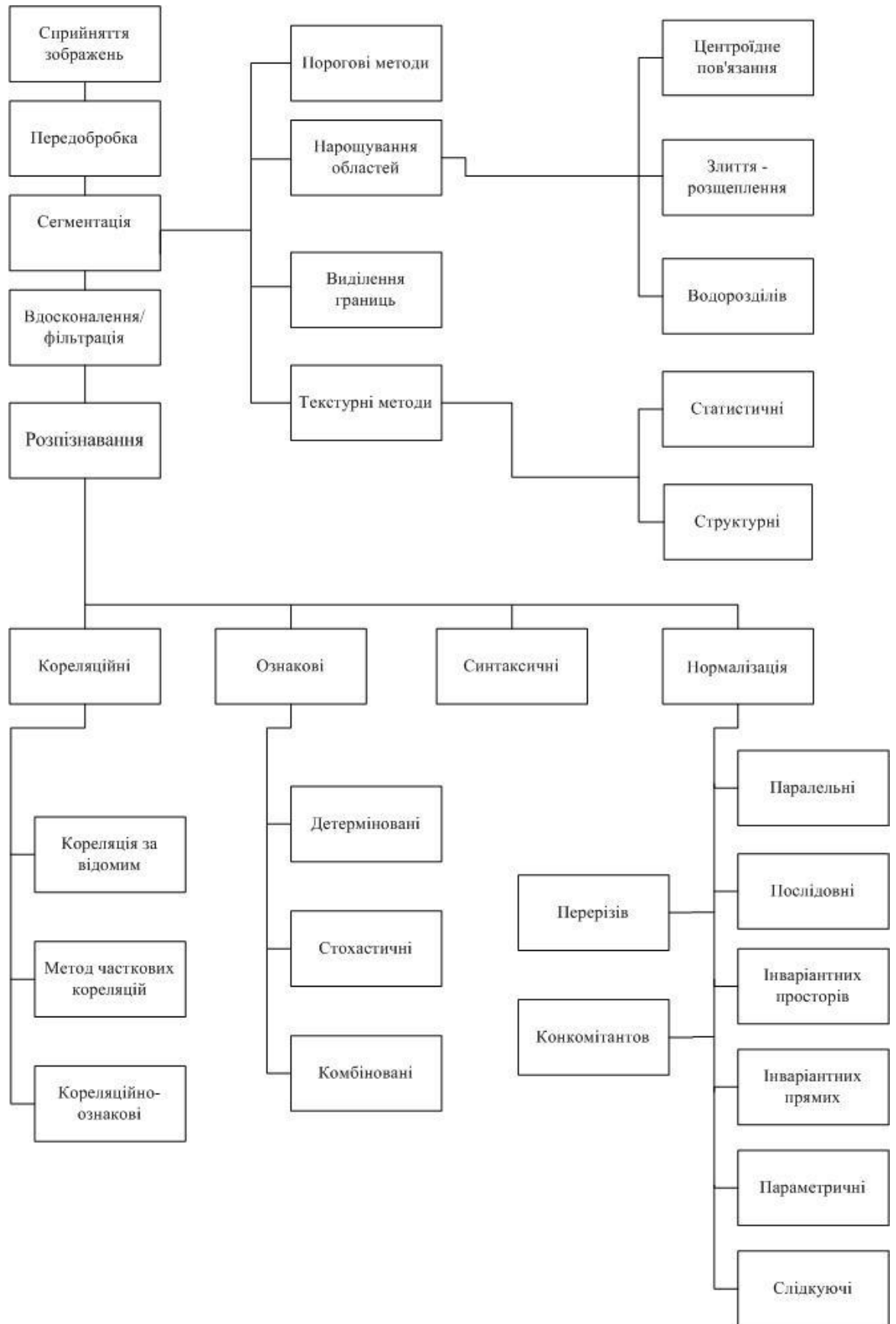


Рисунок 1.1 - Класифікація основних методів обробки та розпізнавання зображень

Зображення відрізняються від еталонних геометричними і яскравісними спотвореннями, а також збереженими шумами як у самому зображенні, так і на його фоні [11].

Для реальних задач розпізнавання застосовуються в основному чотири підходи, що використовують методи: кореляційні, засновані на прийнятті рішень за критерієм близькості з еталонами; ознакові та синтаксичні - найменш трудомісткі і нормалізовані, що займають проміжне положення за обсягом обчислень.

В рамках кожного підходу є свої конкретні алгоритми, що мають певну область застосування, яка залежить від характеру відмінностей вхідних і еталонних зображень, від шумових обставин в полі зору, вимог до обсягів обчислень і швидкості прийняття рішень [11].

Кореляційний метод базується як на обчисленні коефіцієнтів кореляції між попередньо сформованими еталонами і досліджуваними зображеннями об'єктів, так на основі попередньої статистичної обробки зображень з обчисленням ординат автокореляційних функцій вигляду (1.1), тобто [11,12]:

$$R(\xi, \eta) = \int_{\Omega'} B(x, y) B_e(x - \xi, y - \eta) dx dy, \quad (1.10)$$

де $B_e(x, y)$ – двовимірна функція розподілу яскравості еталона; Ω' – область визначення функцій $B(x, y)$ і $B_e(x, y)$.

Такий метод розпізнавання зображень, незважаючи на оригінальність, має ряд недоліків [13]:

- по-перше, для поділу способів на класи необхідно проводити сканування зображення, яке має як позитив, так і негатив, при цьому виникає помилка розпізнавання;
- по-друге, потрібно здійснити поворот позитива щодо негатива зображення об'єкта;
- по-третє, для визначення світлового центру зображення і переносу початку координат потрібна значна кількість обчислень, що призводить

до значного ускладнення технічної реалізації та збільшення часу розпізнавання.

Всі інші відомі методи спрямовані на скорочення обчислювальних витрат при спробі забезпечення наперед заданої надійності розпізнавання, габаритно-вагових характеристик обчислювача та вартості витрат на створення програмних і технічних засобів [14,15].

Простіші з точки зору обчислювальної складності методи розпізнавання базуються на переході у простір ознак. Ці методи характеризуються істотно меншою розмірністю в порівнянні з простором сигналів (зображень).

Залежно від поставленої мети (наприклад, досягнення заданої точності) виконується кореляційна обробка ознак об'єктів, отриманих від еталона і вхідного зображення як з використанням порогів за величиною подібності, так і без встановлення порогу тоді, коли розшукується максимум подібності.

В цьому випадку актуальною є задача комплексування різнотипних і різних за шкалою ознак, а саме: метричних, статистичних, логічних, текстурних, структурно-лінгвістичних та ін., які отримано різними вимірювальними засобами з метою вирішення задачі розпізнавання. Нові підходи базуються на паралельно-фрагментарній обробці комплексних даних кореляційним методом, які викладені в роботі [16].

Найбільш стійкими до перешкод при їх дії як випадкових перешкод, так і локальних перешкод є алгоритми, які базуються на методі часткових кореляцій. При цьому часткові коефіцієнти кореляцій, які отримані для окремих фрагментів еталона в сигнальному просторі, можуть розглядатися як ознаки, але у загальному випадку різних за шкалою.

Обробка таких ознак, тобто їх згортка, залежить від типу зображень, шумових обставин, наприклад, ступеня зашумлення корисного зображення, наявності помилкових зображень в полі зору. Це може бути здійснено методами перевірки статистичних гіпотез [11,16].

1.2 Засоби кореляційної обробки зображень

Відомо, що розпізнавання образів (зображень або їх фрагментів) і знаків (літер, цифр або символів) є двома найбільш перспективними напрямками застосування оптичної обробки інформації. Задача системи, яка призначена для розпізнавання образів або знаків, полягає у виявленні образу, а також у визначенні його положення у вхідному зображенні.

При розпізнаванні знаків зазвичай використовується постійна пам'ять для набору еталонних функцій, що належать великому класу функцій. Завдання такої системи полягає в тому, щоб визначити, яка з цього класу еталонних функцій присутня на вході системи, а також, в якому місці вхідної сцени вона знаходиться.

Ключовою операцією у всіх оптичних системах розпізнавання образів і знаків є кореляція вхідної та еталонної функцій або двох вхідних функцій [17].

Схему корелятора з одночасним перетворенням наведено на рис. 1.2 [17]. У цій схемі транспаранти із записом функцій, взаємну кореляцію яких потрібно визначити, поміщаються у вхідній площині поруч один з одним. Передбачається, що кожна функція має ширину b , а відстань між центрами функції дорівнює $2b$ (див. рис. 1.2).

Амплітудне пропускання в площині P_1 можна записати у вигляді:

$$U_1(x_1, y_1) = g(x_1, y_1 - b) + h(x_1, y_1 + b). \quad (1.11)$$

Розподіл комплексних амплітуд світла в площині дорівнює Фур'є-образу амплітудного пропускання, що визначається виразом:

$$G(u, v) \exp(-i2\pi vb) + H(u, v) \exp(i2\pi vb). \quad (1.12)$$

В площині P_2 (рис. 1.2) реєструється квадрат модуля цього розподілу, тому подальше амплітудне пропускання в площині P_2 задається виразом:

$$t_2(u,v) = |G|^2 + |H|^2 + GH \cdot \exp(-i4\pi vb) + G \cdot H \exp(+i4\pi vb). \quad (1.13)$$

Цей розподіл реєструється з використанням світла для запису на довжині хвилі λ_1 (рис. 1.2). Після цього площина P_2 освітлюється хвилею світла, що зчитує, на довжині хвилі λ_2 . Ця хвиля відбивається від світлоподілювача СД.

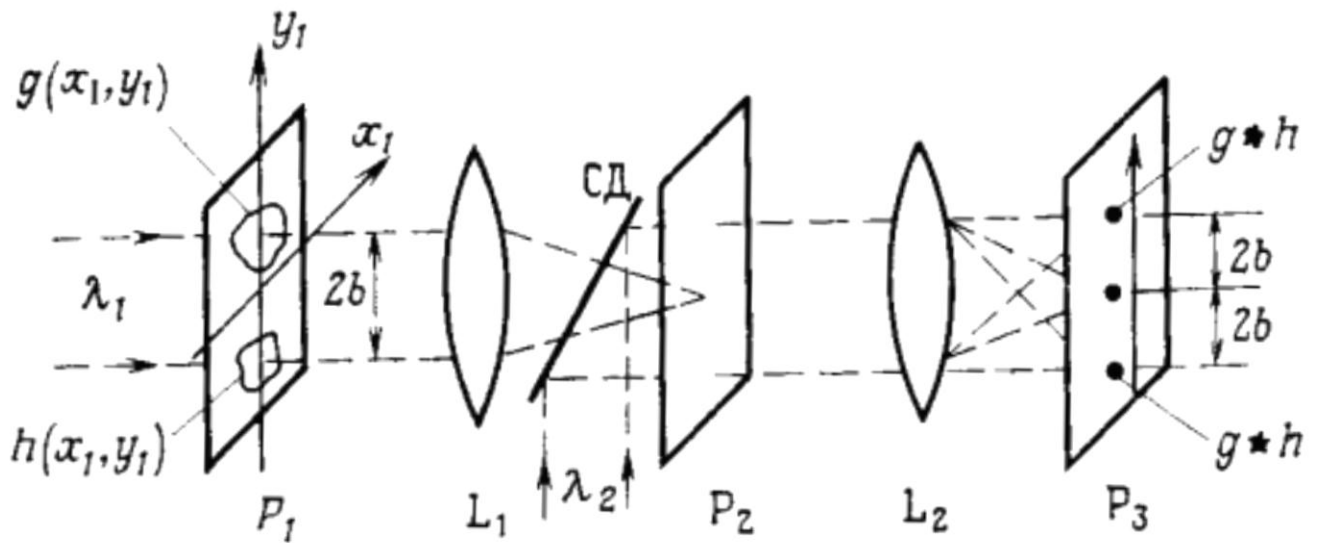


Рисунок 1.2 - Схема корелятора з одночасним перетворенням

Лінза L_2 формує в площині P_3 фур'є-образ функції $t_2(u,v)$, причому розподіл світла має вигляд [17]:

$$U_3(x_3, y_3) = g \cdot g + h \cdot h + g \cdot h \cdot \delta(x_3, y_3 + 2b) + h \cdot g \cdot \delta(x_3, y_3 - 2b). \quad (1.14)$$

Таким чином у площині P_3 формується взаємнокореляція функцій g і h , яка локалізується в точці з координатами $(0 \pm 2bf_2/f_1)$ [17].

Для повноцінної реалізації переваг оптичної обробки інформації необхідно у вхідній площині P_1 , (а іноді також і в частотній площині P_2 в схемі на рис. 1.2) використовувати просторово-часові модулятори світла.

Середовище, що реєструє, яке використано в площині P_2 для запису узгодженого просторового фільтра, повинно забезпечувати запис узгоджених фільтрів в реальному часі. І крім того допускати багаторазові цикли запису і стирання тільки в тому випадку, коли є потреба у швидкій зміні еталонних функцій [17].

У багатьох сучасних системах зв'язку для передачі інформації використовуються тривалі псевдовипадкові кодові імпульсні послідовності. Тривалість таких послідовностей може перевищувати кілька тисяч біт і таким чином перевершує лінійну роздільну здатність вхідних просторово-часових модуляторів світла.

У цьому випадку кодова послідовність записується на багатьох рядках просторово-часового модулятора світла і мета обробки полягає у виявленні присутності даного коду у вхідній площині і у визначенні положення його початку [17].

Отже, принцип формування формату вхідних даних можна розглядати як задачу виявлення 63-розрядної псевдовипадкової бінарної кодової послідовності [17].

Для порівняно простого 63-розрядного коду можна використовувати просторовий модулятор світла, що складається з 9×7 елементів, на якому сигнал, що приймається, записується у вигляді растра.

Коли запис коду сигналу, що приймається, починається в момент його дійсного початку, то вхідний растр із записом коду має вигляд, який показано на рис. 1.3 а. Простий голографічний узгоджений фільтр, що виготовлений для такої вхідної картини, успішно вирішує задачу виявлення моменту появи цього коду на вході.

На рис. 1.3 наведено приклад обробки сигналів у кореляторі:

а - вхідний формат для випадку, коли прийом коду починається з 1-го розряду;

б - еталонна маска для синтезу узгодженого просторового фільтра (1 - положення кореляції для коду, що починається з 52-го розряду; 2 – теж саме для коду, що починається з 1-го розряду; 3 – теж саме для коду з 42-го розряду).

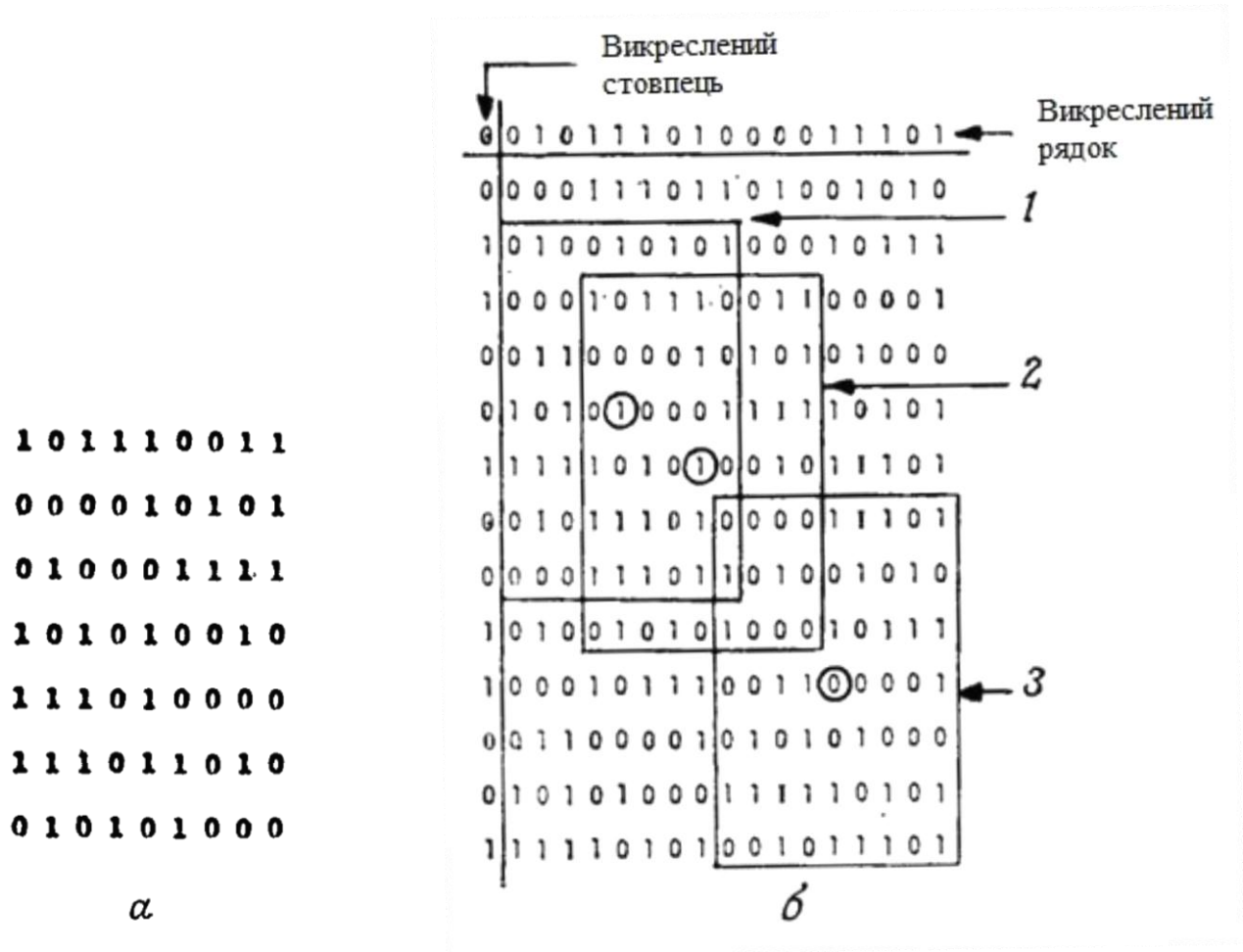


Рисунок 1.3 – Приклад кореляції складних кодованих сигналів для 63-розрядного коду

Однак, якщо сигнал, що приймається, починається, наприклад, з 42 розряду вхідної послідовності, то на модуляторі сформовано зображення коду,

який показано на рис. 1.3 б у вигляді окремої частини всередині прямокутної рамки.

Однак, якщо сигнал, що приймається, починається, наприклад, з 42 розряду вхідної послідовності, то на модуляторі сформовано зображення коду, який показано на рис. 1.3 б у вигляді окремої частини всередині прямокутної рамки.

Отже, узгоджений просторовий фільтр, виготовлений для вхідного зображення, що має структуру, наведену на рис. 1.3а, виявляється неефективним при розпізнаванні даного коду [17].

При використанні звичайного узгодженого фільтра для розпізнавання M -розрядного коду, запис якого може починатися з будь-якого розряду, потрібна еталонна маска розміром $M \times M$ біт. У розглянутій схемі кореляції використовується маска, яка показана на рис. 1.3б.

Ця маска формується при виборі любого розряду коду в якості початкового і при подальшому запису $2m$ розрядів коду на першому рядку маски (в масці на рис. 1.3б, запис розпочатий з 33-го розряду).

Якщо в даному випадку розглядається приклад, коли вхід представляє собою матрицю розмірністю $m \times n = 9 \times 7$ елементів, то на другому рядку маски слід записати також $2m$ розрядів коду, але починаючи з 42-го розряду ($42 = 33 + m$). Далі циклічно повторювати код до тих пір, поки кількість розрядів почне перевищувати число 63.

Потім аналогічним чином продовжується запис $2n$ рядків до тих пір, поки не буде сформовано зображення матриці $2m \times 2n$ елементів, як показано на рис. 1.3 б. Після цього перший рядок і перший стовпець матриці викреслюють [17].

Порівнюючи рис. 1.3 а і б з використовуваним кодом, видно, що на рис. 1.3 б записано кожне з можливих вхідних зображень матриці $m \times n = 9 \times 7$ біт з відповідним вибором будь-якого розряду в якості початку запису коду, що приймається. Для ілюстрації на рис. 1.3 б укладені в рамки відповідні блоки 9×7 біт, що починаються з 1-го, 42-го і 52-го розрядів.

Перевага такого узгодженого фільтра полягає в тому, що в даному випадку потрібна еталонна маска об'ємом тільки $(2m-1) \times (2n-1)$ біт. Для здійснення кореляційного аналізу прийнятого сигналу для цієї еталонної маски виготовляють узгоджений фільтр і поміщають його в площину P_2 корелятора, а в площині P_1 розміщують вхідне зображення прийнятого коду у вигляді матриці $m \times n$ елементів.

При цьому у вихідній площині P_3 буде спостерігатися яскрава кореляційна пляма. Наявність яскравої плями свідчить про присутність коду на вході корелятора, а його положення у вихідній площині однозначно визначає номер розряду, з якого почався запис коду на вході [17].

1.3 Особливості апаратної реалізації кореляторів

В роботі [21] розглянуто корелятор, який є прототипом до запропонованої оптоелектронної системи для аналізу зображень з використанням кореляційної матриці. На рис. 1.4 представлено структурну схему корелятора.

Корелятор рис. 1.4 містить матрицю обчислювальних комірок $l.i.j$ для визначення кореляційних коефіцієнтів (i - номер рядка; j - номер стовпця). Кожна з обчислювальних комірок 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.

Крім того, матриця обчислювальних комірок містить керуючі шини 16-18 матриці, вхід 19 еталонного сигналу матриці. Інформаційні виходи 14 і 12, 13 і 15 кожної обчислювальної комірки $l.i.j$, крім крайніх, з'єднані з інформаційними входами 10 і 8, 9 і 11 відповідно сусідніх обчислювальних комірок, розташованих праворуч ($l.i+1.j$), ліворуч ($l.i-1.j$), зверху ($l.i.j+1$) і знизу ($l.i.j-1$).

Для прискорення процесу обчислення ВКФ використано відомий підхід нормалізації до визначення координат центра еталонних зображень G на полі

поточного зображення F , коли в результаті одиничне значення на робочому полі мають тільки глобальні максимуми.

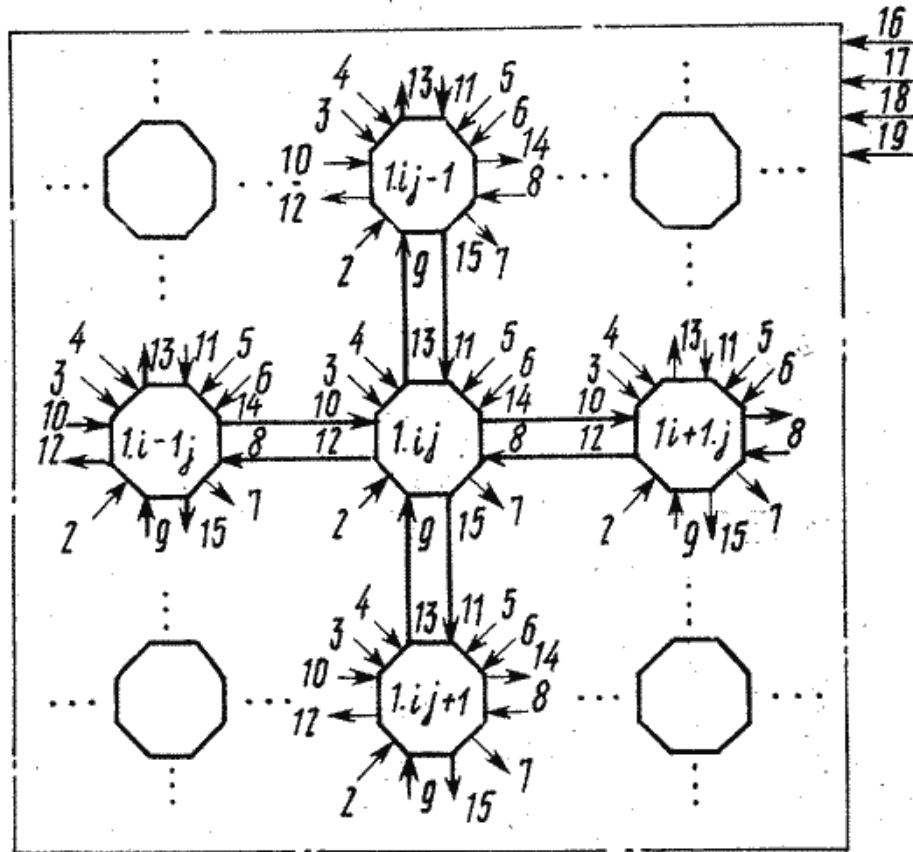


Рисунок 1.4 – Структурна схема кореляційної матриці

Кореляційна матриця, що наведена на рис. 1.4 працює таким чином. Необхідно визначити 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 подаються як бінарні зображення, тобто кожний їх піксель подається однорозрядним двійковим кодом. Поля поточного зображення F і еталонного зображення G обов'язково мають

центрований рядок і центрований стовпець, які позначаються нульовим номером.

Для збереження інформації при зсуві поточного зображення F розмірність робочого поля, що дорівнює розмірності матриці обчислювальних комірок $l.i.j$, повинна бути рівна $(N+n-1) \times (M+m-1)$.

На рис. 1.5 показано функціональну схему обчислювальної комірки для визначення кореляційних коефіцієнтів.

Кожна обчислювальна комірка $l.i.j$ для визначення кореляційних коефіцієнтів (рис. 1.5) містить D-тригер 20, RS-тригер 21, мультиплексор 22, елемент І 23, фотодіод 24, світлодіод 25, резистор 26, підсилювач 27.

Обчислювальна комірка $l.i.j$ для визначення кореляційних коефіцієнтів (рис.1.5) функціонує в такий спосіб. При надходженні керуючого сигналу з входу 4 здійснюється встановлення в нульовий стан D-тригера 20 і встановлення в одиничний стан RS- тригера 21 всіх обчислювальних комірок $l.i.j$ матриці.

З надходженням кожного наступного синхроімпульсу із синхровходу 3 в D-тригер 20 записується значення відповідного елемента f_{ij} бінарного поточного зображення F , що надходить на оптичний вхід 6 відповідної обчислювальної комірки $l.i.j$ матриці.

При надходженні на вхід 5 кожної обчислювальної комірки $l.i.j$ значення елемента g_{ij} , бінарного еталонного зображення G у відповідній обчислювальної комірки $l.i.j$ матриці на виході елемента І 23 формується сигнал δ_{ij} .

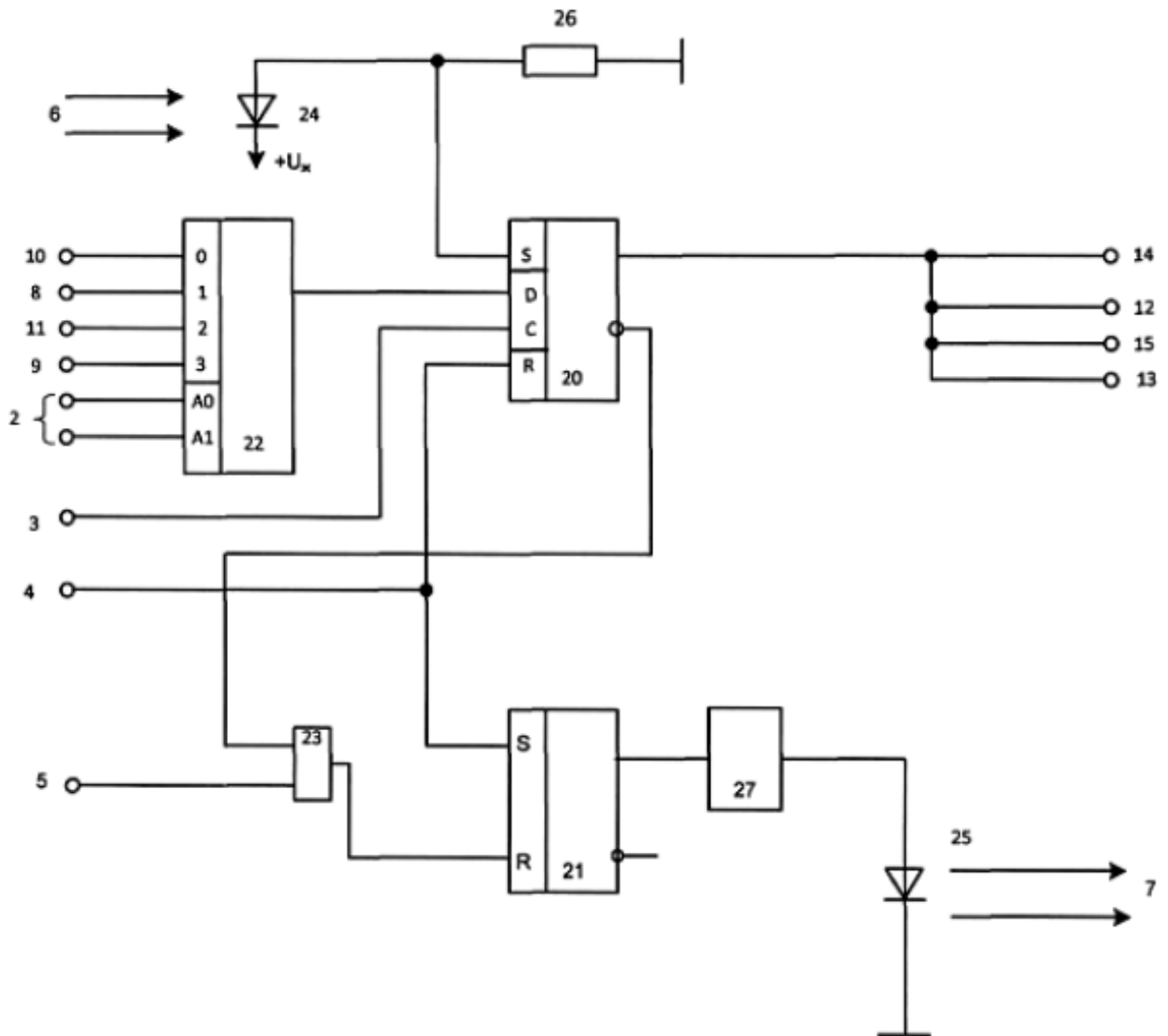


Рисунок 1.5 - Функціональна схема обчислювальної комірки

Цей сигнал при $\delta_{ij} = 1$ скидає в нульовий стан RS-тригер 21, оскільки поданий на його R-вхід. Значення елемента \bar{f}_{ij} надходить з інверсного виходу RS-тригер 20 на перший вхід елемента I 23. Якщо $\delta_{ij} = 0$, то RS-тригер 21 залишається в одиничному стані і оптичний вихід випромінюючого світлодіоду 25 вказує обчислювальну комірку $l.i.j$ з координатами центра еталонного зображення.

В залежності від коду адреси, що надходить на адресний вхід 2, можливий зсув ліворуч (по входу 8), вгору (по входу 9), праворуч (по входу

10), донизу (по входу 11) вмісту матриці обчислювальних комірок $l.i.j$.

Після виконання зсуву інформації в матриці обчислювальних комірок $l.i.j$ і надходження наступного бінарного відліку g_{ij} знову здійснюється формування сигналу δ_{ij} . Вибірка еталонного зображення із зовнішнього запам'ятовуючого пристрою виконується в залежності від коду адреси, сформованого на відповідному адресному виході блока керування.

Цей процес продовжується до тих пір, поки не буде виконано зчитування із зовнішнього запам'ятовуючого пристрою всього еталонного зображення G у вигляді послідовності його елементів g_{ij} .

Використання підсилювача у кожній обчислювальній комірці матриці дозволяє збільшити надійність роботи корелятора через узгодженість параметрів цифрових елементів та фотоприймачів і світловипромінювачів у всіх обчислювальних комірках для визначення кореляційних коефіцієнтів.

Блок керування (рис. 1.6) містить вхід 28 запуску, вхід 29 синхронізації, вхід 30 початкового встановлення, тригер 31, елемент І 32, тригери 33, 34, лічильники 35-39, дешифратор 40, вхід 41 задання початкових координат еталонного зображення, адресний вихід 42 координат еталонного зображення, елемент АБО-НІ 43, шину 44 нульового потенціалу.

Блок керування, який наведено на рис. 1.6, функціонує наступним чином. При ввімкненні живлення на вході 30 блока керування формується сигнал початкового встановлення. Він встановлює тригер 34 у нульовий стан, при цьому елемент- І 32 блокує надходження сигналу синхронізації з входу 29 синхронізації блока керування на вхід зворотної лічби лічильника 36.

При надходженні сигналу запуску на вхід 28 блока керування з одночасним надходженням чергового синхроімпульсу зі входу 29 синхронізації на виході тригера 31 формується короткий імпульс.

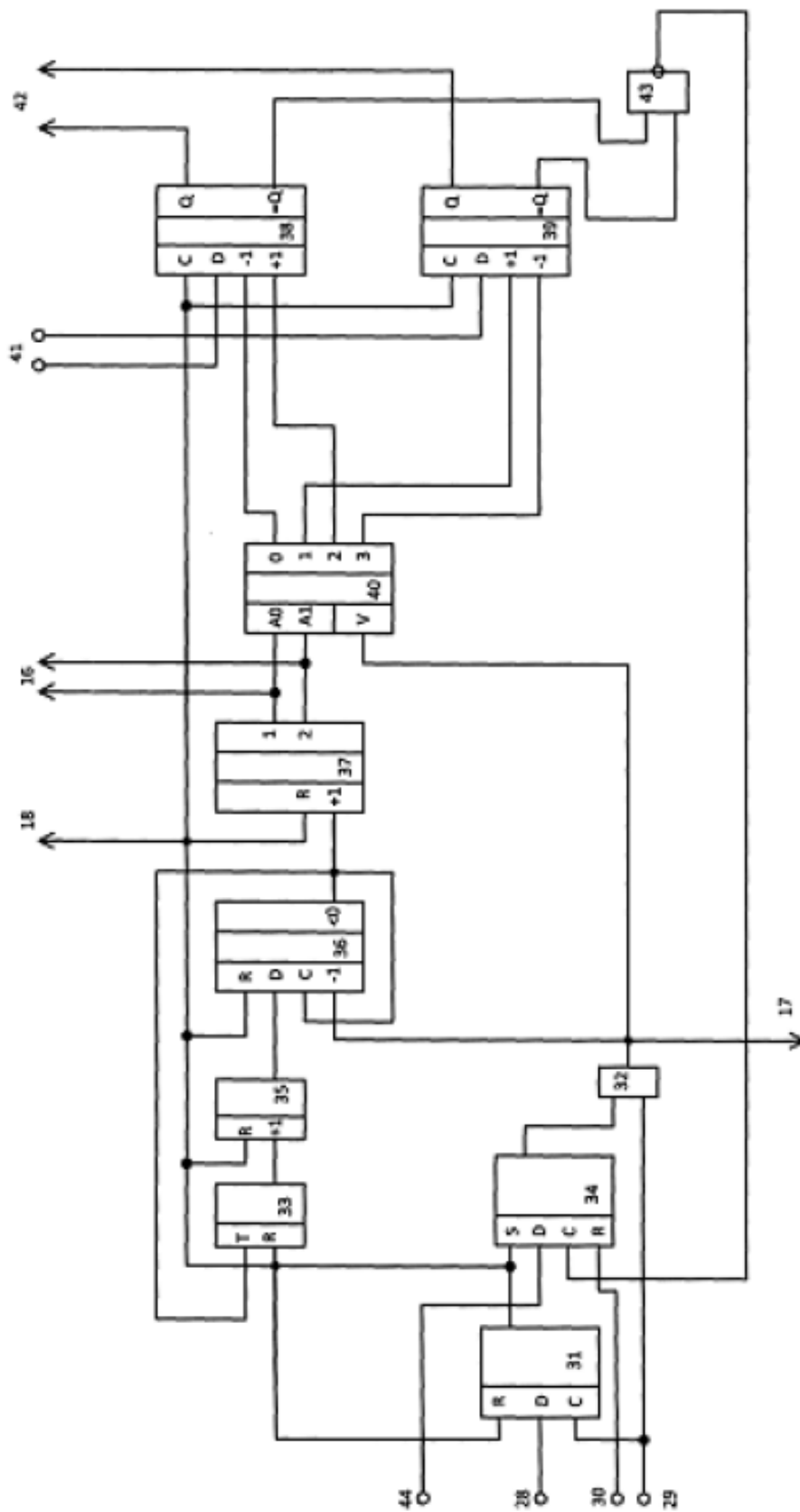


Рисунок 1.6 - Функціональну схему блока керування

Він встановлює в нульовий стан тригер 33 та лічильники 35-37 і дозволяє запис початкових координат еталонного зображення зі входу 41 блока керування в лічильники 38 і 39, а також встановлює в одиничний стан тригер 34.

При цьому відкривається елемент І 32, який формує одиничний сигнал на керуючому вході 18 матриці обчислювальних комірок, а також обнулює тригер 31.

Наступний синхроімпульс через відкритий елемент І 32 подається на вхід 17 синхронізації матриці обчислювальних комірок, а також на вхід зворотної лічби лічильника 36.

При цьому короткий імпульс на виході від'ємної ознаки лічильника 36 приводить до встановлення в одиничний стан тригера 33, перезапису вмісту лічильника 35 у лічильник 36 і збільшенню на одиницю вмісту лічильника 37, що викликає формування нової адреси на керуючих входах 16 матриці обчислювальних комірок.

В результаті це приводить до зміни через дешифратор 40 вмісту лічильників 38, 39, які формують на адресному виході 42 блока керування адресу наступного елемента еталонного зображення.

Коли лічильники 38, 39 обнулюються, на виході елемента АБО-НІ 43 формується імпульс, який встановлює в нульовий стан тригер 34 і блокує подачу синхроімпульсів на лічильник 36 через елемент І 32.

На цьому робочий цикл функціонування блока керування закінчується. Для повторного запуску блока керування необхідно подати відповідний сигнал на вхід 28 запуску блока керування.

На рис. 1.7 наведено приклад виконання кореляційної обробки двовимірних бінарних поточного F та еталонного G зображень з використанням матриці обчислювальних комірок $l.i.j$.

Розглянуто випадок, коли розмірність поточного зображення $N \times M = 5 \times 5$ (рис. 1.7а) і розмірність еталонного зображення $n \times m = 3 \times 3$ (рис. 1.7б).

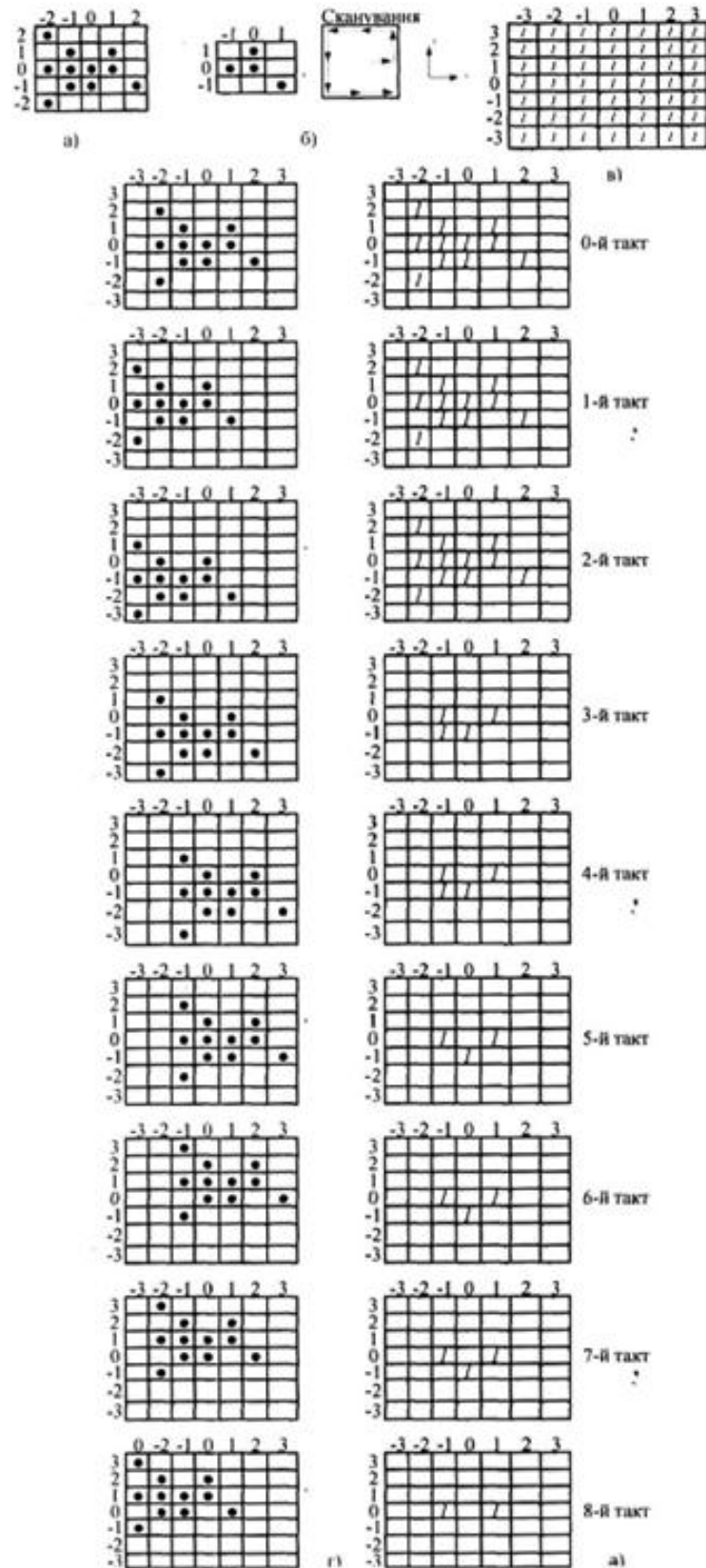


Рисунок 1.7 - Приклад кореляційної обробки бінарних зображень

Інформаційні пікселі обох зображень показано чорними точками.

При вказаному способі сканування еталонного зображення G (рис. 1.7б) та початковому одиничному стані робочого поля (рис. 1.7в) показано вигляд поля поточного зображення F (рис. 1.7г) з визначеним зсувом його вмісту у відповідні такти роботи корелятора та зміна стану RS-тригерів 21 кожної обчислювальної комірки $l.i,j$ матриці.

Вміст матриці обчислювальних комірок показано праворуч на рис. 1.7д, де одиничне значення пікселя відповідає інформативному елементу зображення на робочому полі.

Робоче поле для зсуву поточного зображення F розмірністю $(N+n-1) \times (M+m-1)$ реалізоване на матриці обчислювальних комірок $l.i,j$ відповідної розмірності. Всього виконується дев'ять тактів від нульового до восьмого за кількістю пікселів еталонного зображення G (рис. 1.7б).

На восьмому такті роботи корелятора формується кінцевий результат кореляційної обробки. Він свідчить про те, що обчислювальні комірки $l.i,j$ матриці, в яких RS-тригер 21 знаходиться в одиничному стані, відповідають максимумам центра еталонного зображення G на полі поточного зображення F . У наведеному на рис. 1.7 прикладі результат кореляційної обробки свідчить, про те, що центри еталонного зображення знаходяться у точках з координатами $(-1;0)$ та $(1;0)$ (рис. 1.7д).

1.4 Огляд моделей топологічних зв'язків у матричних структурах

У відомих двовимірних матричних кореляторах порушена однорідність зв'язків у крайніх елементів матриці, що знаходяться на її периметрі. Одним із способів вирішення цієї проблеми є зміна конфігурації з'єднань у кореляційній матриці і перехід до тривимірної реалізації.

Існує багато топологічних моделей, що зорієнтовані на паралельні обчислювальні системи [16]:

- деревовидна мережа;

- конвеєр;
- гіперкуб;
- процесор типу “метелик”;
- кільце;
- циліндр;
- пірамідальна мережа;
- тороїд.

Для кореляційної матриці (рис. 1.4), яка представляє собою двовимірну решітку, з усіх наведених варіантів найбільше підходить топологія зв’язків крайніх елементів у вигляді тороїда (рис. 1.8).

Такий підхід дозволить підвищити ступінь однорідності при апаратній реалізації матричних кореляторів через однорідність не тільки обчислювальних комірок, але й зв’язків між ними.

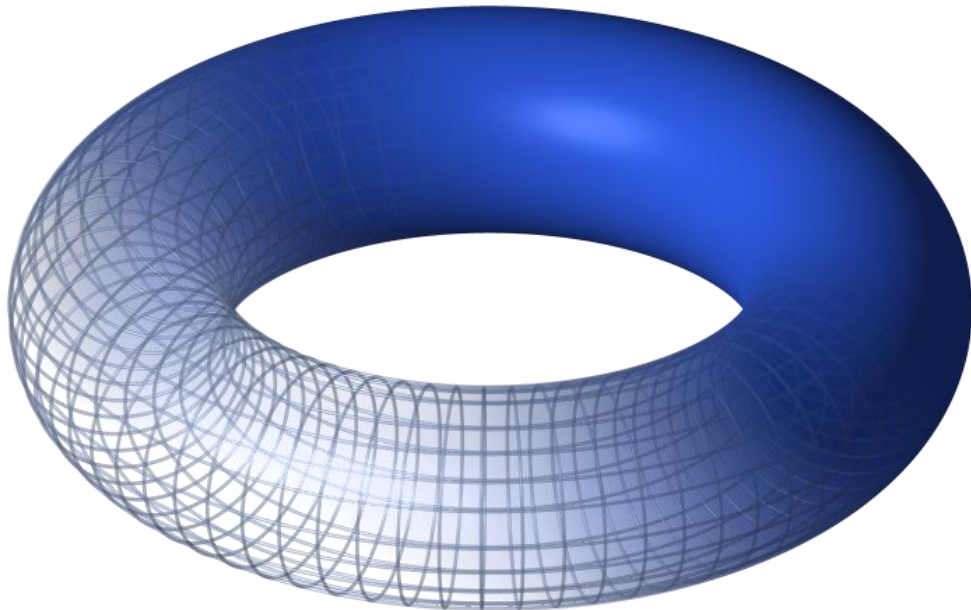


Рисунок 1.8 – Вигляд тороїдальної топології зв’язків у матричній структурі

1.5 Обґрунтування вибору елементної бази для блока керування

Одним з варіантів реалізації блока керування для матричного корелятора є мікроконтролер. Серед відомих сімейств мікроконтролерів найбільш прийнятним з огляду на особливості керування матричним корелятором є Arduino UNO R3 з реалізацією на платі мікроконтролера ATmega328.

Характеристики плати мікроконтролера такі [22]:

- 14 цифрових портів входу-виходу (6 з них підтримують режим ШІМ модуляції);
- 6 аналогових входів;
- частота 16 МГц;
- USB порт;
- роз'єм живлення;
- роз'єм внутрішньо схемного програмування;
- кнопка скидання.

У табл. 1.1 наведено технічні характеристики мікроконтролера. У платі мікроконтролера є всі необхідні компоненти для забезпечення його роботи з підключенням USB кабеля до комп'ютера і подачею живлення. Мікроконтролер встановлений на колодці, що дозволяє легко замінити його в разі виходу з ладу.

Контролер програмується з інтегрованого середовища програмного забезпечення Arduino (IDE). Цей процес відбувається під управлінням резидентного завантажувача по протоколу STK500. Апаратний програматор при цьому не використовується.

Мікроконтролер також програмується через роз'єм для внутрішньо схемного програматора ICSP, не використовуючи завантажувач. Вихідний код програми-завантажувача знаходиться у вільному доступі.

Кожен з 14 цифрових виводів мікроконтролера може бути використаний в якості виходу або входу. Рівень напруги на цих виводах дорівнює 5 В. Рекомендовано струм кожного виводу обмежувати на рівні 20 мА.

Таблиця 1.1 –Технічні характеристики

Тип мікроконтролера	ATmega328P
Напруга живлення мікроконтролера	5 У
Рекомендоване напруга живлення плати	7 - 12 В
Гранично допустима напруга живлення плати	6 - 20 В
Цифрові входи-виходи	14 (з них 6 підтримують ШІМ)
Виходи ШІМ модуляції	6
Аналогові входи	6
Допустимий струм цифрових виходів	20 мА
Допустимий струм виходу 3,3 В	50 мА
Обсяг флеш пам'яті (FLASH)	32 кБ (з яких 0,5 кБ використовується завантажувачем)
Об'єм оперативної пам'яті (SRAM)	2 кБ
Обсяг енергонезалежної пам'яті (EEPROM)	1 кБ
Частота тактирування	16 мГц
Довжина плати	68,6 мм
Ширина плати	53,4 мм
Вага	25 г

Гранично допустиме значення цього параметра складає 40 мА. Кожен вивід має внутрішній резистор з опором 20-50 кОм, який може бути відключений програмно.

Послідовний інтерфейс - це виводи 0 (Rx) і 1 (Tx). При цьому вони використовуються для прийому (Rx) і передачі (Tx) послідовних даних логічних рівнів TTL. Ці виводи підключені до виводів передачі даних мікросхеми ATmega16U2, яку використовують як міст USB-UART.

Зовнішні переривання виконуються через виводи 2 і 3, які можуть бути використані як входи зовнішніх переривань. Вони програмно можуть бути встановлені на переривання по низькому рівню, додатному чи від'ємному фронту, або на зміну рівня сигналу. Послідовний інтерфейс SPI реалізовано через виводи 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Світлодіод підключено до виводу 13 і він світиться при високому рівні сигналу на цьому виводі.

На рис. 1.9 зображено вигляд плати мікроконтролера для блока керування. У плати Arduino UNO є шість аналогових входів, позначених як A0-A5. Роздільна здатність аналогового цифрового перетворення складає 10 розрядів. За замовчуванням, вхідна напруга вимірюється щодо землі в діапазоні 0-5 В, але може бути змінена за допомогою виведення AREF і програмних установок.

1.6 Обґрунтування вибору елементної бази для індикації результатів кореляційної обробки зображень

У багатьох приладах і пристроях для відображення інформації використовують світлодіоди, світлодіодні матриці або семисегментні світлодіодні індикатори.

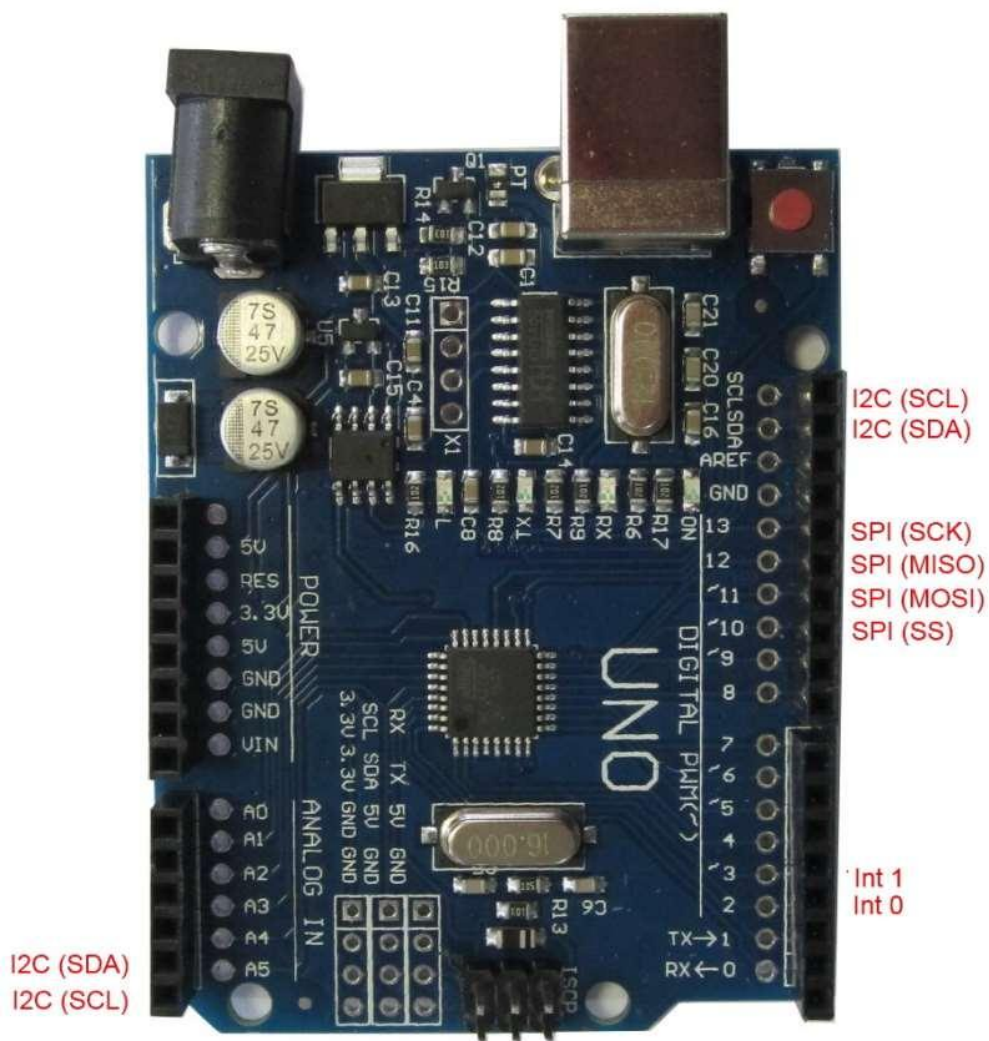


Рисунок 1.9 – Вигляд плати мікроконтролера

Для індикації результатів кореляційної обробки бажано обрати матрицю світлодіодів 1088AS, вигляд якої наведено на рис 1.10. Цей модуль представляє собою матрицю розмірністю 8x8 елементів [20].

Перевагою подібних систем відображення інформації є наявність достатньої яскравості і контрастності, оскільки їх видно під будь-яким кутом, в будь-який час доби. Так само світлодіоди мають високу стійкість до вібраційних і інших механічних навантажень. Більшість світлодіодів можуть працювати при температурі від $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$. При правильній експлуатації термін служби може досягати 50 000 годин.[19].

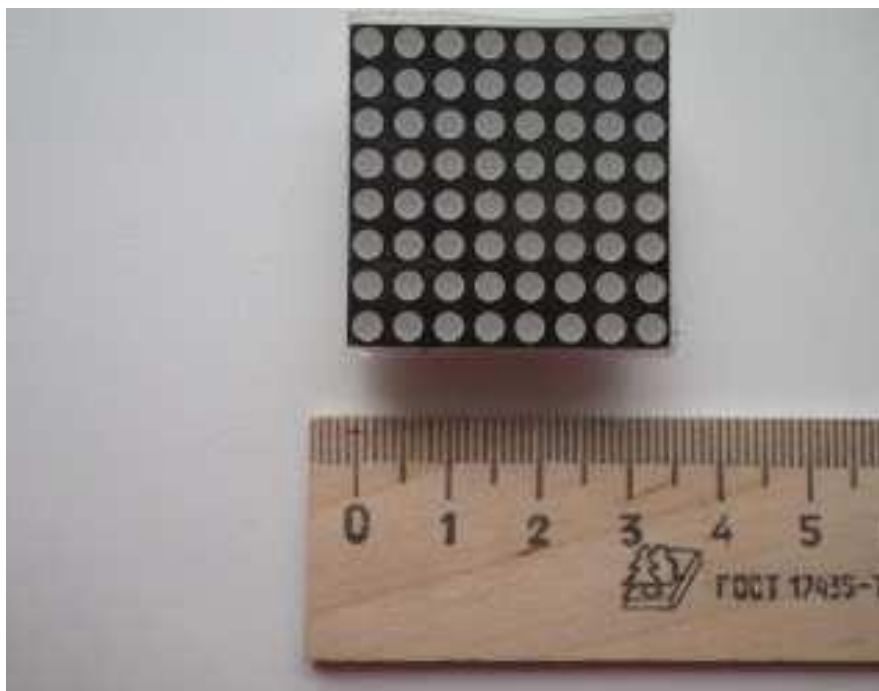


Рисунок 1.10 – Матриця світлодіодів 1088 AS

На табл. 1.2 наведені основні характеристики модуля матриці світлодіодів [20]:

Таблиця 1.2 – Характеристики модуля матриці світлодіодів

Кількість світлодіодів	8 рядків по 8 світлодіодів в кожному рядку
Колір світіння світлодіодів	червоний
Довжина хвилі	приблизно 625-630 нанометрів
Робочий струм одного світлодіода	20 мА
Довжина	32 мм
Ширина	32 мм
Товщина	8 мм без довжини виводів

На рис.1.11 зображено зовнішній вигляд мікросхеми MAX7219.

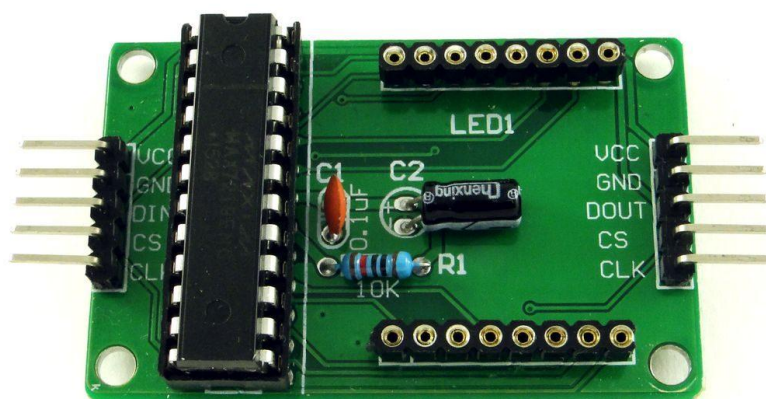


Рисунок 1.11 – Мікросхема MAX7219

Функціональну схему модуля матриці світлодіодів показано на рис.

1.12.

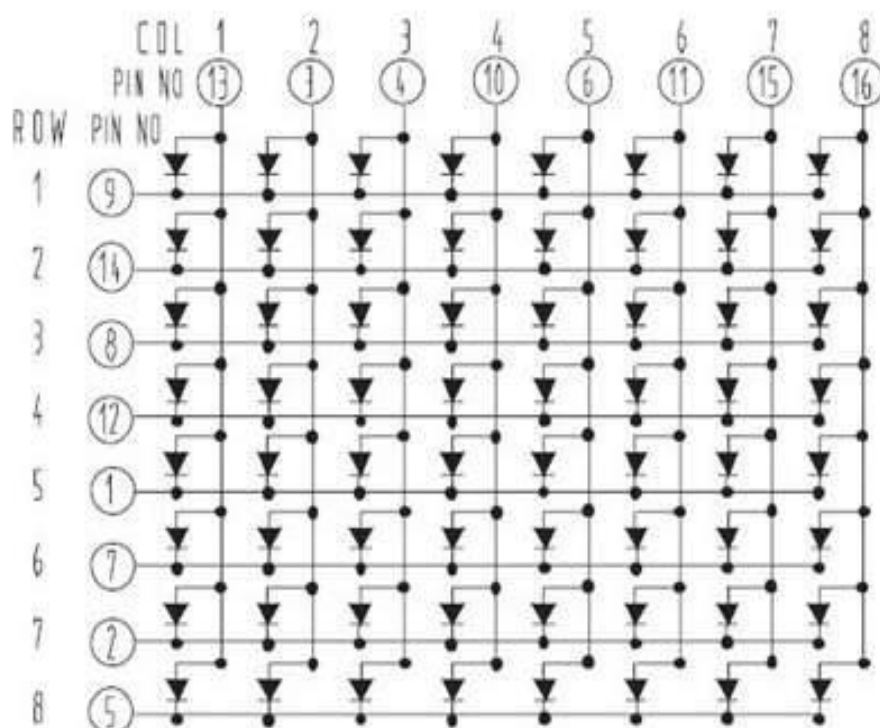


Рисунок 1.12 – Функціональна схема матриці світлодіодів 1088 AS

Для підключення матриці світлодіодів використовується мікросхема MAX7219.

У модуля є п'ять виводів на кожній стороні. З одного боку дані подаються до модуля, з іншого боку дані виводяться з модуля і передаються в наступний модуль. Це дозволяє з'єднувати матриці у лінійку світлодіодів. Працює модуль від напруги 5 Вольт [19].

Для вхідного роз'єму використовуються такі позначення [19]:

- VCC, GND - живлення;
- DIN - вхід даних;
- CS - вибір модуля (chip select);
- CLK - синхроімпульс.

Для індикації результатів кореляційної обробки обрано матрицю світлодіодів 1088AS з мікросхемою MAX7219, через те що дана схема працює від напруги 5 Вольт та легко підключається. Також матриця має розмірність 8x8 елементів та колір світіння світлодіодів – червоний.

2 ОПТОЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА ДЛЯ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

2.1 Структура і принцип функціонування оптоелектронної системи

У відомій структурі матричного оптоелектронного корелятора [22,23] базовим вузлом є матриця обчислювальних комірок, які містять крім таких цифрових елементів, як мультиплексор, два тригери та логічний елемент І, також світлодіод та фотодіод. 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 прийнятним є варіант реалізації оптоелектронного корелятора, в якому можна виділити блок кореляції, що складається з АЦП, кореляційної матриці та матриці світлодіодів.

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 блока пам'яті еталонів та блока керування дозволяє розглядати його як оптоелектронну систему з кореляційною матрицею.

У роботах [24,25] розглянуто особливості нормалізованої кореляційної обробки бінарних двовимірних зображень, а також вплив застосування тороїдальної топології зв'язків у кореляційній матриці на її розмірність [26]. Наведені у статті [24] 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) [27].

Запропонована структура оптоелектронного корелятора (рис. 2.1) містить блок кореляційної матриці 1, блок 2 керування, блок пам'яті 3 еталонів, аналого-цифровий перетворювач (АЦП) 4 та матрицю 5 світлодіодів.

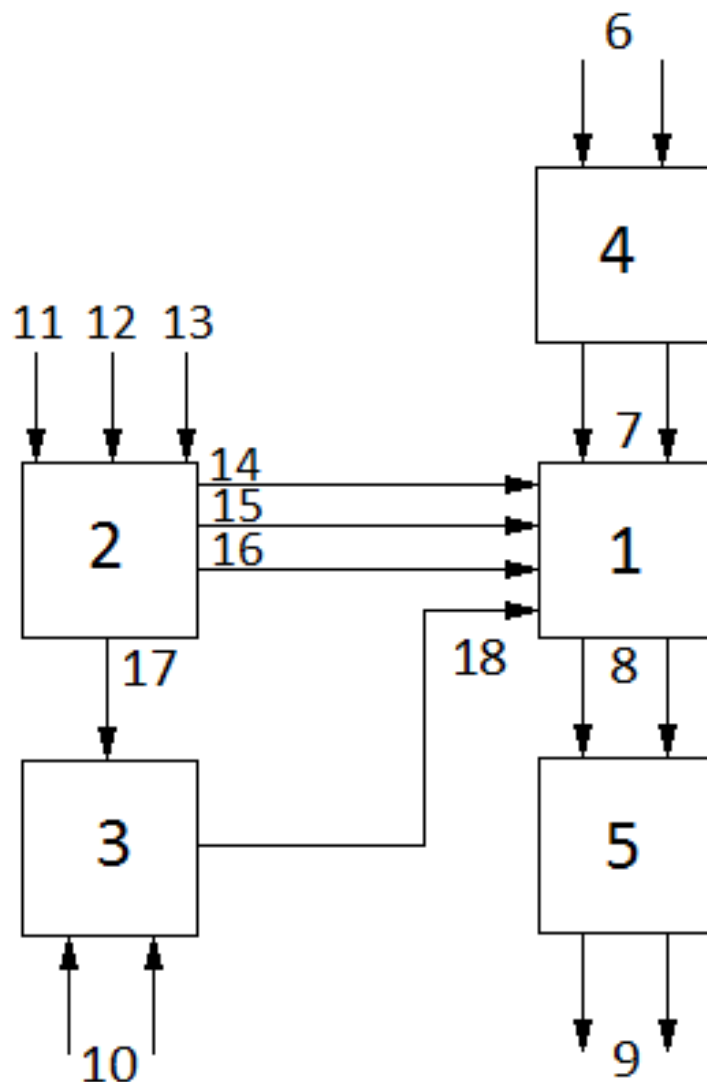


Рисунок 2.1 – Схема оптоелектронного корелятора

На рис. 2.2 наведено блок-схему алгоритму кореляційної обробки у наведеній оптоелектронній системі, де показано базові блоки спрацювання вузлів та блоків оптоелектронної системи.

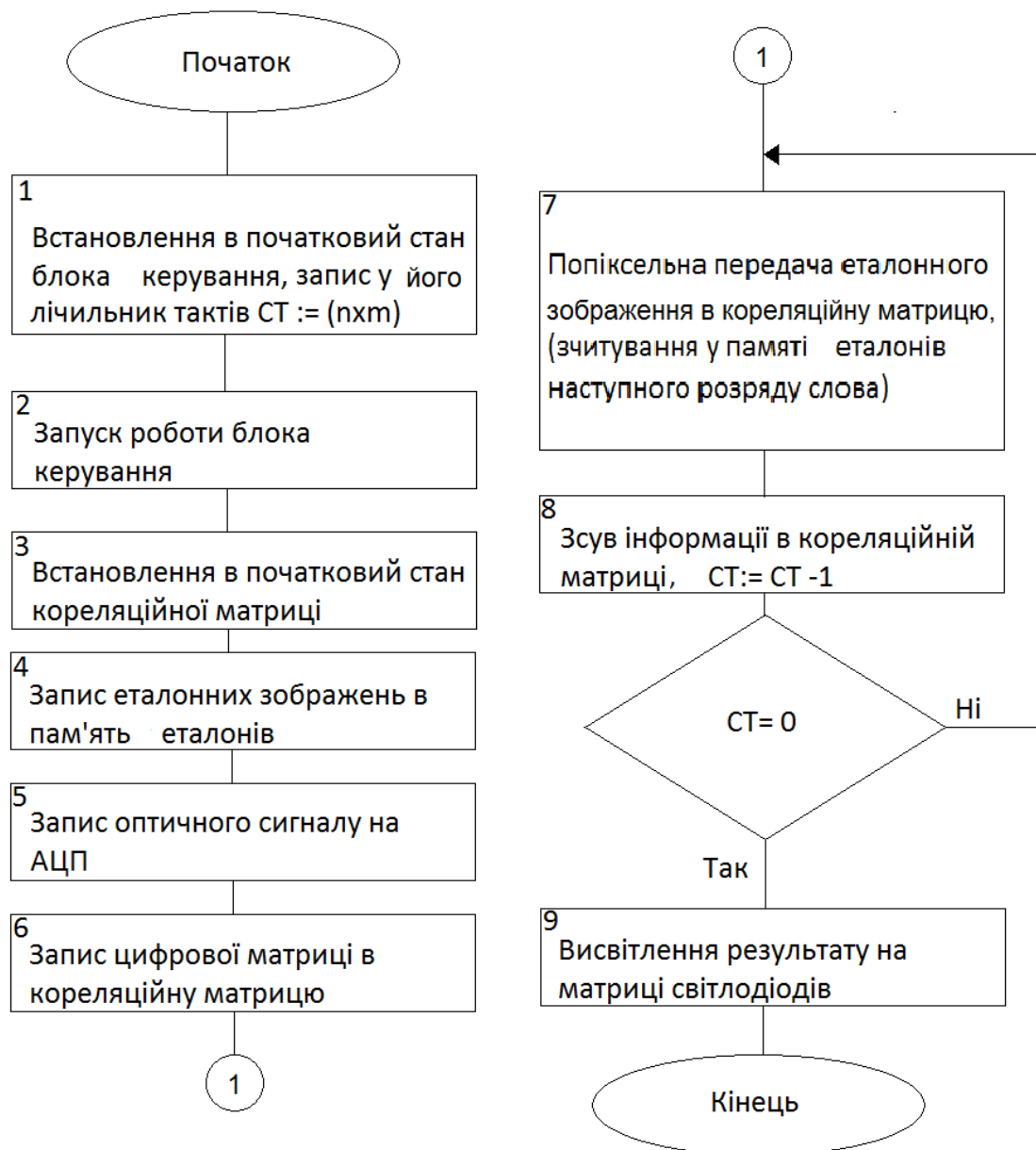


Рисунок 2.2 – Блок-схема алгоритму кореляційної обробки

Процес обробки починається з того, що на блок керування 2 надходить сигнал початкового встановлення з входу 11, у його лічильник тактів записується розмірність матриці еталонного зображення ($СТ = n \times m$). Далі сигнал запуску та сигнал синхронізації з блока керування 2 по його виходах

14,15 приводять до початкового встановлення обчислювальних комірок блока кореляційної матриці 1. У блок пам'яті еталонів 3 по його входах 10 записуються еталонні зображення G . Після цього оптоелектронна система готова до виконання кореляційної обробки поточного зображення F .

Оптичне двовимірне поточне зображення F надходить на аналого-цифровий перетворювач (АЦП) 4 по його входах 6, а після перетворення в бінарне двовимірне зображення подається до входів 7 блока кореляційної матриці 1, де фіксується в її обчислювальних комірках. Кореляційна обробка починається з подачі еталонного зображення G по піксельно g_{ij} до входу 18 блока кореляційної матриці 1 з блока пам'яті еталонів 3.

Після подачі кожного пікселя g_{ij} еталонного зображення G виконується відповідний зсув інформації у блоці кореляційної матриці 1 по сигналу з виходу 16 блока керування 2. Одночасно змінюється адреса, що фіксується у лічильнику тактів ($CT=CT-1$), відповідного розряду (пікселя) еталонного зображення G у блоці пам'яті еталонів 3.

Цей процес завершується після зчитування останнього розряду еталонного зображення G з блока пам'яті еталонів 3, тобто коли лічильник тактів у блоці керування 2 обнулюється ($CT = 0$).

Після завершення кореляційної обробки з бінарних виходів блока кореляційної матриці 1 до відповідних входів 8 матриці світлодіодів 5 подається сформований двовимірний кореляційний рельєф. В результаті на виходах 9 матриці світлодіодів 5 формується оптичний вигляд кореляційного рельєфу, де висвітлюються одиничні пікселі максимумів кореляційного рельєфу при нормалізованій кореляційній обробці.

Для обчислення взаємно-кореляційної функції (ВКФ), що задіяно у даній оптоелектронній системі, використовується таке співвідношення:

$$C_{kl} = \sum_{i=-\frac{n}{2}}^{\frac{n}{2}} \sum_{j=-\frac{m}{2}}^{\frac{m}{2}} g_{ij} \cdot f_{i-k,j-l} \quad , \quad (2.1)$$

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 $\overline{(-k, l)}$.

Для прискорення процесу обчислення ВКФ пропонується підхід до визначення координат центра еталонних зображень G на полі поточного зображення F , який дозволяє відмовитись від "вирощування" кореляційного рельєфу вигляду (2.1) за рахунок поступового зменшення матриці поточного кореляційного рельєфу на загальну величину у кожному такті обробки. В результаті одиничне значення на робочому полі зберігають тільки глобальні максимуми, що не лише дозволяє перейти від багатоградаційного до бінарного результуючого кореляційного рельєфу, але й за рахунок візуалізації збільшити наочність результату і прискорити визначення необхідних координат.

2.2 Структура і принцип функціонування блока кореляційної матриці

Оптоелектронна система (рис. 2.1) містить матрицю обчислювальних комірок $1.i.j$ (рис.2.2) (i - номер рядка; j - номер стовпця). Кожна з обчислювальних комірок має адресний вхід 14, синхровхід 15, вхід 16 початкового встановлення, вхід 18 еталонного сигналу, вхід 7, вихід 8, інформаційні входи 19-22, інформаційні виходи 23-26. Інформаційні виходи 25 і 23, 24 і 26 кожної обчислювальної комірки $1.i.j$, крім крайніх, з'єднані з інформаційними входами 21 і 19, 20 і 22 відповідно сусідніх обчислювальних комірок, розташованих праворуч ($1.i+1.j$), ліворуч ($1.i-1.j$), зверху ($1.i,j+1$) і знизу ($1.i,j-1$).

Обчислювальна комірка $1.i.j$ (рис.2.2) містить D- тригер 27, RS- тригер 28, мультиплексор 29, елемент І 30.

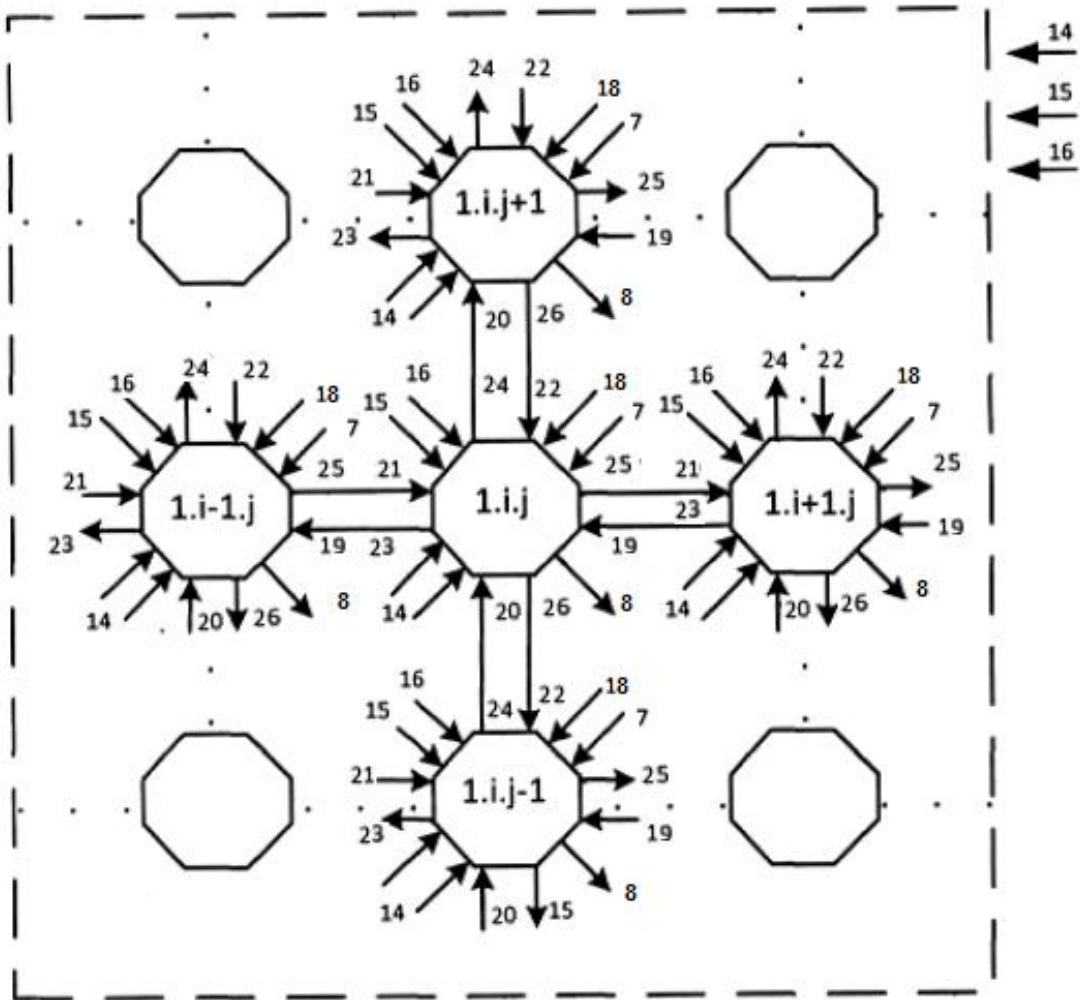


Рисунок 2.2 – Структура блока кореляційної матриці

Обчислювальна комірка $1.i.j$ для визначення кореляційних коефіцієнтів (рис. 2.3) функціонує в такий спосіб. При надходженні керуючого сигналу з входу 16 початкового встановлення здійснюється встановлення в нульовий стан D-тригера 27 і встановлення в одиничний стан RS-тригера 28 всіх обчислювальних комірок $1.i.j$ матриці. З надходженням чергового синхроімпульсу із синхровходу 15 обчислювальних комірок в D-тригер 27 записується значення відповідного елемента f_{ij} бінарного поточного зображення F , що надходить на вхід 7 відповідної обчислювальної комірки $1.i.j$ матриці.

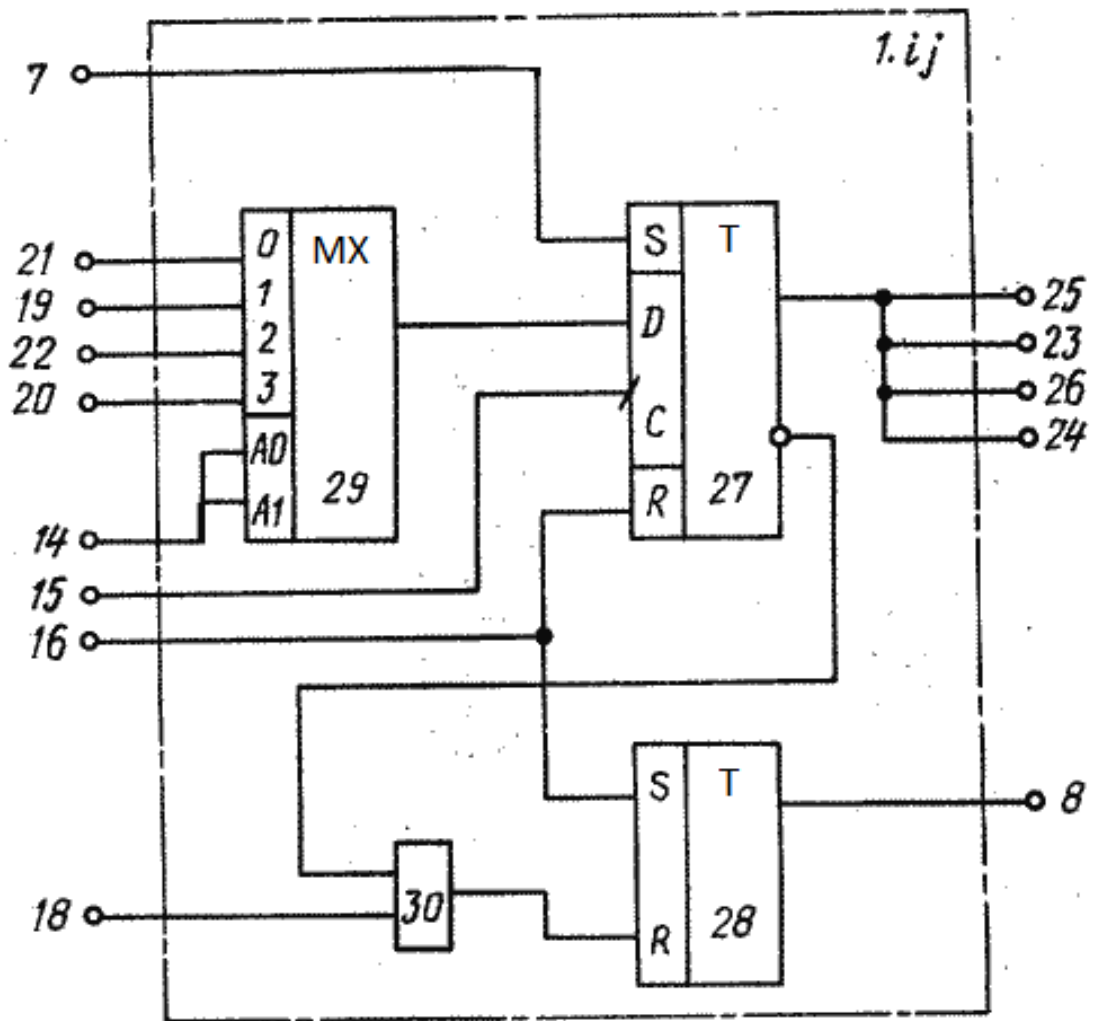


Рисунок 2.3 – Функціональна схема обчислювальної комірки

При надходженні на вхід 18 кожної обчислювальної комірки $1.i.j$ значення елемента g_{ij} , бінарного еталонного зображення G у відповідній обчислювальної комірки $1.i.j$ матриці на виході елемента І 30 формується сигнал:

$$\delta_{ij} = g_{ij} \cdot \overline{f_{ij}}. \quad (2.2)$$

При його одиничному значенні він скидає в нульовий стан RS-тригер

28, будучи поданий на його R-вхід. Значення елемента $\overline{f_{ij}}$ надходить з інверсного виходу D-тригера 27 на один з входів елемента І 30. Якщо сигнал δ_{ij} дорівнює нулю, то RS-тригер 28 залишається в одиничному стані і на виході 8 вказує обчислювальну комірку $l.i.j$ з координатами центра еталонного зображення.

В залежності від коду адреси, що надходить на адресний вхід 14 обчислювальної комірки $l.i.j$, можливий зсув ліворуч (по входу 19), вгору (по входу 20), праворуч (по входу 21), донизу (по входу 22) вмісту матриці обчислювальних комірок $l.i.j$.

Після виконання зсуву інформації в матриці обчислювальних комірок $l.i.j$ і надходження наступного бінарного відліку g_{ij} , еталонного зображення, вибірка якого із пам'яті 3 еталонів виконується в залежності від коду адреси, сформованого на адресному виході 14 блока 2 керування, знову здійснюється формування сигналу δ_{ij} (2.2). Цей процес буде продовжуватися до тих пір, поки не буде виконано зчитування із пам'яті 3 еталонів всього еталонного зображення G у вигляді послідовності його елементів g_{ij} .

Отже, схему обчислювальної комірки (рис. 2.3) 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 s_{ij} кореляційного рельєфу з урахуванням значення поточного пікселя g_{ij} еталонного зображення.

Структура блока кореляційної матриці наведено у додатку В.

Функціональну схему обчислювальної комірки показано у додатку Д.

2.3 Структура блока пам'яті еталонів

На рис. 2.4 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. 2.4в).



Рисунок 2.4 – Приклад початкових даних для кореляційної обробки

Для прикладу обрано еталонне зображення G розмірністю 3×3 (рис. 2.4 б), а на рис. 2.5 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. 2.4 в), оскільки метою кореляційної обробки є визначення координат центрів еталона на полі поточного зображення.



Рисунок 2.5 – Два варіанти еталонних зображень

В результаті сформовано два відповідні вектори розмірністю 9 елементів (рис 2.6) для запису у блок пам'яті еталонів, де одиничні значення пікселів зображення представлено у вигляді точок.

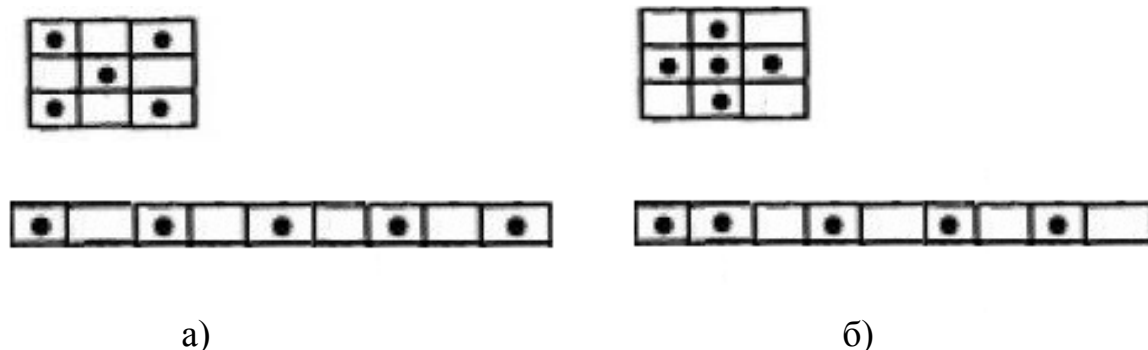


Рисунок 2.6 – Представлення кодів еталонних зображень у пам'яті еталонів

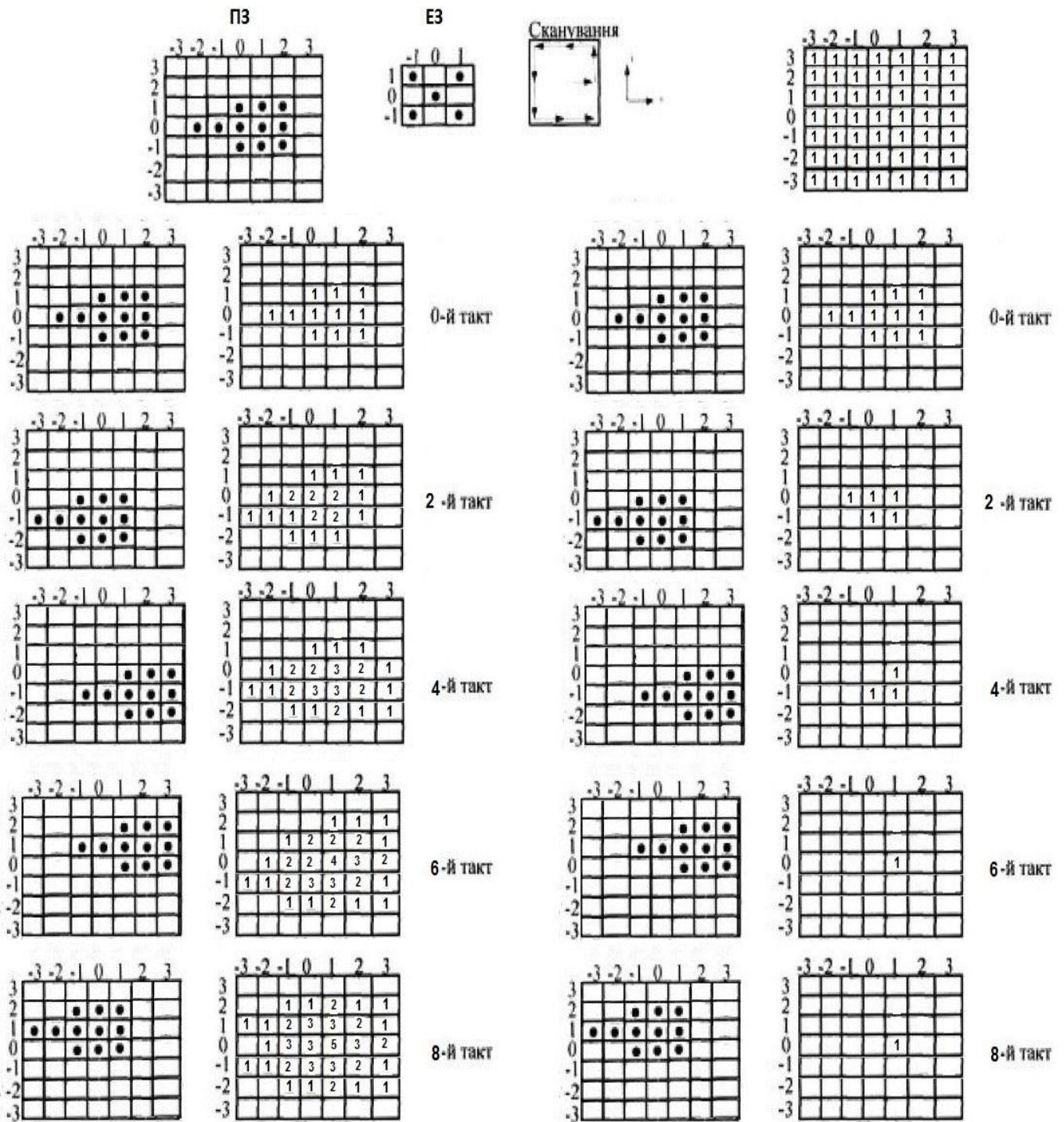
На рис. 2.6 під кожним зображенням еталона показано формування відповідного вектора у блоці пам'яті еталонів. Таким чином, блок пам'яті еталонів представляє собою швидкісну регістрову пам'ять розмірністю $k \times l$, де k – кількість еталонних зображень; l – розмірність еталонів. У наведеному прикладі розмірність блока пам'яті дорівнює 2×9 .

2.4 Приклади кореляційної обробки бінарних зображень у блоці кореляційної матриці

На рис. 2.7, 2.8 представлено приклади кореляційної обробки зображення методом “вирощування” та методом нормалізованої кореляційної обробки для двох варіантів еталонного зображення.

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 [26].

Робочих тактів п'ять, тобто вони відповідають інформативним (одиничним) пікселям еталонного зображення (рис. 2.7 б, 2.8 б).



а) б)

Рисунок 2.7 – Один з варіантів кореляційної обробки бінарних зображень (приклад №1)

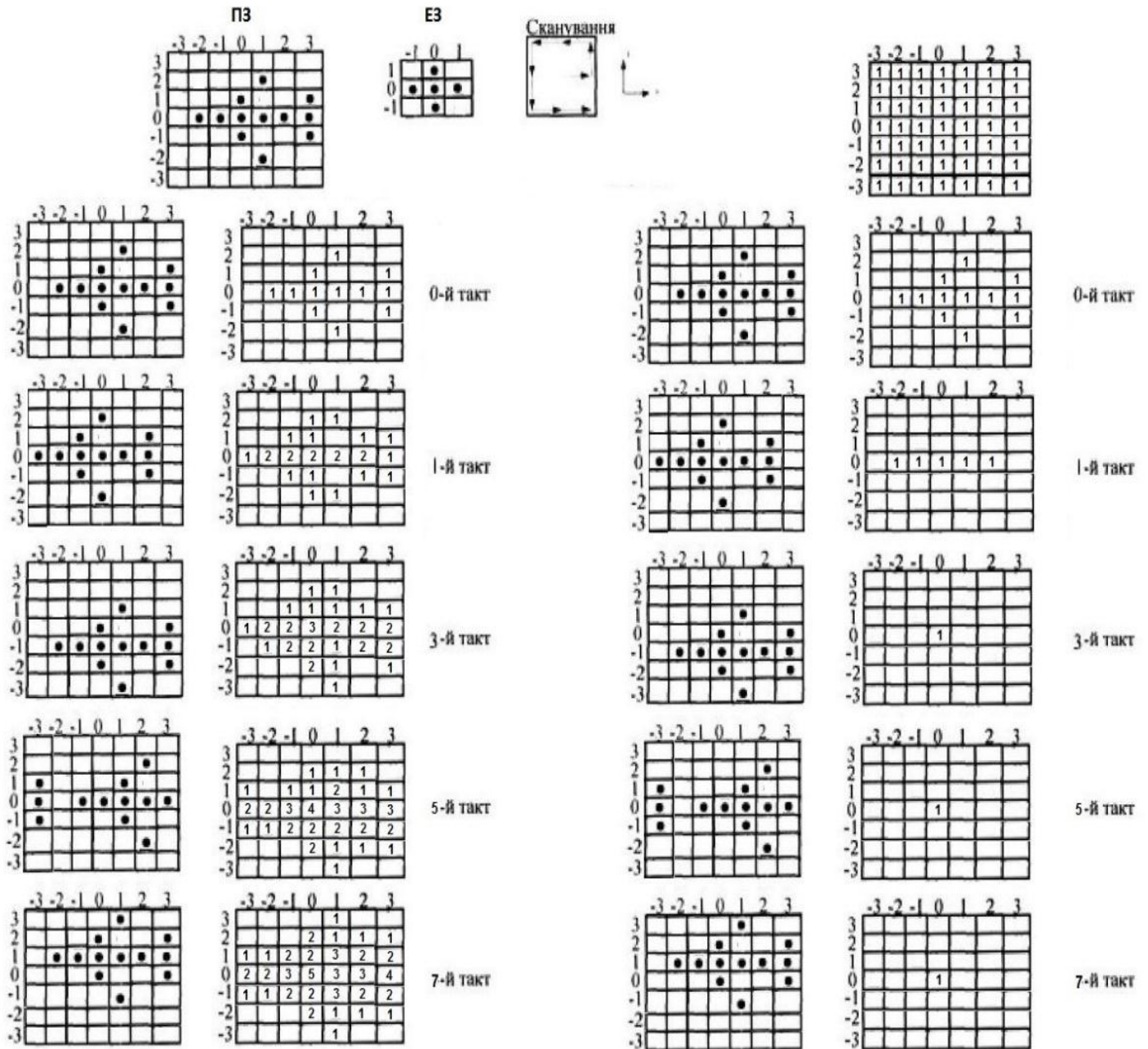


Рисунок 2.8 – Один з варіантів кореляційної обробки бінарних зображень (приклад №2)

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.

Крім того, для прикладу нормалізованої кореляційної обробки показано початковий (одиничний) стан поля кореляційного рельєфу.

В обох випадках обробки максимальне (1-й варіант) та одиничне (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.

2.5 Особливості функціонування блока керування

Для збереження масиву еталонних значень довжиною 9 елементів використано внутрішню енергонезалежну пам'ять EEPROM, для чого створено наступний код (рис.2.9).

```
#include <EEPROM.h> // Імпортуємо бібліотеку

int address = 0; // Змінна для зберігання адреси
int myArray[9] = {1,2,3,4,5,7,8,9}; // Змінна для зберігання значення масиву

void setup ()

for (int i = 0; i < 8; i++) // початкова адреса 0, лічильник СТ=9
  EEPROM.write(i, myArray[i]);
}
void loop()

{

}
```

Рисунок 2.9 – Код програми

Далі визначено основні напрямки зчитування ліворуч, праворуч, вгору, вниз, як: LEFT, RIGHT, UP, DOWN. При цьому визначено значення адрес Address A1,A0 для обчислювальних комірок блока кореляційної матриці у форматі (табл.2.1).

Таблиця 2.1 – Позначення напрямку зсуву

Напрямки зчитування	Адреси	
	A1	A0
LEFT	0	0
RIGHT	0	1
UP	1	0
DOWN	1	1

Шлях розгортки для наведеного еталона (рис. 2.5) показано у табл.2.2.

Таблиця 2.2 - Шлях розгортки еталона

LEFT	DOWN	RIGHT	RIGHT	UP	UP	LEFT	LEFT
00	11	01	01	10	10	00	00

При цьому масив адрес матиме вигляд:

```
int AddressArrayA1 [8] = {0,1,0,0,1,1,0,0};
int AddressArrayA0 [8] = {0,1,1,1,0,0,0,0};
```

Відповідно до алгоритму (рис. 2.2) скетч матиме такий вигляд:

```

#include <EEPROM.h>                // Імпортуємо бібліотеку

int address = 0;    // Змінна для зберігання адреси A1

int addressA1 = 0;    // Змінна для зберігання адреси A1
int addressA0 = 0;    // Змінна для зберігання адреси A0

int value = 0;    // Змінна для зберігання еталонного значення
int value1 = 0;    // Проміжна змінна 1
int value2 = 0;    // Проміжна змінна 2
int value3 = 0;    // Проміжна змінна 3

int i = 0; // Змінна для зберігання значення лічильника
int AddressArrayA1 [8] = {0,1,0,0,1,1,0,0}; // масив адрес A1
int AddressArrayA0 [8] = {0,1,1,1,0,0,0,0}; // масив адрес A0

int Reset0 = 11; // вихід «початковий стан» БК2 №11
int Start = 12; // вихід «Запуск» БК2 №12
int Synchro = 13; // // вихід «Синхронізація» БК2 №13

int Reset1= 4; // вихід «Початковий стан» БК2 №14
int TI = 3; // вихід «Синхронізація» БК2 №15
int AdrA1 = 2; // вихід «Адреса» A1
int AdrA0 = 1; // вихід «Адреса» A0
int AdrA0 = 5; // вихід «Вхід» №20

void setup()
{

    pinMode(Reset0, INPUT);    // встановлюємо режими роботи портів
    pinMode(Start, INPUT);
    pinMode(Synchro, INPUT);

    pinMode(Reset1, OUTPUT);
    pinMode(TI, OUTPUT);
    pinMode(AdrA1, OUTPUT);
    pinMode(AdrA0, OUTPUT);
    pinMode(Etalon, OUTPUT);

}

void loop()
{

```

```

//Встановлення у початковий стан Блока керування 2

Value1 = digitalRead(Reset0); // зчитуємо значення входу Початковий стан
Value2 = digitalRead(Start); // зчитуємо значення входу Запуск
Value2 = digitalRead(Synchro); // зчитуємо значення входу Синхронізація
if (Value1= 0 and Value2 =1 and Value3 =1)
{

// Встановлення у початковий стан кореляційної матриці

digitalWrite(Reset1, 1);
delay (500);
digitalWrite(Reset1, 0);

// Запуск роботи блока керування

Value = EEPROM.read(address); // запис першого еталонного значення
address++; // Перехід на наступний елемент

digitalWrite(TI, 1); //синхронізація
delay (500);
digitalWrite(TI, 0);
digitalWrite(Etalon, Value);

// Попіксельна передача еталонних зображень
// Цикл зсувів інформації в кореляційній матриці

for (int i = 0; i < 8; i++)
{
EEPROM.get (address, value); //отримуємо значення еталону
address ++; // збільшуємо адресу

addressA1= AddressArrayA1[i]; // Зчитуємо адресу A1
addressA0= AddressArrayA0[i]; // Зчитуємо адресу A0

digitalWrite(AdrA1, addressA1); // Встановлюємо вихід «Адреса» A1
digitalWrite(AdrA0, addressA0); // Встановлюємо вихід «Адреса» A0
digitalWrite(Etalon, Value); // передаємо значення пікселя

digitalWrite(TI, 1); //синхронізація
delay (500);
digitalWrite(TI, 0);
}
}

```


Оскільки алгоритм функціонування оптоелектронної системи є нескладним (рис.2.2), то основні сигнали керування у блоці керування необхідно сформувати тільки для зсуву інформації у блоці кореляційної матриці згідно з розгорткою еталонного зображення (рис.2.4 в).

3 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

3.1 Блок-схема алгоритму кореляції

Алгоритм кореляції можна розділити на 4 етапи. Перший етап - це етап, на якому виконується перевірка еталонного зображення (рис. 3.1).

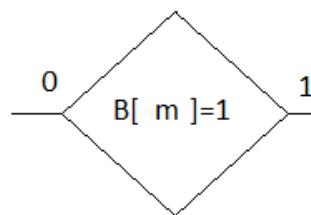


Рисунок 3.1 –Перевірка еталонного зображення

Другий етап - це етап, на якому виконується зсув матриці (рис. 3.2).

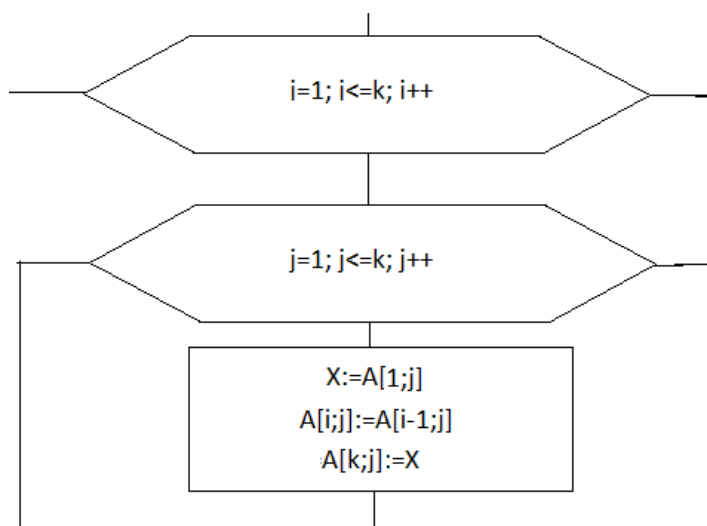


Рисунок 3.2 –Зсув матриці

На третьому етапі відбувається додавання зсунутої матриці та попередньої матриці якщо значення елемента еталонного зображення «1» (рис. 3.3).

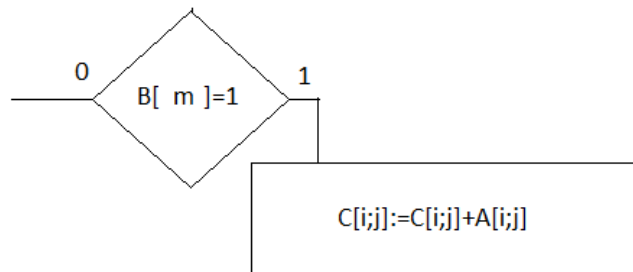


Рисунок 3.3 – Додавання матриць

На четвертому етапі виконується перевірка - якщо елементи матриці “наклалися” один на одного то поточний елемент стає «1» усі інші елементи стають «0» (рис. 3.4).

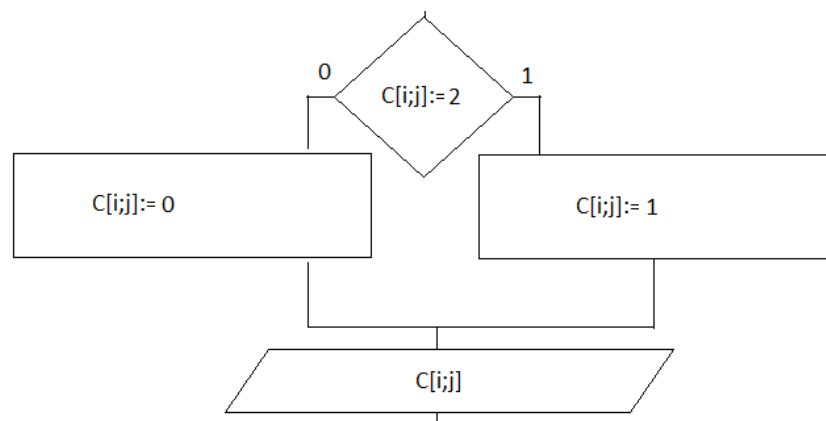


Рисунок 3.4 – Перевірка елементів матриці.

Блок-схему алгоритму можна умовно поділити на 5 частин, кожна частина це зсув матриці в сторону. 1 частина зсуває матрицю вліво, 2 – вниз, 3 – вправо, 4- вверх і 5 – знову вліво. На рис. 3.5 зображено блок-схема алгоритму для зсуву матриці вправо для двох елементів еталонного зображення.

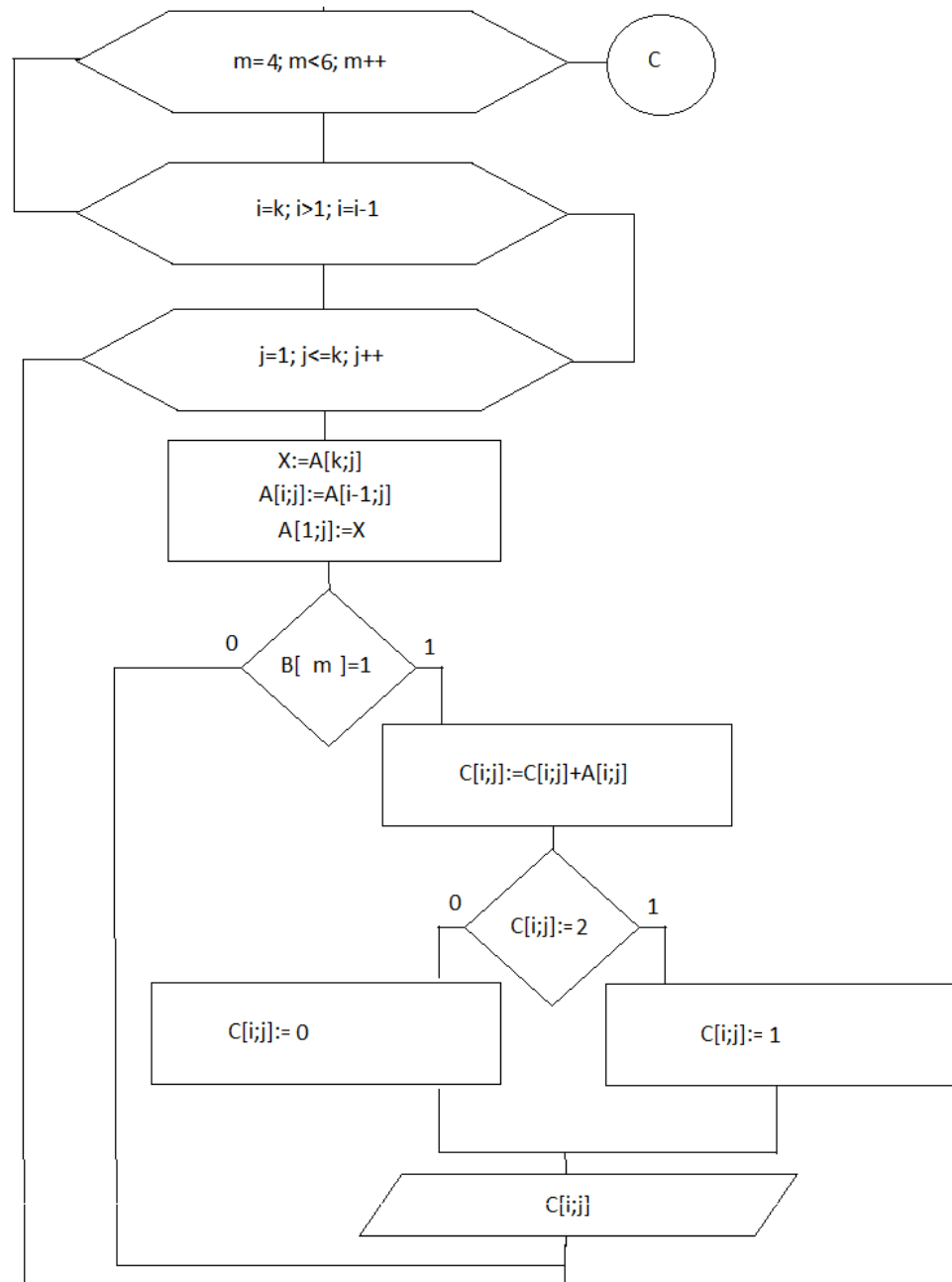


Рисунок 3.5 - Блок-схема алгоритму зсуву матриці вправо

Блок-схема алгоритму кореляції наведена у додатку Ж.

3.2 Результати імітаційного моделювання алгоритму кореляції

Результат роботи програми виводиться на екран. На рис. 3.7 наведено результат роботи програми кореляційної обробки бінарних зображень.

```

Вхідні дані:
0000000 010
0000100 111
0001001 010
0111111
0001001
0000100
0000000

Результат роботи програми:

k=0          k=1
0000000     0000000
0000100     0000000
0001001     0000000
0111111     0111110
0001001     0000000
0000100     0000000
0000000     0000000

k=3          k=5
0000000     0000000
0000000     0000000
0000000     0000000
0001000     0001000
0000000     0000000
0000000     0000000
0000000     0000000

k=7
0000000
0000000
0000000
0001000
0000000
0000000
0000000

```

Рисунок 3.7 –Результат роботи програми

Інформаційні пікселі бінарного зображення позначені одиницею, формат поточного зображення – матриці розмірністю 7×7 елементів, а формат еталонного зображення – матриця розмірністю 3×3 елементи. На рис.3.7 наведено п'ять робочих тактів: нульовий, перший, третій, п'ятий та сьомий. На сьомому такті сформовано одиничне значення, яке відповідає місцезнаходженню центра еталонного зображення на полі поточного зображення. Отриманий результат кореляційної обробки двох бінарних зображень співпадає з результатом, наведеним на рис.2.8.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Технологічний аудит розробки

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.

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

Проведемо технологічний аудит виконаної нами роботи. Технологічний аудит передбачає оцінювання технічного рівня даної розробки та визначення потенційних можливостей її комерційного використання. Для проведення технологічного аудиту скористаємося експертним методом. Для цього запросимо 3-х експертів які є фахівцями у даній галузі науки і техніки, мають значний досвід роботи, тривалий час займаються вивченням даної проблеми, мають вагомні наукові здобутки у даній галузі: Вінницький національний технічний університет, факультет комп'ютерних систем та автоматики, кафедра лазерної та оптикоелектронної техніки к.т.н., доцента Кожем'яко А.В., д.т.н., професора Мартинюк Т.Б., та к.т.н., доцента Тарновського М.Г.

Оцінювання комерційного потенціалу розробки будемо здійснювати за 12-ю критеріями наведеними в таблиці 4.1.

Щоб визначити загальний рівень комерційного потенціалу нашої розробки, скористаємося даними таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 - Критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено робоздатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів

Продовження таблиці 4.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-тер.	0	1	2	3	4
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкурентів немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві

Продовження таблиці 4.1

Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-тер.	0	1	2	3	4
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Таблиця 4.2 - Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів СБ, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 - 10	Низький
11 - 20	Нижче середнього
21 - 30	Середній
31 - 40	Вище середнього
41 - 48	Високий

Результати оцінювання комерційного потенціалу нашої розробки, зробленого запрошеними експертами, зведемо в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 - Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали експерта		
	Кожем'яко А.В.	Тарновський М.Г	Мартинюк Т.Б.
	Бали виставлені експертами		
1	2	2	2
2	3	3	4
3	2	3	3
4	3	3	2
5	2	3	3
6	2	1	2
7	3	2	3
8	3	4	3
9	3	3	4
10	4	3	3
11	4	3	4
12	4	3	4
Сума балів	СБ і = 35	СБ2 = 33	СБ3 = 37

Середньоарифметична сума балів $СБ_{сер}$:

$$СБ_{сер} = \frac{\sum_1^3 СБ_i}{3}$$

де СБ – сума балів за кожним експертом;

n – кількість експертів.

$$СБ_{сер} = \frac{35 + 33 + 37}{3} = 35$$

Оскільки середньоарифметична сума балів, що їх виставили експерти, складає 35 балів, то, керуючись даними таблиці 4.2, можна зробити висновок, що розроблена нами модель пристрою для ранжування чисел має рівень комерційного потенціалу, який вважається „вище середнього”.

Високий технологічний рівень нашої розробки пояснюється тим, що розроблена нами модель пристрою для аналізу зображень має ширші функціональні можливості.

4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи

Прогнозування витрат на виконання нашої наукової роботи складається з таких етапів:

1-й етап: розрахунок витрат, які безпосередньо стосуються виконавців даного розділу роботи

2-й етап: розрахунок загальних витрат на виконання всієї роботи.

3-й етап: прогнозування загальних витрат на виконання та впровадження результатів всієї роботи.

1-й етап:

1. Витрати на основну заробітну плату розробників (дослідників) розраховують за формулою:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ грн.}, \quad (4.1)$$

де M - місячний посадовий оклад конкретного розробника, грн.

T_p - число робочих днів в місяці; прийmemo $T_p = 22$ днів;

t_i - число робочих днів роботи розробника (дослідника).

Зроблені розрахунки зведемо до таблиці:

Таблиця 4.4 – Основна заробітна плата розробників

Найменування посади виконавця	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на оплату праці, грн.	Примітка
1. Керівник роботи	12000	545,45	10	2 727	
2. Інженер	5000	227,3	50	10 228,5	
Всього				$Z_o = 12\,955,5$	

Витрати на заробітну плату розробнику за формулою 4.2:

$$Z_{ок} = \frac{12000 \cdot 10}{22} = 5\,455 \text{ грн.} \quad (4.2)$$

$$Z_{oi} = \frac{5000 \cdot 50}{22} = 11\,364 \text{ грн.}$$

1. Витрати на основну заробітну плату робітників що виготовляють один виріб Z_p розраховуються за формулою 4.3.

Заробітна плата робітників Z_p , які виконують роботи за робочими професіями:

$$Z_p = \sum_1^n t_i \cdot C_i \text{ грн.,} \quad (4.3)$$

де n - число робіт за видами та розрядами;

t_i – норма часу (трудомісткість) на виконання конкретної роботи, годин;

C_i - погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, який виконує дану роботу.

C_i визначається за формулою:

$$C_i = \frac{M_m \cdot K_i}{T_p \cdot T_{зм}} \text{ грн/год,} \quad (4.4)$$

де M_m – розмір мінімальної заробітної плати за місяць, грн.

K_i – тарифний коефіцієнт робітника відповідного розряду.

$T_{зм}$ - тривалість зміни

Для робітника, що виконує задачі алгоритмізації погодинна тарифна ставка за формулою 4.4 становить:

$$C_i = \frac{4173 \cdot 1,5}{22 \cdot 8} = 35,5 \text{ грн/год}$$

Витрати для даного робітника на основну заробітну за формулою 4.3

$$З_p = 35,5 \cdot 15 = 532,5 \text{ грн.}$$

Величина витрат на інших робітників подана в таблиці 4.5.

Витрати на основну заробітну плату робітників:

$$З_p = 35,5 \cdot 15 + 30,8 \cdot 5 + 30,8 \cdot 5 + 35,5 \cdot 10 = 1\,195,5 \text{ грн.}$$

2. Таблиця 4.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість операції, годин	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн.	Величина оплати, грн.
1. Алгоритмізація	15	7	1,5	35,5	532,5
2. Монтування	5	4	1,3	30,8	154
3. Тестування	5	4	1,3	30,8	154
4. Налагодження	10	7	1,5	35,5	355
Всього					1 195,5

3. Додаткова заробітна плата Z_d всіх розробників та робітників, які брали участь в розробці кореляційної системи розраховується як 10% від основної заробітної плати розробників, тобто:

$$Z_d = 0,1 \cdot (Z_o + Z_p) \text{ грн.}, \quad (4.5)$$

$$Z_d = 0,1 \cdot (12\,955,5 + 1\,195,5) = 1415,1 \text{ грн}$$

4. Нарахування на заробітну плату $H_{зп}$ розробників та робітників, які брали участь у виконанні даної НДДКР, розраховуються за формулою:

$$H_{зп} = (Z_o + Z_p + Z_d) \cdot \frac{\beta}{100}, \quad (4.6)$$

де Z_o - основна заробітна плата розробників, грн. ;

Z_p – основна заробітна плата робітників, грн.;

Z_d – додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.;

β - ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, яка на даний момент становить 22%.

Так як клас розробка даного приладу виконується при ВНТУ, розраховуємо нарахування а заробітну плату $H_{зп}$ розробників та робітників наступним чином:

$$H_{зп} = (12\,955,5 + 1\,195,5 + 1415,1) \cdot \frac{22}{100} = 3424,5 \text{ грн}$$

5. Розрахуємо амортизацію обладнання A , які використовувалися для виконання НДДКР.

Дані відрахування розраховані по кожному виду обладнання. У спрощеному вигляді відрахування на амортизацію не матеріальних ресурсів A можуть бути розраховані за формулою:

$$A = \frac{Ц \cdot H_a}{100} \cdot \frac{T}{12} \text{ грн.}, \quad (4.7)$$

де $Ц$ – загальна балансова вартість всього обладнання, що використовують для виконання НДДКР, грн.;

H_a – річна норма амортизаційних відрахувань (для нашого випадку складає 10%);

T - термін використання обладнання, місяці.

Для прикладу проведемо розрахунок амортизаційних відрахувань на не матеріальний актив - пакет прикладних програм C++:

$$A = \frac{8000 \cdot 10}{100} \cdot \frac{3}{12} = 200 \text{ грн.}$$

Та на комп'ютер балансова вартість якого становить 8000 грн., термін його корисного використання згідно податкового законодавства становить 2 роки, а термін його фактичного використання – 2 міс.

$$A = \frac{8000}{2} \cdot \frac{2}{12} = 666,67 \text{ грн.}$$

Програмне забезпечення яке розповсюджується на безкоштовній основі, наприклад як оперативна система Лінукс, не зазначаємо як в витратах так і в амортизації.

Аналогічно визначаємо амортизаційні витрати на інше обладнання та приміщення. Розрахунки заносимо до таблиці 4.6. Для розрахунку амортизації нематеріальних ресурсів використовується формула:

$$A_{н.р} = Ц_{н.р} \cdot N_a \cdot \frac{t_{вик.}}{12} \quad (4.8)$$

Норму амортизації N_a прийmemo за 10 %.

6. Витрати на матеріали визначаються за формулою:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot Ц_i \cdot K_i - \sum_1^n B_i \cdot Ц_в \quad (4.9)$$

Де n – кількість видів матеріалів;

H_i – витрати матеріалу i -го найменування, (кг);

$Ц_i$ – вартість матеріалу i -го найменування, (грн./кг);

K_i – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_i = 1,1$);

B_i – маса відходів матеріалу i -го найменування, (кг);

$Ц_в$ - ціна відходів матеріалу i -го найменування, (грн./кг).

Таблиця 4.6 - Амортизаційні відрахування не матеріальних і матеріальних ресурсів

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання років	Термін використання, міс.	Амортизаційні відрахування, грн.
1. Комп'ютер	8000	2	2	666,67
3. Приміщення	110000	20	2	1833,3
4. Спец. засоби для тестування та налагодження	7000	3	2	388,8
5. Пакет прикладних програм С++ Builder	8000	3	2	200
Всього				3 089,77

Для прикладу проведемо розрахунок витрат на склотекстоліт:

$$M_c = (0,7 \cdot 80 \cdot 1,1) - (0,15 \cdot 12) = 59,8$$

Отримані розрахунку витрат на матеріали занесемо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу	Ціна за 1 кг., грн.	Витрачено, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн.	Вартість витрат грн
Склотекстоліт	80	0,7	0,15	12	59,8
Припій	18	0,8	0,1	0,95	15,75
Каніфоль	45	0,6	0,2	0,12	29,67
Спирт	35	1	0,05	1,12	38,45
Всього					143,67

7. Витрати на комплектуючі K , що були використані на виготовлення розробки, розраховуються за формулою:

$$K = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i \text{ грн} \quad (4.10)$$

Де n – кількість видів комплектуючих,

H_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт.;

C_i – ціна комплектуючих i -го виду, грн;

K_i - коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = 1,1$.

Розрахунок комплектуючих витрат на матрицю світлодіодів 1088 AS:

$$K_{д} = 59 \cdot 1 \cdot 1,1 = 64,9 \text{ грн}$$

Таблиця 4.8 – Витрати на комплектуючі з врахуванням коефіцієнту транспортних витрат

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн.	Сума, грн.
Матриця світлодіодів 1088 AS	1	59	64.9
Arduino UNO	1	120	132
RS - тригер	10	10	110
Логічний елемент НІ	10	6	66
Логічний елемент І	10	6	66
Логічний елемент АБО	10	7	77
Всього <i>K</i>			515,9

8. Витрати на силову електроенергію V_e розраховуються за формулою 5.10:

$$V_e = V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_n \text{ грн.}, \quad (4.11)$$

Де V - вартість 1 кВт-години електроенергії, (у 2019 р. - 8,44 грн);

P - установлена потужність обладнання, кВт;

Φ - фактична кількість годин роботи обладнання (350 години);

K_n - коефіцієнт використання потужності, (0.6);

$$V_e = 8,44 \cdot 0,2 \cdot 350 \cdot 0,6 = 354,5 \text{ грн.}$$

9. Розрахуємо інші витрати $V_{ін}$, що охоплюють витрати на управління організацією, оплату службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, охорону праці.

Інші витрати приймемо як 100% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які виконували дану НДДКР, тобто:

$$V_{ін} = 1 \cdot (Z_o + Z_p) \quad (4.12)$$

$$V_{ін} = 1 \cdot (12\,955,5 + 1\,195,5) = 14\,151$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати:

$$\begin{aligned} V &= 12\,955,5 + 1\,195,5 + 3\,424,5 + 3\,089,77 + 143,67 + 515,9 + 354,5 + 14\,151 = \\ &= 35\,830,34 \text{ грн.} \end{aligned}$$

2-й етап: передбачає розрахунок загальних витрат виконання даної роботи всіма виконавцями.

Загальна вартість всієї НДДКР визначається за формулою:

$$V_{заг} = \frac{V}{\alpha} \text{ грн} \quad (4.13)$$

де α - частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даної НДДКР, у відносних одиницях. Тоді:

$$V_{заг} = \frac{35\,830,34}{1} = 35\,830,34 \text{ грн.}$$

3-й етап: передбачає прогнозування загальних витрат на розробку та впровадження результатів виконаної роботи.

Прогнозування загальних витрат ЗВ на виконання та впровадження результатів виконаної наукової роботи здійснюється за формулою:

$$ЗВ = \frac{В_{заг}}{\beta} \quad (4.14)$$

Де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної НДДКР:

$$ЗВ = \frac{35\,830,34}{0,4} = 89\,575,85$$

Прогнозовані витрати на розробку пристрою оптоелектронна система становлять приблизно 90 тис. грн.

4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

У даному підрозділі кількісно спрогнозуємо, яку вигоду можна отримати у майбутньому від впровадження результатів виконаної наукової роботи. Розрахуємо збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta\Pi_i$, для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, за формулою:

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta C_0 \cdot N + C_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\nu}{100}\right) \quad (4.15)$$

де N – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;

ΔN – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки;

$\Delta Ц_0$ - покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році;

$Ц_0$ - основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;

n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки;

λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. Ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

p – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту, $p = 0,3$;

u – ставка податку на прибуток. У 2019 році — 18%.

Припустимо, що при прогнозованій ціні 3000 грн. за одиницю виробу, термін збільшення прибутку складе 3 роки. Після завершення розробки і її вдосконалення, можна буде підняти його ціну на 300 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року — на 700 шт., протягом другого року — на 500 шт., протягом третього року на 300 шт. Реалізація продукції до впровадження результатів наукової розробки складала 1000 шт.,

Потрібно спрогнозувати збільшення чистого прибутку підприємства від впровадження результатів наукової розробки у кожному році відносно базового.

Збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta \Pi_i$ протягом першого року складе:

$$\Delta\Pi_1 = \sum_i^n (3000 \cdot 1000 + (3000 + 300) \cdot 700) \cdot 0,8333 \cdot 0,2 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right)$$

$$= 725\,670,97 \text{ грн.}$$

$$\Delta\Pi_2 = \sum_i^n (3000 \cdot 1000 + (3000 + 300) \cdot (700 + 500)) \cdot 0,8333 \cdot 0,2 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) =$$

$$= 951\,161,95 \text{ грн.}$$

$$\Delta\Pi_3 = \sum_i^n (3000 \cdot 1000 + (3000 + 300) \cdot (700 + 500 + 300)) \cdot 0,8333 \cdot 0,2 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 1\,086\,456,54 \text{ грн.}$$

4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності

При оцінці ефективності інноваційних проектів передбачається розрахунок таких важливих показників, як чистий дисконтний прибуток та відносна ефективність вкладених в розробку інвестицій.

Спочатку розрахуємо показник чистого дисконтного прибутку за формулою 4.16:

$$E = (\text{ПП} - PV), \quad (4.16)$$

де ПП – приведена вартість всіх чистих прибутків, що отримає підприємство від реалізації результатів наукової розробки, грн.;

PV – теперішня вартість інвестицій PV= ЗВ, грн

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків розраховується:

$$ПП = \sum_i^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t} \quad (4.17)$$

τ – норма дисконту, величина якої залежить від рівня ризику, рівня банківської ставки по вкладам, рівня інфляції, $\tau = 0,2$;

T – термін протягом якого продукція реалізовується на ринку, 3 р;

t – відповідний рік функціонування проекту, в якому очікується прибуток, грн.

Оскільки проміжок розробки рівний чотирьом місяцям в масштабі 3 років є відносно малим то ми нехтуємо ним при розрахунку приведеної вартості всіх чистих прибутків.

$$ПП = \frac{725\,670,97}{(1+0,2)^1} + \frac{951\,161,95}{(1+0,2)^2} + \frac{1\,086\,456,54}{(1+0,2)^3} = 1\,893\,991,35 \text{ грн.}$$

Вісь часу, що характеризує рух платежів буде мати такий вигляд:

Абсолютна ефективність нашої розробки (при прогнозованому ринку збуту) складе:

$$E_{\text{абс}} = 1\,893\,991,35 - 89\,575,85 = 1\,804\,415,5 \text{ грн.}$$

Розрахунок відносної (щорічної) ефективності вкладених в наукову розробку інвестицій E_B :

$$E_B = \sqrt[T_{\text{ж}}]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{PV}} - 1 \quad (4.18)$$

де $E_{\text{абс}}$ - абсолютна ефективність вкладених інвестицій;

PV - теперішня вартість інвестицій;

$T_{\text{ж}}$ - життєвий цикл наукової розробки, роки.

Для нашого випадку:

$$E_{\text{в}} = \sqrt[3]{1 + \frac{1\,804\,415,5}{89\,575,85}} - 1 = 1,76$$

Далі визначимо ту мінімальну дохідність, нижче за яку кошти в розробку нашого проекту вкладатися не будуть.

У загальному вигляді мінімальна дохідність або мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування $\tau_{\text{мін}}$ визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (4.19)$$

де d - середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках;

f - показник, що характеризує ризикованість вкладень.

Для нашого випадку отримаємо:

$$\tau = 0,14 + 0,05 = 0,19$$

Отже, $E_{\text{в}} > \tau$, тому даним проектом інвестор буде зацікавлений.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій. Він розраховується за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{E_B} \quad (4.20)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{1.76} = 0,57 \text{ років}$$

Для даного проекту термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{\text{ок}}$ що складає 0,57 року свідчить про доцільність фінансування даної наукової розробки.

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, що передують розпізнаванню об'єктів.
2. Розроблено структуру оптоелектронної системи, в якій використано зменшення функціонального навантаження на обчислювальні комірки кореляційної матриці. Це 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. Використання в процесі функціонування блока кореляційної матриці нормалізованої кореляційної обробки дозволяє, по-перше, отримати бінарний кореляційний рельєф з відповідним зменшенням апаратних витрат обчислювальних комірок блока кореляційної матриці, а по-друге, реалізувати візуалізацію бінарного кореляційного рельєфу із застосуванням матриці світлодіодів.
4. Розроблено алгоритм процесу нормалізованої кореляційної обробки зображень, де враховано бінарність поточного та еталонного зображень, а також спосіб розгортки еталонного зображення. Це дозволяє отримати наочність процесу кореляційної обробки даним методом.
5. Розроблено імітаційну модель процесу кореляційної обробки бінарних зображень, результати якої підтверджують слушність запропонованого варіанту реалізації процесу кореляційної обробки на розробленій оптоелектронній системі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Очин Е.Ф. Вычислительные системы обработки изображений / Очин Е.Ф. — Л.: Энергоатомиздат, 1989. — 136 с.
2. Акаев А.А. Оптические методы обработки информации / Акаев А.А., Майоров С.А. — М.: Высш. школа, 1988. — 237 с.
3. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений / Хуанг Т.С., Эклунд Дж. и др.; Под ред. Хуанга Т.С.: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1984. — 224 с.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. / Учебник для вузов. — СПб.: Питер, 2003. — 604 с.
5. Крылов А. Система спутникового непосредственного вещания и цифровизация страны // Технологии и средства связи. — 2009. - №3. — С. 57-59.
6. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы, 2-е изд. - М.: Высшая школа, 1988. - 446 с.
7. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов.— 4-е изд. — М.: Радио и связь, 1986. — 512 с.
8. Кожем'яко В. П. Квантові перетворювачі на оптоелектронних логіко-часових середовищах для око-процесорної обробки зображень. Монографія / В. П. Кожем'яко, Т. Б. Мартинюк, О. І. Суприган, Д. І. Клімкіна — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. - 126 с.
9. Кожемяко В.П. Оптоэлектронный параллелизм в образной обработке информации с выделением признаков / В.П. Кожемяко, Ю.Ф. Кутаев, Ю.А. Сторожук // Оптоэлектронные методы и средства обработки изображений: II Всесоюзная научно-техническая конференция по функциональной оптоэлектронике, 25-28 октября 1987 г.: тезисы докл. - Винница-Тбилиси, 1987. — С. 109-111.
10. Дуда Р. Распознавание образов и анализ сцен / Р. Дуда, П. Харт: пер. с англ. — М.: Мир, 1976. — 511 с.

11. Путьтин Е.П. Обработка изображений в робототехнике / Е.П. Путьтин, С.И. Аверин. - М: Машиностроение, 1990. - 320 с.
12. Системы технического зрения / Под. ред. Д.Е. Охоцинского и В.М, Златкиса. – М.: Наука, 1991. – 200 с.
13. Тимченко Л.І. Сегментація зображень об'єктів за ознаками зв'язаності / Л.І. Тимченко, Я.Г. Скорюкова, С.М. Марков, Д.І. Клімкіна // Наука і освіта 2004: VII Міжнародна науково-практична конференція, 7-9 жовтня 2004 р.: матеріали. – Дніпропетровськ, 2004. – С.14-17.
14. Двоенко С.Д. Задача распознавания образов в массивах взаимосвязанных объектов // Автоматика и телемеханика. – 2004. - №1. - С. 143-158.
15. Лазор Я.І. Програмно-апаратний підхід до техніко-криміналістичних досліджень об'єктів з метою розкриття злочинів / Я.І. Лазор, Б.П. Русин, В.О. Цибочкін // Вісник Львівського інституту внутрішніх справ – 1996. – №3. – С. 208-214.
16. Гиренко А.В. Методы корреляционного обнаружения объектов / А.В. Гиренко, В.В. Ляшенко, В.П. Машталир, Е.П. Путьтин - Харьков: АО «БизнесИнформ», 1996. - 112 с.
17. Апрель Ж. Оптическая голография / Ж. Апрель, А. Арсено, Н. Баласубраманьян: пер.с англ. /Под ред. Колфилда. – Т. 2. М.:Мир,1982.–736 с.
18. Мартинюк Т.Б. Оптоелектронна кореляційна матриця / Т.Б. Мартинюк, Є.О Ходяков, І.Ю. Видмиш // Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС – 2015»: 7-ма міжнар. наук. – техн. конф., 21-23 квітня 2015 р.: Зб. тез. доп. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – С. 17.
19. Светодиодная индикация [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://jurnal.nips.ru/sites/default/files/%D0%90%D0%98%D0%9F%D0%98-2-2016-11.pdf>
20. Матрица светодиодов [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://robotclass.ru/tutorials/arduino-matrix-8x8-max7219>

21. Пат. №95168, МПК G06F 17/00. Корелятор / С.В. Сидорук, С.В. Костюк, Т. Б. Мартинюк; опубл. 10.12.2014, Бюл.№23.
22. Пат. №1674154, МКИ (2005) G06F 15/336. Коррелятор / В. П. Кожемяко, В. Б. Гайда, Ю. Ф. Кутаев, Т. Б. Мартынюк; опубл. 30.08.91.
23. Пат. №1730640, МКИ (2005) G06F 15/336. Коррелятор / В. П. Кожемяко, Ю. Ф. Кутаев, В. Б. Гайда, Т. Б. Мартынюк; опубл. 30.04.92.
24. Мартинюк Т.Б. Нормалізована кореляційна обробка двовимірних зображень / Т.Б. Мартинюк, А. В. Кожем'яко, І. Ю. Видмиш, Д.О. Шаромов// Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. - 2016 - №3 (37). - С. 44-50.
25. Мартинюк Т. Б., Тарасова О. М., Фацілін С. М. Нормалізована кореляційна обробка на оптоелектронному кореляторі // Оптоелектронні інформаційні технології Фотоніка ОДС – 2018: Шоста міжнар. наук. - техн. конф., тези. - Вінниця, 2018. - С. 27.
26. Мартинюк Т.Б. Цифровий матричний корелятор з тороїдальною топологією зв'язків/ Т.Б. Мартинюк, А.М. Гринчук, О.В. Калінін// Вісник ВПІ. – 2001.- №1.- С. 45-48.
27. Грушвицкий Р.И. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики / Р.И. Грушвицкий , А.Х. Мурсаев, Е.П. Угрюмов. - СПб., Россия: БХВ-Петербург, 2002. – С. 175.
28. ATmega328 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega328>

ДОДАТОК А

Вінницький національний технічний університет
Факультет комп'ютерних систем і автоматики
Кафедра лазерної та оптикоелектронної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри лазерної та
оптикоелектронної техніки
д.т.н., професор

_____ Н.І. Заболотна

“ ___ ” _____ 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

Оптикоелектронна система для аналізу зображень з кореляційною матрицею
08-04 МКР.012.00.000.ТЗ
спеціальність 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»
освітня програма «Лазерна техніка та оптоінформатика»

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи
_____ д.т.н., проф. Мартинюк Т.Б.

Виконавець: студент 2 курсу, групи ЛТО-18м
напряму підготовки 152 Метрологія та
інформаційно- вимірювальна техніка
_____ Фацілін С.М.

Вінниця- 2019 р.

1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

Робота виконується на підставі наказу ректора ВНТУ № ____ від “ ____ ” _____ 2019 р. та індивідуального завдання на МКР.

2. Мета та призначення МКР

Метою роботи є вдосконалення структурної організації оптоелектронної системи для кореляційної обробки зображень, а також реалізація базових вузлів оптоелектронної системи з кореляційною матрицею на перспективній елементній базі.

Призначення розробки – виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

3. Вихідні дані для виконання МКР

- розрядність АЦП - не менше 10;
- діапазон температур 0 – 100 °С;
- поточне зображення розмірністю 7x7 елементів;
- еталонне зображення розмірністю 3x3 елементів.
- пакет прикладних програм – С#.
- елементна база - оптоелектронна (матриця світлодіодів);
- розмірність блока кореляційної матриці – кратність 8x8 елементів.

4. Вимоги до виконання МКР

- проаналізувати методи та засоби кореляційної обробки зображень;
- розробити структуру та принцип функціонування оптоелектронної системи для кореляційної обробки зображень;
- розробити структуру і принцип роботи базових вузлів оптоелектронної системи з кореляційною матрицею;
- виконати та проаналізувати результати імітаційного моделювання процесу кореляційної обробки зображення.

5. Джерела розробки

1. Очин Е.Ф. Вычислительные системы обработки изображений / Очин Е.Ф. — Л.: Энергоатомиздат, 1989. — 136 с.
2. Акаев А.А. Оптические методы обработки информации / Акаев А.А., Майоров С.А. — М. : Высш. школа, 1988. — 237 с.
3. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений / Хуанг Т.С., Эклунд Дж. и др.; Под ред. Хуанга Т.С.: Пер. с англ. — М. : Радио и связь, 1984. — 224 с.
4. Пат. №95168, МПК G06F 17/00. Коррелятор / С.В. Сидорук, С.В. Костюк, Т. Б. Мартинюк; опубл. 10.12.2014, Бюл.№23.
5. Пат. №1674154, МКИ (2005) G06F 15/336. Коррелятор / В. П. Кожемяко, В. Б. Гайда, Ю. Ф. Кутаев, Т. Б. Мартинюк; опубл. 30.08.91.

6. Етапи МКР та очікувані результати

№ пп	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Техніко-економічне обґрунтування			Аналітичний огляд літературних джерел, задачі дослідження, розділ 1 ПЗ
2	Оптоелектронна система аналізу зображень			П. 2.1 розділу 2 ПЗ
3	Визначення підходів до структурної побудови системи			П. 2.2 розділу 2 ПЗ
4	Розробка функціональної схеми вузлів системи			Розділ 2.3 – 2.5 ПЗ
5	Розрахунок економічних показників			Розділ 4 ПЗ
6	Оформлення пояснювальної записки та презентації			Пояснювальна записка, презентація

7. Матеріали, що виносяться до захисту МКР

Пояснювальна записка МКР, графічні та ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відгук наукового керівника, анотації до МКР українською та англійською мовами.

8. Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів, оформлення графічної та розрахункової документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії (ДЕК), затвердженої наказом ректора.

9. Вимоги до оформлення МКР

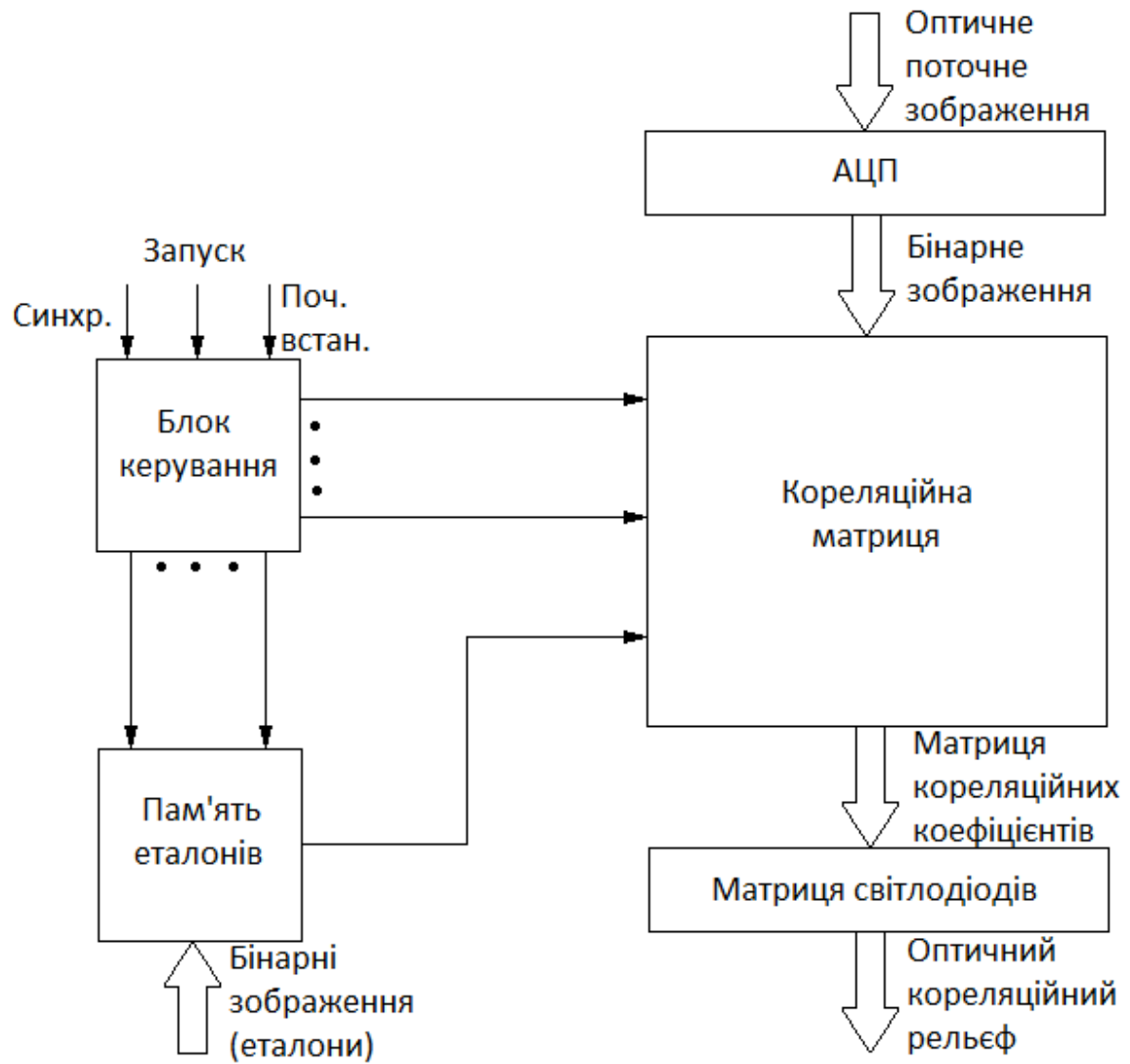
Оформлення магістерської роботи повинно відповідати вимогам, викладеним у ДСТУ 3008:2015 «Документація. Звіти в сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення».

10. Вимоги щодо технічного захисту інформації в МКР з обмеженим доступом

Відсутні.

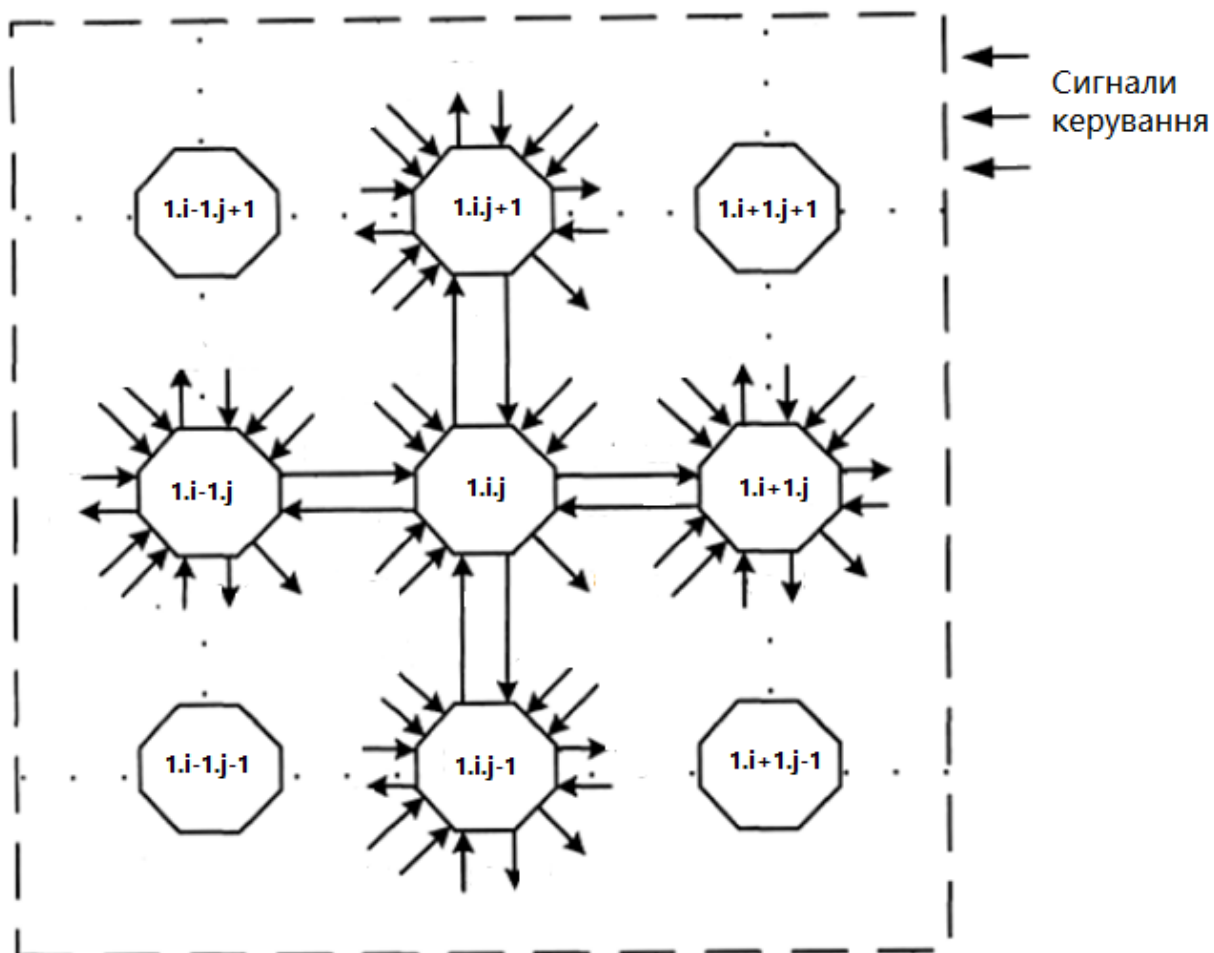
Додаток Б

Структурна схема оптоелектронної системи



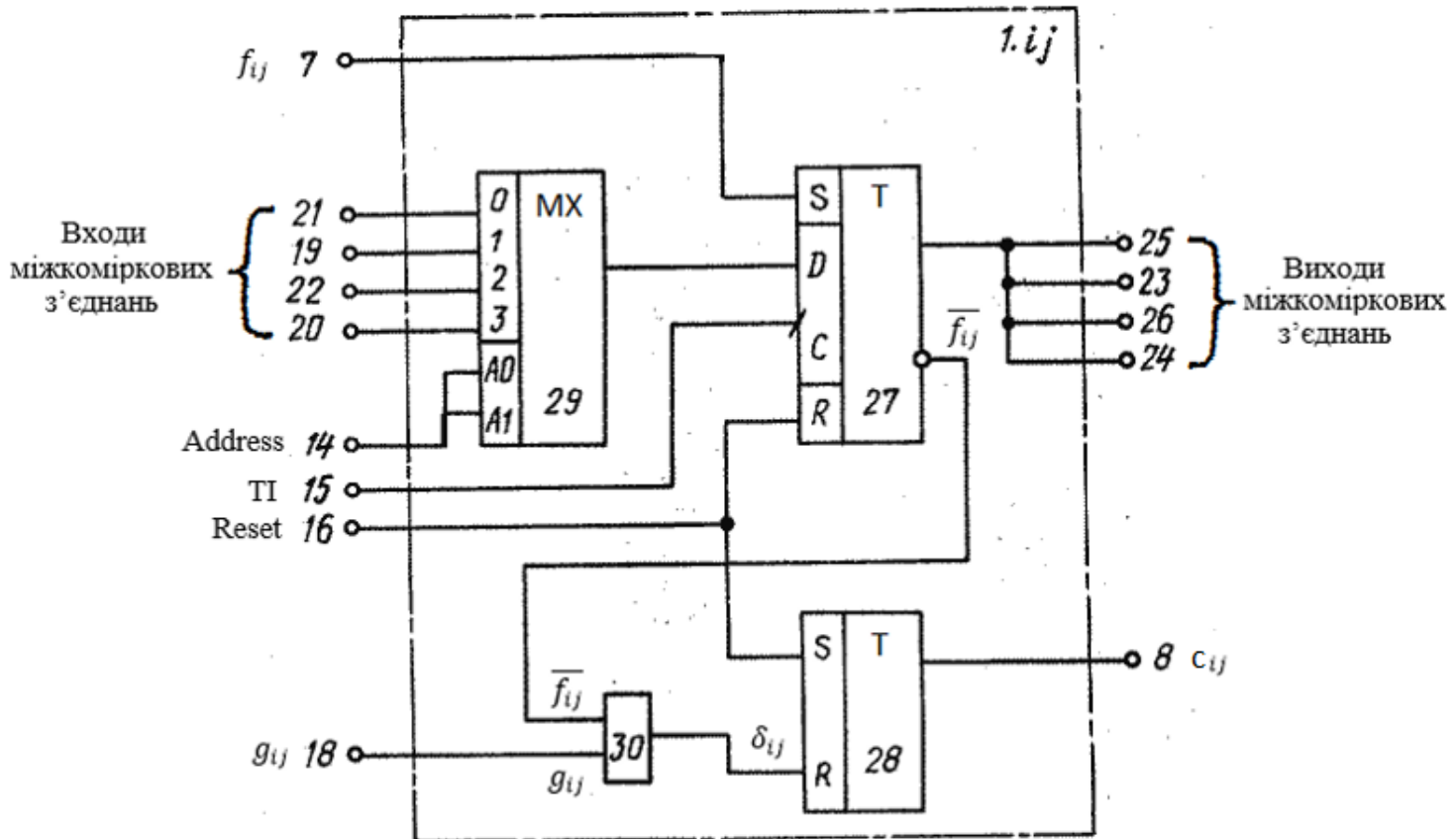
Додаток В

Структура блока кореляційної матриці



Додаток Д

Функціональна схема обчислювальної комірки кореляційної матриці



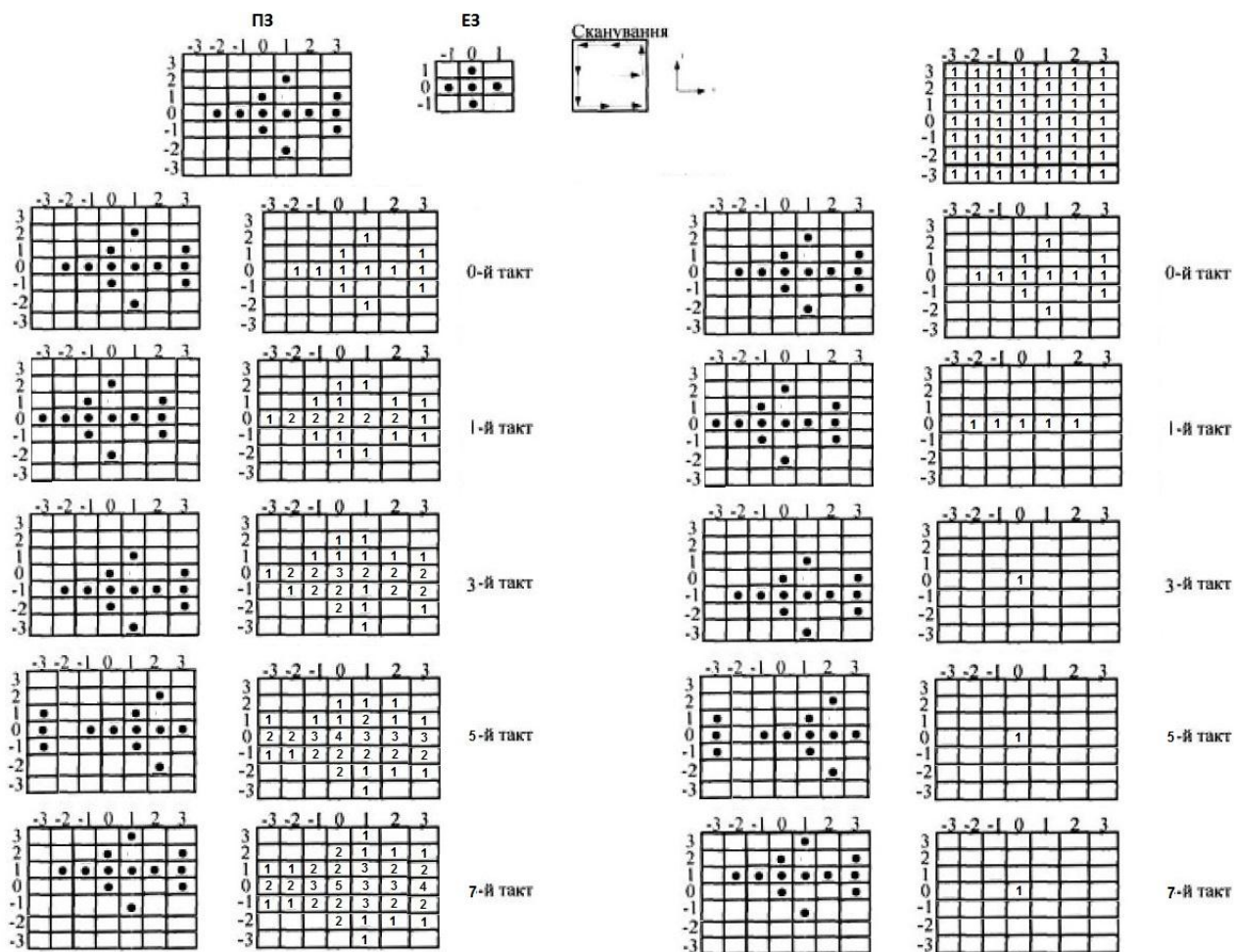
Функція обчислювальної частини комірки блока кореляційної матриці для формування пікселя нормалізованого кореляційного рельєфу:

$$\delta_{ij} = g_{ij} \cdot \overline{f_{ij}}$$

де f_{ij} - елемент (піксель) великоформатного поточного зображення (ПЗ)
 F ; g_{ij} - елемент (піксель) дрібноформатного еталонного зображення (ЕЗ) G .

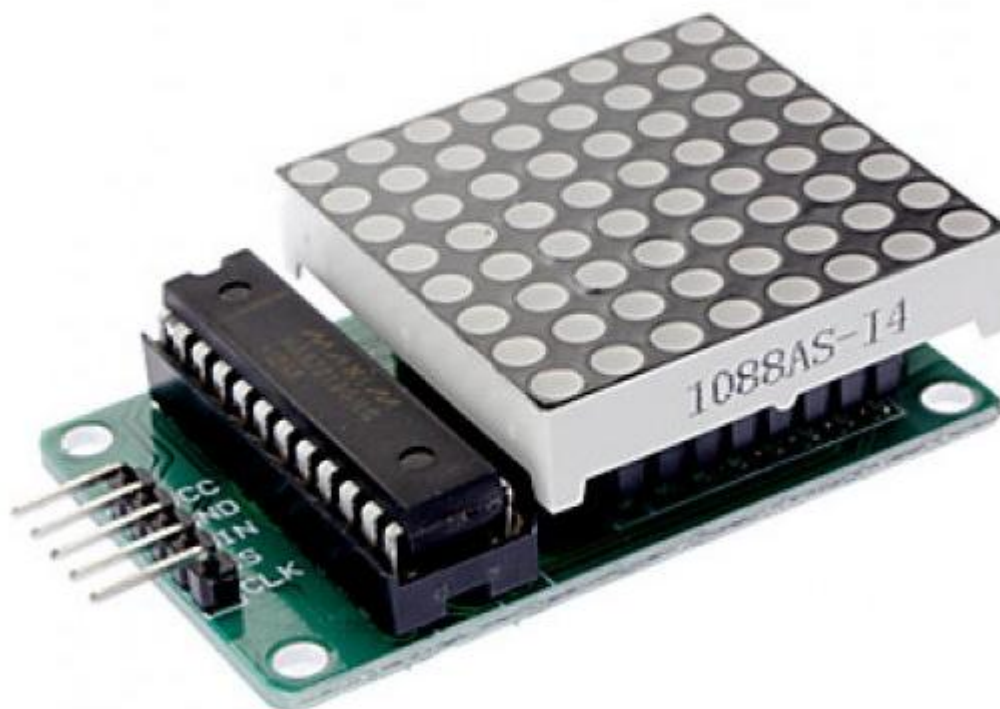
Додаток Е

Приклад кореляційної обробки



Додаток Ж

Матриця світлодіодів 1088AS (мікросхема МАХ7219)

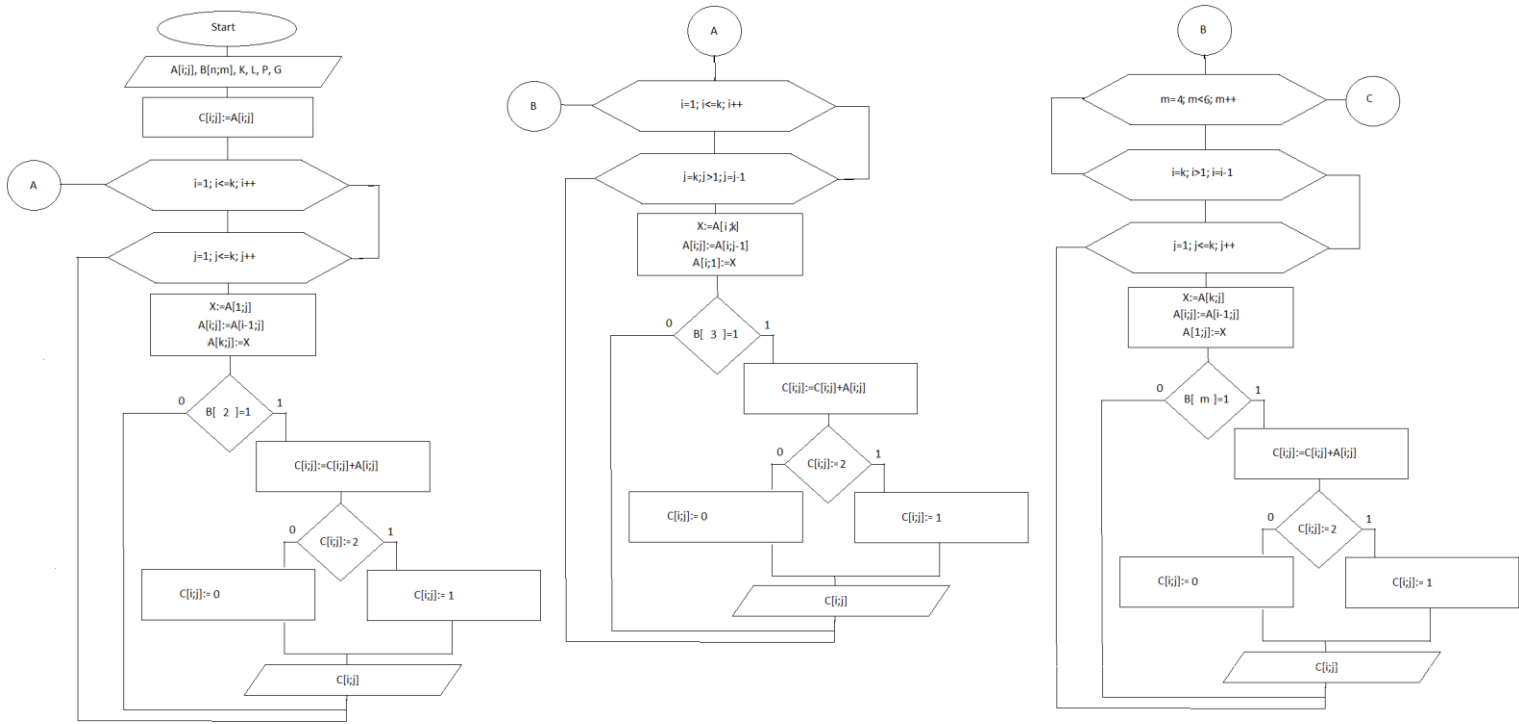


Характеристики модуля матриці світлодіодів

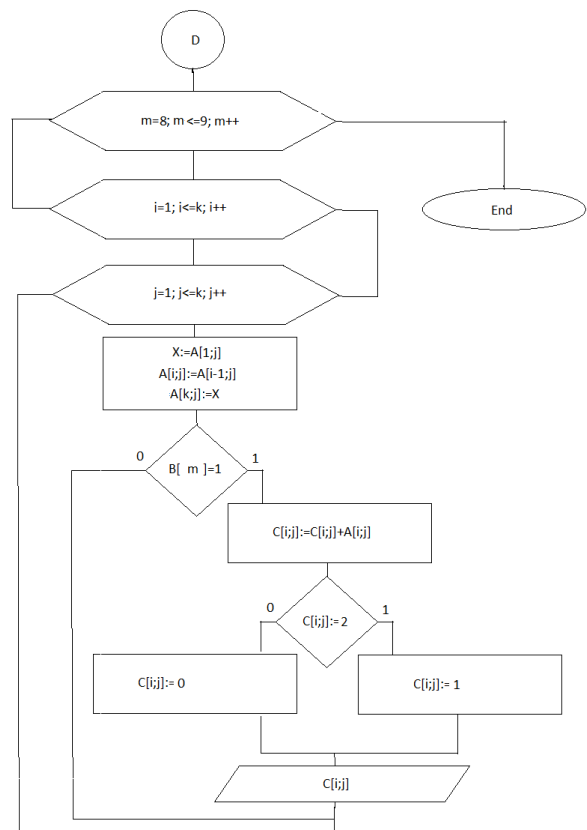
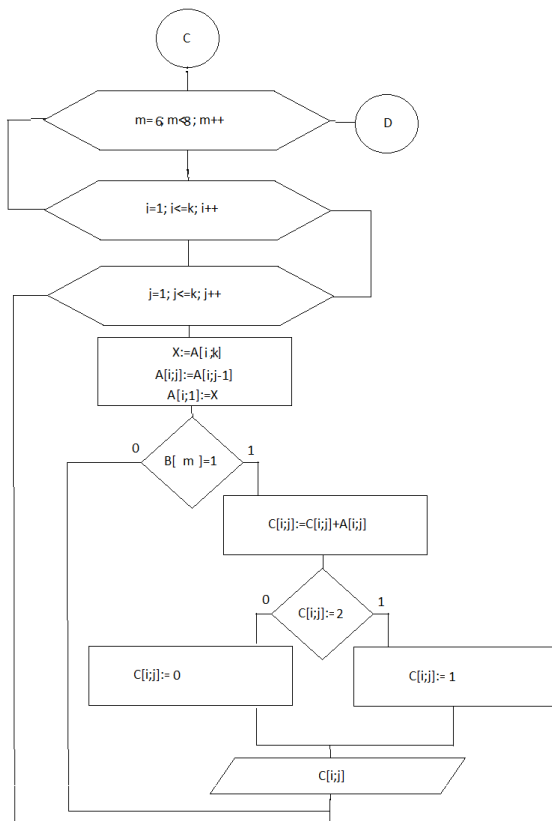
Кількість світлодіодів	8 рядків по 8 світлодіодів в кожному рядку
Колір світіння світлодіодів	червоний
Довжина хвилі	приблизно 625-630 нанометрів
Робочий струм одного світлодіода	20 мА
Довжина	32 мм
Ширина	32 мм
Товщина	8 мм без довжини виводів

Додаток К

Блок-схема алгоритму кореляційної обробки



Продовження блок-схеми алгоритму



Додаток Л

Лістинг програми

```

#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <math.h>
#include <cv.h>
#include <iostream>

int main()
{
    int i,j,m,k,x;
    int A[7][7] =
        {
            {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0},
            {0, 0, 0, 0, 1, 0, 0},
            {0, 0, 0, 1, 0, 0, 1},
            {0, 1, 1, 1, 1, 1, 1},
            {0, 0, 0, 1, 0, 0, 1},
            {0, 0, 0, 0, 1, 0, 0},
            {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0}
        };

    int B[9] = {1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0};

do
{
    for(i=1;i<=k;i++)
        {
            for(j=1;j<=k;j++)
                {
                    X:=A[1;j];
                    A[i;j]:=A[i-1;j];
                    A[k;j]:=X;
                    if(B[2]==1){
                        int C[i;j]:=C[i;j]+A[i;j];
                        If C[i;j] = 2{
                            C[i;j]:=1;
                            printf(" %2.2f",C[i,j]);
                        Else {
                            C[i;j]:=0;
                            printf(" %2.2f",C[i,j]);
                        }
                    }
                }
            }
        }
}

```

```

        }
    }
}
for(i=1;i<=k;i++)
{
    for(j=k;j>1;j=j-1)
    {
        X:=A[i;k];
        A[i;j]:=A[i;j-1];
        A[i;1]:=X;
        if(B[3]==1){
            C[i;j]:=C[i;j]+A[i;j];
            If C[i;j] = 2{
                C[i;j]:=1;
                printf(" %2.2f",C[i,j]);
            }
            Else {
                C[i;j]:=0;
                printf(" %2.2f",C[i,j]);
            }
        }
    }
}
for(m=4;m<6;m++)
{
    for(i=k;i>1;i=i-1)
    {
        for(j=1;j<=k;j++)
        {
            X:=A[k;j];
            A[i;j]:=A[i-1;j];
            A[1;j]:=X;
            if(B[m]=1){
                C[i;j]:=C[i;j]+A[i;j];
                If C[i;j] = 2{
                    C[i;j]:=1;
                    printf(" %2.2f",C[i,j]);
                }
                Else {
                    C[i;j]:=0;
                    printf(" %2.2f",C[i,j]);
                }
            }
        }
    }
}

```

```

    }
  }
}
for(m=6;m<8;m++)
{
  for(i=1;i<=k;i++)
  {
    for(j=1;j<=k;j++)
    {
      X:=A[i;k];
      A[i;j]:=A[i;j-1];
      A[i;1]:=X;
      if(B[m]=1){
        C[i;j]:=C[i;j]+A[i;j];
        If C[i;j] = 2{
          C[i;j]:=1;
          printf(" %2.2f",C[i,j]);
        }
        Else {
          C[i;j]:=0;
          printf(" %2.2f",C[i,j]);
        }
      }
    }
  }
}
for(m=8;m<10;m++)
{
  for(i=1;i<=k;i++)
  {
    for(j=1;j<=k;j++)
    {
      X:=A[1;j];
      A[i;j]:=A[i-1;j];
      A[k;j]:=X;
      if(B[m]=1){
        C[i;j]:=C[i;j]+A[i;j];
        If C[i;j] = 2{
          C[i;j]:=1;
          printf(" %2.2f",C[i,j]);
        }
        Else {
          C[i;j]:=0;
          printf(" %2.2f",C[i,j]);
        }
      }
    }
  }
}
}}}}}}

```

Додаток М

Результати імітаційного моделювання

Вхідні дані:

```

0000000  010
0000100  111
0001001  010
0111111
0001001
0000100
0000000

```

Результат роботи програми:

k=0	k=1	k=3	k=5	k=7
0000000	0000000	0000000	0000000	0000000
0000100	0000000	0000000	0000000	0000000
0001001	0000000	0000000	0000000	0000000
0111111	0111110	0001000	0001000	0001000
0001001	0000000	0000000	0000000	0000000
0000100	0000000	0000000	0000000	0000000
0000000	0000000	0000000	0000000	0000000