

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних електронних систем

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ»

Виконав: студент 2-го курсу, групи МНТ-23м
спеціальності 176 Мікро- та наносистемна
техніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Рябов А.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., професор каф. ІРТС

Семенов А.О.
(прізвище та ініціали)

« 10 » 12 2024 р.

Опонент: к.т.н., проф., професор каф. ІКСТ

Бортник Г.Г.
(прізвище та ініціали)

« 11 » 12 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

« 11 » 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність – 176 Мікро- та наносистемна техніка
Освітньо-професійна програма – Мікро- та наносистемна техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

«16» вересня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Рябову Андрію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Оптико-електронний пристрій для вимірювання геометричних параметрів об'єктів»

керівник роботи д.т.н., проф., професор кафедри ІРТС Семенов А.О.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «17» 09.2024 р. №310.

2. Строк подання студентом роботи 09.12.2024р.

3. Вихідні дані до роботи: напруга живлення 5 В; максимальна дозволяюча здатність 10^{-5} від поля зору; точність визначення координати не більше 50 мкм; час вимірювання не більше 10^{-3} с; споживана потужність не більше 0,5 Вт; конструктивні вимоги до фоточутливої комірки оптико-електронного пристрою - монокристалічний кремнію p-типу глибиною 15 мкм, довжиною 20 мм і шириною 430÷510 мкм.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Аналіз сучасного стану методів і засобів розпізнання оптичного зображення для систем технічного зору. Розроблення методики розбиття аналогового зображення. Розроблення оптико-електронного пристрою на основі мультискану для вимірювання геометричних параметрів об'єктів. Комп'ютерне моделювання та експериментальне дослідження. Економічна частина. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Загальний вигляд мультискану. Еквівалентна схема мультискану. Функціональна схема ввімкнення мультискану в режимі «сканістор». Електрична схема ввімкнення мультискану за схемою «сканістор» в аналоговому режимі. Структурна схема мікроелектронного пристрою для вимірювання геометричних параметрів об'єктів на основі мультискану. Результати дослідження часових діаграм сигналів мультискану. Результати реконструкції яскравості світлової зони за відеосигналом. Результати точності визначення координат середини світлової зони.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	професор каф. ІРТС, професор, д.т.н. Семенов А.О.		
Економічна частина	доцент каф. ЕПВМ, доцент, к.е.н., Кавецький В.В.		

7. Дата видачі завдання 16.09.2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приймає
1.	Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі.	02.09.2024-07.09.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	08.09.2024-16.09.2024	
3.	Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР.	17.09.2024-30.09.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	01.10.2024-20.10.2024	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	21.10.2024-04.11.2024	
6.	Розробка ілюстративної частини МКР.	05.11.2024-15.11.2024	
7.	Економічна частина.	16.11.2024-25.11.2024	
8.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини.	26.11.2024-01.12.2024	
9.	Нормоконтроль.	02.12.2024-09.12.2024	
10.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР.	10.12.2024-11.12.2024	
11.	Захист МКР ЕК.	13.12.2024	

Студент


(підпис)

Рябов А.О.

Керівник роботи


(підпис)

Семенов А.О.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.317

Рябов А. О. Оптико-електронний пристрій для вимірювання геометричних параметрів об'єктів. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 176 Мікро- та наносистемна техніка, освітня програма - Мікро- та наносистемна техніка. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 131 с. На українській мові. Бібліогр.: 37 назв; Табл. 15; Рис. 33.

У магістерській кваліфікаційній роботі розглядаються питання підвищення точності вимірювань та особливості вимірювання геометричних параметрів об'єктів оптико-електронними системами на основі телевізійного мультискану в аналоговому режимі в режимі сканістора. Показано, що згортка вхідного сигналу прямокутного профілю світлової зони з імпульсною характеристикою мультискану пояснює розмиття країв відеосигналу. Величина розмазування повністю визначається імпульсною характеристикою і не залежить від ширини зони. Встановлено, що сигнали дії від вузьких світлових зон суттєво розмиваються відносно їх ширини, і в цьому випадку традиційний метод визначення ширини зони за похідними відеосигналу перестає працювати.

Також у магістерській кваліфікаційній роботі виконані розрахунки економічної частини.

Ключові слова: мультисканування, фотодіодний елемент, мікроелектронний пристрій, відеосигнал, імпульсна характеристика, системи технічного зору.

ABSTRACT

Ryabov A. O. Optoelectronic device for measuring geometric parameters of objects. Master's qualification work in speciality 176 Micro- and nanosystems engineering, educational programme - Micro- and nanosystems engineering: VNTU, 2024. 131 p. In Ukrainian. Bibliography: 37 titles; Table 15; Fig. 33.

The master's qualification work deals with the issues of improving the measurement accuracy and features of measuring the geometric parameters of objects by optoelectronic systems based on television multiscan in analogue mode in the scanner mode. It is shown that the convolution of the input signal of the rectangular profile of the light zone with the impulse response of the multiscan explains the blurring of the edges of the video signal. The amount of smearing is completely determined by the impulse response and does not depend on the width of the zone. It was found that action signals from narrow light zones are significantly blurred relative to their width, and in this case, the traditional method of determining the width of the zone from the video signal derivatives ceases to work.

The master's thesis also includes calculations of the economic part.

Keywords: multiscanning, photodiode element, microelectronic device, video signal, impulse response, technical vision systems.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ РОЗПІЗНАННЯ ОПТИЧНОГО ЗОБРАЖЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ	12
1.1 Постановка задачі розпізнавання оптичного зображення.....	12
1.2 Методи рішення задач розпізнавання.....	15
1.3 Розпізнавання зображень у системах технічного зору	28
1.4 Загальна характеристика проблеми розпізнавання об'єктів і явищ	37
1.5 Висновки до розділу.....	49
2 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗБИТТЯ АНАЛОГОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ.....	51
2.1 Робочий словник ознак систем розпізнавання об'єктів і явищ.....	51
2.2 Розробка алгоритму для виділення ознак зображення в матричній конвеєрній структурі	51
2.3 Розробка схем матричної структури.....	55
2.4 Висновки до розділу.....	64
3 РОЗРОБЛЕННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ НА ОСНОВІ МУЛЬТИСКАНУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ.....	65
3.1 Особливості роботи мультискану за схемою активації «Сканістор»	65
3.2 Особливості роботи мультискану при визначенні геометричних параметрів об'єктів	68
3.3 Розроблення структурної схеми мікроелектронного пристрою для вимірювання геометричних параметрів об'єктів.....	69
3.4 Механізм формування мультисканового відеосигналу на основі його імпульсної характеристики.....	74
3.5 Висновки до розділу.....	76

4 РЕЗУЛЬТАТИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	77
4.1 Узагальнена математична модель оптико-електронного пристрою на основі мультискану	77
4.2 Результати математичного моделювання оптико-електронного пристрою на основі мультискану.....	80
4.3 Результати експериментальних досліджень оптико-електронного пристрою на основі мультискану.....	83
4.4 Висновки до розділу.....	86
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	87
5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки.....	87
5.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки	92
5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи	94
5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором.....	107
5.5 Висновки до розділу.....	112
ВИСНОВКИ	114
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	116
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал	121
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (магістерської) кваліфікаційної роботи.....	130

ВСТУП

Актуальність теми.

Розробку приладів для визначення розмірів і форм промислових об'єктів можна розділити на дві великі групи: контактні вимірювання та безконтактні вимірювання. У сфері безконтактних вимірювань розрізняють оптичні, лазерні та камерні системи. Ці системи мають широке застосування [1-4] і використовуються для вимірювань великих об'єктів або, навпаки, відносно дуже малих.

Розробка та впровадження високошвидкісних систем технічного зору для вирішення різноманітних завдань автоматизації та комплексної механізації виробничих процесів і робототехніки є дуже актуальним завданням [5-8]. Мультискан (МС) – напівпровідниковий аналог кінескопа телевізійної камери – призначений для перетворення розподілу освітленості на його фоточутливій поверхні в електричний відеосигнал (ВС), який використовується для керування, обробки та передачі оптичної інформації в системах технічного зору. , особливо для безконтактного контролю та вимірювання координат, розмірів і переміщень різних об'єктів [9-16]. На відміну від зарядонакопичувальних фотоприймачів скануючого типу (пристроїв із зарядовим зв'язком та фотодіодних інтегральних матриць), телевізійні сканісторні структури типу твердотілого сканістора та багатоелементного МС здатні реєструвати миттєвий розподіл освітленості в широкому діапазоні [12, 14, 17]. Це дозволяє розділяти амплітудно-модульовану інформацію оптичного сигналу в умовах інтенсивного світлового шуму [12, 18, 19]. Широке використання в автоматизованих системах керування заводостійких оптико-електронних пристроїв (МОП) на основі мультискану пояснюється надійністю їх роботи, простотою схем виділення та обробки вимірювальної інформації, компактністю, високими метрологічними та експлуатаційними характеристиками [20-24]. Зокрема, лазерні МОД задовольняють промислові вимоги щодо простоти експлуатації та високих метрологічних характеристик; в

МОД просторове положення об'єкта відображається дзеркальною поверхнею пасивного відбиваючого елемента (дефлектора), встановленого на об'єкті, а робота лазерного МОД заснована на принципі оптичної локації. Слід зазначити, що визначення координат і розмірів об'єкта в промислових умовах є складним завданням і має велике значення [5, 12, 25, 26]. Це показано в [12, 15, 17] про те, що через обмежену крутизну перехідної ділянки фотодіодних осередків мультискану ВАХ відеосигналу від прямокутного профілю світлової зони (LZ) розминається і набуває дзвоноподібної форми. При цьому відеосигнал з вузьких світлових зон настільки розминається відносно їх ширини, що традиційний метод визначення параметрів ЛЗ (координат, ширини та освітленості) за похідними ВС перестає працювати. Актуальність проблеми загострюється у разі вимірювання геометричних параметрів малих об'єктів у стані змазаного зображення [27, 28], наприклад: під час безконтактного контролю діаметрів волокон у процесі їх виготовлення у волокні. оптики, діаметри кабелів у кабельній промисловості, діаметр вузького лазерного променя при його стисненні в лазерних оптико-електронних системах з метою покращення співвідношення сигнал/шум тощо.

Аналіз останніх досліджень і сучасного стану.

Розвиток телебачення, робототехніки, систем автоматичного керування та моніторингу, розпізнавання зображень, створення зорових рецепторів для систем штучного інтелекту безпосередньо пов'язаний із розвитком високочутливих та швидкодіючих систем зору [1-5]. Телевізійні сканісторні конструкції (суцільний сканістор, багатоелементний мультискан) призначені для перетворення просторового розподілу освітлення в електричні сигнали, що використовуються для контролю, обробки та передачі оптичної інформації в системах технічного зору, зокрема для автоматичного безконтактного контролю та вимірювання координат, розміри та переміщення різних об'єктів [6-13]. Слід зазначити, що мультискан (завдяки своїй дискретно-неперервній структурі) забезпечує кращі метрологічні характеристики, ніж сканістор, завдяки низькому рівню темнових струмів, стабільності та високій симетрії

вольт-амперних характеристик фотодіодних комірок, рівномірності світлочутливості, а також за рахунок відсутності позовжньої провідності та більшої лінійності координатної характеристики [14, 15]. Багатoeлементний мультискан дозволяє комплексно мініатюризувати та покращувати метрологічні характеристики радіoeлектронних засобів контролю, обробки та передачі оптичної інформації [16 - 18].

Мета, об'єкт і предмет дослідження.

Метою роботи є підвищення точності вимірювань та особливості вимірювання геометричних параметрів об'єктів оптико-електронними системами на основі телевізійного мультискану в аналоговому режимі сканістора.

Об'єкт дослідження – процес перетворення оптичного зображення в електричні сигнали.

Предмет дослідження – і характеристики оптико-електронного пристрою для вимірювання геометричних параметрів об'єктів.

Задачі дослідження

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішені такі задачі:

1. Аналіз сучасних теоретичних відомостей про перетворювачі оптичного зображення.
2. Розробити структурну схему структурну схему оптико-електронного пристрою для вимірювання геометричних параметрів об'єктів.
3. Виконати електричні розрахунки і розробити електричну схему оптико-електронного пристрою для вимірювання геометричних параметрів об'єктів.
4. Отримати результати дослідження оптико-електронного пристрою для вимірювання геометричних параметрів об'єктів.
5. Здійснити розрахунки економічної частини.

Методи дослідження

У роботі були використані елементи теорії геометричної оптики, інтегральної схемотехніки.

Новизна одержаних результатів

- Встановлено, що використання просторово-структурної моделі відеосигналу дозволяє розширити застосування оптико-електронних пристроїв на основі мультискану для високоточного контролю та вимірювання геометричних параметрів малих об'єктів.

- Встановлено, що ноніусний метод дозволяє проводити прецизійні вимірювання координат, розмірів і переміщень світлових зон шляхом накладення на відеорастр еталонних імпульсів від комірок.

Апробації та публікації.

Отримані результати магістерської кваліфікаційної роботи були апробовані на IX міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (СПРН-2023)», 15-17 листопада 2023 року, м. Вінниця, ВНТУ. Опубліковані 1 стаття в збірнику праць міжнародної науково-технічної конференції [29] та 1 патент на корисну модель України [30].

Обсяг і структура роботи

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 15 таблиць, 33 рисунків і 37 літературних джерел.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ РОЗПІЗНАННЯ ОПТИЧНОГО ЗОБРАЖЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ

1.1 Постановка задачі розпізнавання оптичного зображення

Розпізнавання - це процес асоціації конкретного об'єкта (реалізації) з одним із фіксованого списку образів (класів) відповідно до певного, заздалегідь визначеного правила, яке відповідає наміченій меті.

Це означає, що розпізнавання може бути здійснене будь-якою системою, яка виконує такі функції: вимірювання значень ознак, обчислення, які ведуть до вирішального висновку, і зберігання, яке має функцію організації. Крім того, перелік зображень, їх інформативні характеристики та вирішальні правила або зовнішні, або інтерналізовані системою. Іншою важливою функцією систем розпізнавання є оцінка ризику втрати. Без цієї функції неможливо було б, наприклад, створити оптимальні правила прийняття рішень, вибрати найбільш інформативні ознаки, які використовуються при розпізнаванні, тощо.

Давайте визначимо такі терміни:

$2 \leq S < \infty$ – набір розпізнаваних зображень (типів), який також іноді називають алфавітом

X – вибірковий (однаковий) простір;

N – однаковий об'єм простору (кількість ознак, що характеризують розпізнані об'єкти);;

$D(X)$ – набір правил, які визначають, що визнається реальним, а що приписується зображенням;

R – потенційна втрата об'єкта в процесі розпізнавання.

Кількість розпізнаних шаблонів завжди конкретна і не може бути менше двох. Гіпотетично, звичайно, ви можете розглянути сценарій, але він є виродженим, оскільки всі реалізації посилаються на одне і те ж зображення. Для цього не потрібно розраховувати значення якихось ознак, це легко вирішує проблему розпізнавання, а про практичну значимість рішення важко подбати.

Список зображень можна віднести до системи розпізнавання ззовні (як уже було сказано). Наприклад, якщо система призначена для автоматичного скорочення, то розпізнані зображення вважаються фонемами, компонентами усної мови.

Часто система розпізнавання сама створює список розпізнаних зображень. У письмовій роботі процес позначається як навчання без викладача, самонавчання, кластерний аналіз (тертаксономія). Ця функція зазвичай реалізується в процесі дослідження: природничо-наукова класифікація, аналіз даних, виявлення тенденцій тощо.

Обсяг характерного простору зазвичай зменшується настільки, наскільки це можливо, кількість необхідних розмірів зменшується, обчислення, які визначають і реалізують вирішальні правила, спрощуються, а статистична стабільність результатів розпізнавання підвищується. І навпаки, зменшення викликає збільшення ймовірності збитків. Як наслідок, формування простору ознак є компромісом, який включає два окремі кроки: створення оригінального простору ознак і мінімізацію розмірності простору. В області зменшення розмірності існують формальні процедури, алгоритми та програми.

Для початкового простору його створення все ще базується на інтуїції та досвіді. Основна мета полягає в тому, щоб мінімізувати ризик збитків, одночасно прагнучи мінімізувати збитки.

Імовірність втрати фактично є критерієм, за яким створюється найбільш інформативний простір ознак і найбільш ефективні правила прийняття рішень. Слід вибрати алфавіт і визначити правила, щоб ризик втрати був якомога меншим. Цей критерій (атрибут системи, що розпізнає) є складним. Як правило, він включає комісію за визнані помилки та витрати, пов'язані з вимірюванням визнаних характеристик об'єктів.

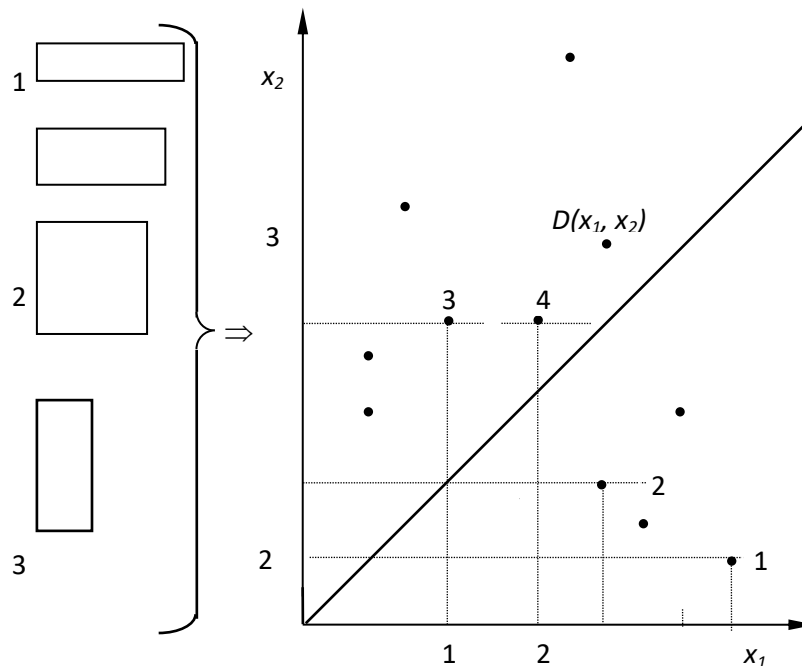


Рисунок 1.1 - Множина прямокутників і їхнє представлення в знаковому просторі

Як наслідок, X можна розглядати як певний розмірний простір із пов'язаною з ним метрикою. Будь-який реалізований об'єкт представлений точкою в цьому просторі. Спроекована точка на i -й осі координат представляє значення i -го атрибута. Наприклад, набір прямокутних бінів зі сторонами, перпендикулярними до координатних осей, може бути представлений набором точок у двовимірному просторі об'єктів (див. рис. 1) за допомогою евклідової метрики відстані, де x_1 є довжиною горизонтальна сторона, а x_2 — довжина вертикальної сторони. Якщо ми хочемо розпізнати два зображення, які мають довжину по вертикалі та горизонталі, то це робить важливе правило у вигляді бісектриси кута в початку координат $D(x_1, x_2)$. Кожна точка (об'єкт), що знаходиться вище - ліворуч від $D(x_1, x_2)$, пов'язана з терміном "вертикально витягнуті прямокутники", кожна точка, яка нижче - праворуч від $D(x_1, x_2)$ пов'язана з терміном «горизонтально витягнуті прямокутники».

1.2 Методи рішення задач розпізнавання

1.2.1 Побудова вирішальних правил

Зразок навчального набору необхідний для створення правил прийняття рішень. Навчальна вибірка — це набір об'єктів, які виводяться зі значень властивостей і чия класифікація, ймовірно, відома «вчителю», потім учитель передає цю інформацію «освітній» системі. На основі навчального набору система створює правила прийняття рішень. Якість вирішальних правил визначається контрольною (екзаменаційною) вибіркою, до якої входять об'єкти, які задані значеннями ознак і асоціація яких з тим чи іншим зображенням викладачеві невідома.

Навчальні та тестові вибірки мають бути достатньо різноманітними щодо генеральної сукупності (гіпотетичний набір усіх можливих об'єктів для кожного зображення).

Для створення правил прийняття рішень система зіштовхується з об'єктами, які є частиною навчального набору.

1.2.2 Метод побудови еталонів

Для кожного класу створюється універсальний стандарт на основі навчальної вибірки, значення якої використовується для визначення ознак

$$\bar{x}^0 = \{x_1^0, x_2^0, \dots, x_N^0\},$$

де
$$x_i^0 = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x_{ik},$$

K — загальна кількість об'єктів у навчальній вибірці, i — номер ознаки.

Власне, це визначення є ідеалізованим середнім для навчального набору (рис. 1.2). Ми називаємо його абстрактним, тому що він може відповідати не лише об'єкту навчальної вибірки, а й об'єкту генеральної сукупності.

Розпізнавання здійснюється наступним чином. Система отримує об'єкт $\bar{x}^*$, який невідомий щодо його зв'язку з жодним із зображень. Від цього об'єкта

вимірюються відстані до еталонів всіх образів, і $\bar{x}^*$ система відносить до того образу, відстань до еталона якого мінімально. Відстань вимірюється в тій метриці, що уведена для рішення визначеної задачі розпізнавання.

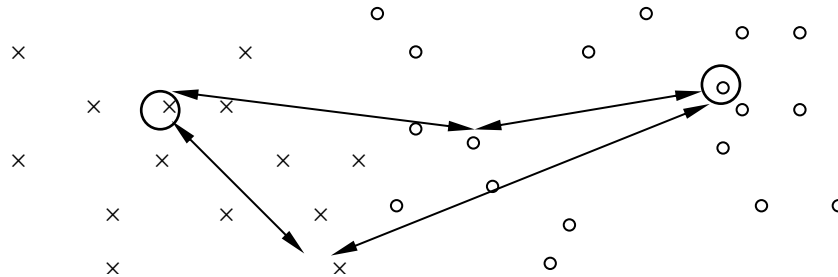


Рисунок 1.2 - Вирішальне правило "Мінімум відстані до еталона класу":

- $\odot_x$ – еталон першого класу,
- $\odot_o$ – еталон другого класу

1.2.3 Метод дробових еталонів

Процес навчання полягає в наступному: на першому кроці навчальна вибірка «перекриває» всі об'єкти кожного типу гіперсферою найменшого можливого розміру. Ви можете досягти цього, наприклад, зробивши так. Для кожного класу будується стандарт. Визначається відстань між еталоном та іншими об'єктами навчальної множини. Вибирається найбільша з цих відстаней

$r_{\max}$.

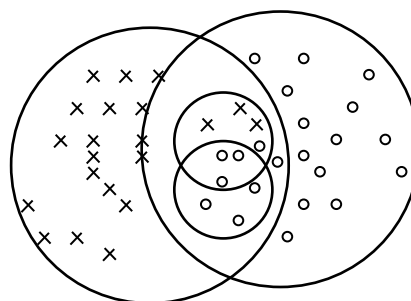


Рисунок 1. 3 - Вирішальне правило типу “Метод еталонів, що дробляться”

Гіперсфера складається з центру, розташованого в еталоні, і радіуса $R = r_{\max} + \varepsilon$. Він охоплює всі об'єкти цього типу. Ця процедура застосовна до всіх класів (зображень). Рисунок 1.3 ілюструє приклад двох зображень, які знаходяться у двовимірному просторі об'єктів.

Якщо гіперсфери з різних зображень перетинаються і множаться, то в зоні перекриття спостерігаються різні зображення, для них будуються гіперсфери з другого рівня, потім з третього рівня і т.д. доки області не перекриватимуться або в зоні перетину не буде лише одного об'єкта, пов'язаного із зображенням.

Розпізнавання здійснюється наступним чином. Визначається положення об'єкта відносно гіперсфер першого рівня. При впливі на об'єкт у гіперсфері, який пов'язаний лише з одним зображенням, процес розпізнавання зупиняється. Якщо під час навчання об'єкт виявлявся поблизу гіперсфер, на яких були об'єкти з кількома зображеннями, то переходили до гіперсфер другого рівня і виконували ті ж дії, що й для гіперсфер першого рівня. Ця процедура триває до тих пір, поки не буде точно встановлено особу невідомого. Однак ця подія можлива. Зокрема, невідомий об'єкт не може бути віднесений до жодної з гіперсфер будь-якого конкретного рівня. У цих випадках «учитель» повинен брати участь у прийнятті відповідних рішень. Наприклад, система може або відмовитися від рішення послідовно приписувати об'єкт зображенню, або використовувати критерій найкоротшої відстані до стандартів попереднього рівня, або будь-що інше.

1.2.4 Лінійні вирішальні правила

Межа між областями різних зображень у просторі ознак описується лінійною функцією (рис.1.4)

$$D(\bar{x}) = \sum_{i=1}^N a_i x_i + a_0.$$

Крім того, друга рамка сегментує частини зображень. Якщо $M > 2$, то необхідні кілька лінійних функцій і межа, загалом кажучи, є кусково-лінійною границею. Для пояснення припустимо $M = 2$. Якщо для колекцій об'єктів виконується умова $D(x^-) > 0$,

Якщо перше зображення насправді є реалізацією першого зображення s_1 , то $D(x) > 0$ для всіх x .

Якщо друге зображення, x^- , є результатом другої процедури, то зображення, s_1 і s_2 , називаються лінійно роздільними.

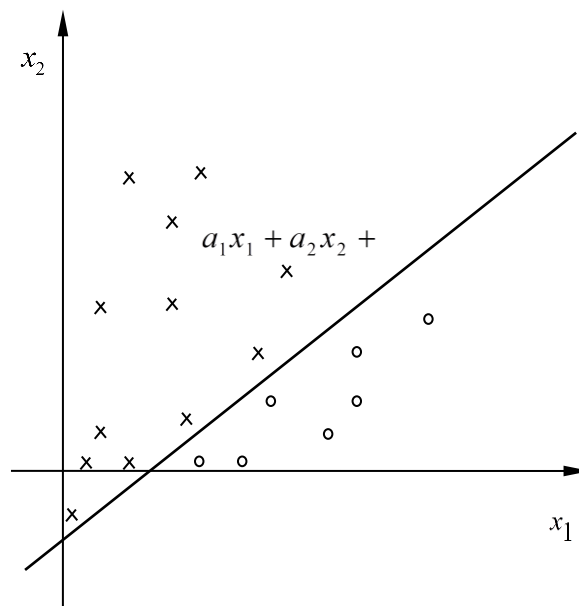


Рисунок 1.4 - Лінійне вирішальне правило для розпізнавання двох образів

Для створення лінійних правил прийняття рішень доступні різні методи. Один із них, створений Розенблатом у 1950-х роках, є пристроєм для розпізнавання зображень під назвою перцептрон, який розпізнає зображення (рис.1.5).

Нехай

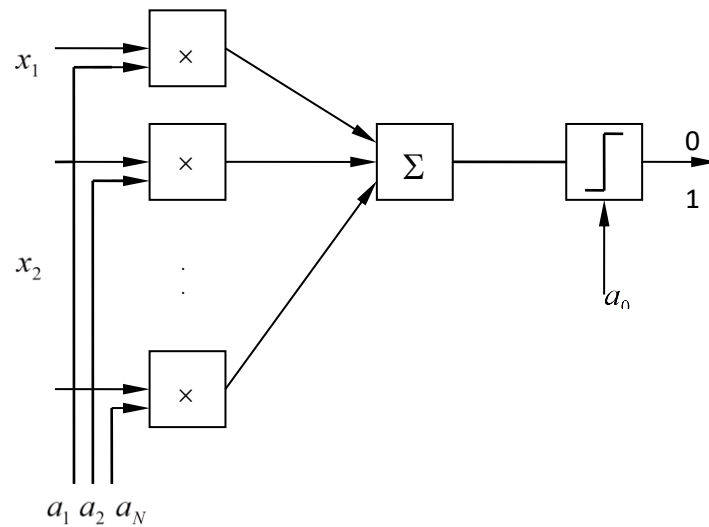


Рисунок 1.5 - Спрощена схема одношарового персептрона

$$D(\bar{x}^*) = \bar{a}^{-T} \bar{x}^* = \sum_{i=0}^N a_i x_i^* \begin{cases} \text{якщо} & \bar{x}^* s_1 > 0, \\ \text{якщо} & \bar{x}^* s_1 < 0, \end{cases}$$

де $\bar{x}^*$ – деякий об'єкт одного з образів, $x_0 = 1$.

Процес вибору $\bar{a}^-$ виконується в кілька кроків. Поточне значення замінюється $\bar{a}^-$ наступного об'єкта в навчальному наборі. Ця зміна базується на такому рівнянні:

1. $\bar{a}' = \bar{a}$, якщо $\bar{x}^* \in s_1$ і $\bar{a}^{-T} \bar{x}^* > 0$ чи якщо $\bar{x}^* \in s_2$ і $\bar{a}^{-T} \bar{x}^* < 0$.
2. $\bar{a}' = \bar{a} + c \bar{x}^*$, якщо $\bar{x}^* \in s_1$ і $\bar{a}^{-T} \bar{x}^* \leq 0$, $c > 0$.
3. $\bar{a}' = \bar{a} - c \bar{x}^*$, якщо $\bar{x}^* \in s_2$ і $\bar{a}^{-T} \bar{x}^* \geq 0$.

Це правило цілком логічне. Якщо черговий об'єкт системою класифікований правильно, то немає основ змінювати $\bar{a}^-$. У випадку (2) $\bar{a}^-$ варто змінити так, щоб збільшити $\bar{a}^{-T} \bar{x}^*$. Запропоноване правило задовольняє цій вимозі. Дійсно,

$$\bar{a}'^{-T} \bar{x}^* = \bar{a}^{-T} \bar{x}^* + c \bar{x}^{*T} \bar{x}^* > \bar{a}^{-T} \bar{x}^* .$$

Відповідно у випадку (3) $\bar{a}'^T \bar{x}^* < \bar{a}^T \bar{x}^*$.

Важливе значення має вибір c . Можна, зокрема, вибрати $c = const$. При цьому показано, що якщо навчальні вибірки двох образів лінійно роздільні, те описана покрокова процедура сходиться, тобто будуть знайдені значення $\bar{a}$, при яких $D(\bar{x}^*) > 0$, якщо $\bar{x}^* \in s_1$, $D(\bar{x}^*) < 0$, якщо $\bar{x}^* \in s_2$.

Якщо вибірки неможливо розділити лінійними середніми (рис. 1.6). Якщо вірно, то збіжності немає, і оцінка, яка мінімізує кількість помилкових розпізнань, виявляється методом стохастичної апроксимації.

1.2.5 Метод найближчих сусідів

Процес навчання в цьому випадку передбачає запам'ятовування всієї сукупності об'єктів з навчальної вибірки. Якщо система розпізнає невідомий об'єкт x^-* , то вона розмістить на малюнку (рис. 1.7) цей об'єкт, «представник» якого був найближчим до всіх x^-* .

Це правило найближчого сусіда. Правило k найближчих сусідів полягає в тому, що створюється гіперсфера об'ємом V з центром у x^-* . Розпізнавання делеговано більшості «представників» на зображенні, які знаходяться в гіперсфері. Тонкість підходу полягає в ретельному виборі об'єму гіперсфери. V має бути достатньо великим, щоб у гіперсферу входила велика кількість «фігур», які представляють різні зображення, і достатньо малим, щоб не згладжувати конкретні деталі поділу межі. Метод найближчого сусіда має недолік, який вимагає збереження всього навчального набору, а не його загального опису. Проте це позитивно впливає на контрольні роботи, особливо з огляду на велику кількість об'єктів, задіяних у навчальному процесі.

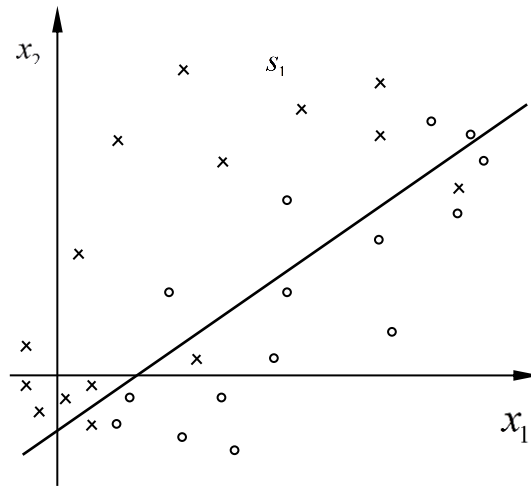


Рисунок 1.6 - Приклад лінійно нероздільних множин

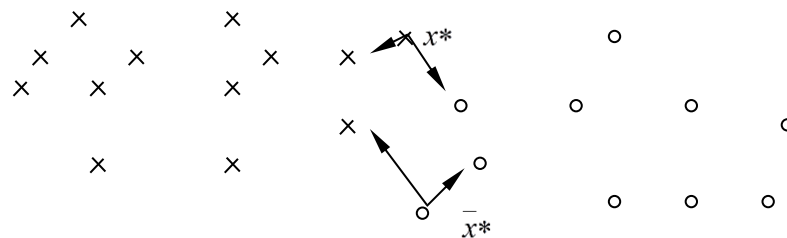


Рисунок 1.7 - Вирішальне правило "Мінімум відстані до найближчого сусіда"

Назва процедури пов'язана з наступною аналогією (для наочності будемо вважати, що розпізнаються два зображення). Розглянемо об'єкти як точки x_j простору X . У цих місцях ми розмістимо такі заряди: $+q_j$, якщо об'єкт є частиною першого зображення, або $-q_j$, якщо об'єкт є частиною другого зображення на рис. 1.8.

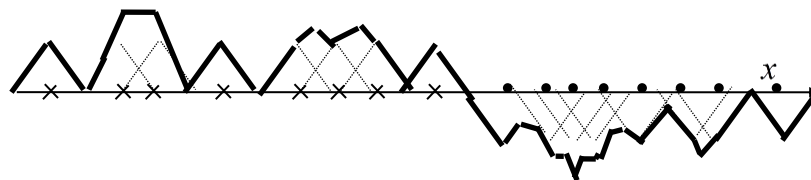


Рисунок 1.8 - Ілюстрація синтезу потенційної функції в процесі навчання

..... — потенційна функція, породжувана одиночним об'єктом;
 — сумарна потенційна функція, породжена навчальною послідовністю

Функція, яка описує розподіл електростатичного потенціалу в цьому полі, може бути використана як потужне правило прийняття рішень (або для його створення). Якщо потенціал точки x^- , створений одним зарядом, розташованим у x_j^- , такий самий, як $K(x^-, x_j^-)$, тоді загальний потенціал у x^- , створений n зарядами, також буде таким самим.

$$g(\bar{x}) = \sum_{j=1}^n q_j K(\bar{x}, \bar{x}_j),$$

де $K(x^-, x_j^-)$ є потенційним членом. Подібно до фізики руху, чим ближча відстань між x^- та x_j^- , тим меншим буде ефект. Як правило, функція, яка має максимум при $x^- = x_j^-$ і яка монотонно спадає до нуля як $\|x^- - x_j^-\| \rightarrow \infty$, використовується як потенціал.

Визнання може бути здійснено таким чином. У точці x^- , де передбачається розташування невідомого об'єкта, оцінюється потенціал $g(x^-)$. Якщо результат позитивний, об'єкт позначається для зображення s_1 . Якщо негативний, щоб відтворити зображення s_2 .

1.2.6 Послідовні процедури розпізнавання

Якщо в попередніх методах розпізнавання рішення щодо приналежності об'єкта до будь-якого зображення приймалося миттєво за всіма ознаками, то тепер ми обговоримо процес їхнього послідовного вимірювання та використання.

Нехай $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ спочатку розглядається вимірювання x_1 в об'єкті, а потім вирішується питання про те, як віднести цей об'єкт до одного із зображень. Якщо це можливо з достатньою впевненістю, інші характеристики не оцінюються, і процес розпізнавання завершується. Якщо немає абсолютної впевненості щодо характеру проблеми, тоді вимірюється компонент x_2 і приймається рішення на основі двох компонентів: x_1 і x_2 . Далі процес або

зупиняється, або вимірюється третя ознака тощо, доки не буде прийнято рішення призначити об'єкт зображенню або поки не буде вичерпано всі N ознак.

Ці процедури мають велике значення у випадках, коли вимірювання кожної ознаки потребує значної кількості ресурсів (часу, грошей тощо).

Нехай $S=2$ і відомі $p(x_1/S_1)$, $p(x_1/S_2)$, $p(x_1/S_3)$, де $i=1,2$. Якщо відомий розподіл ймовірностей $p(x_1, \dots, x_N/s_i)$, то всі інші розподіли ймовірностей (які називаються граничними розподілами) також відомі. Наприклад,

$$p(x_1, x_2/s_i) = \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} p(x_1, \dots, x_N / s_i) dx_3 dx_4 \dots dx_N.$$

Дозвольте мені виміряти наступні властивості. Розраховуємо ймовірність збігу

$$\lambda_n = \frac{p(x_1, \dots, x_n / s_1)}{p(x_1, \dots, x_n / s_2)}.$$

Процес триває, доки в купі відмов залишиться лише одне зображення або доки не будуть використані всі N функцій. Якщо трапиться останній сценарій, більше одного зображення буде відхилено. Рішення буде прийнято на користь зображення з найбільшим відношенням правдоподібності, тобто зображення з найбільшою кількістю опорних векторів.

Якщо є два зображення ($S=2$) і кількість ознак не обмежена, то ймовірність послідовного виконання процедури з ймовірністю 1 є кінцевою. Крім того, було продемонстровано, що для заданих p_{12} і p_{21} процедура матиме найбільшу середню кількість кроків з таким самим ступенем інформативності, як і різні функції. Для $S=2$ процедуру, яка слідує за послідовністю, додав Вальд, ця процедура називається критерієм послідовного відношення правдоподібності.

Для $S>2$ ефективність процедури не була продемонстрована.

1.2.7 Ієрархічні системи розпізнавання

При розпізнаванні складних сутностей (вимовних слів; назв міст, річок, озер тощо на географічних картах; складених зображень, які є комбінацією кількох геометричних примітивів, рекомендовано використовувати за ієрархічними процедурами. Як відомо, компонент ієрархічного розпізнавання процесів — їх кілька рівнів розпізнавання. На нижньому кінці розпізнаються елементарні зображення (примітиви), на верхньому — складені зображення. Кількість шарів може бути різною. Для конкретності розглянемо дворівневу систему розпізнавання.

Визнано два різновиди дворівневої системи розпізнавання. Перший характеризується наявністю природного часового або просторового порядку зображень на першому рівні, який передається на другий рівень для розпізнавання. Наприклад, це може бути ряд фонем під час промовляння слів або ряд літер під час написання імен на географічній карті. Тут фізичні зв'язки між зображеннями першого рівня значно зменшені та описуються порядком, у якому вони проходять. У системі дворівневого розпізнавання другого типу зв'язки між зображеннями на першому рівні більш складні. Наприклад, якщо букви розпізнаються дворівневою системою, то зображення першого рівня (дуги, відрізки прямих) з'єднуються між собою на площині за більш складним правилом, ніж проста відповідність. Раніше ми розглядали цей підхід, обговорюючи лінгвістичні методи ідентифікації.

У результаті на другий етап потрапляє не сам об'єкт, а компоненти розпізнавання, які вперше були ідентифіковані на першому етапі. Довжина цих послідовностей, загалом, різна. Алфавіт другого рівня розпізнавання — це набір зображень першого рівня, який значно перевищує алфавіт першого рівня. Наприклад, 32 літери російського алфавіту можуть включати в себе тисячі легко впізнаваних слів.

Якби перший рівень розпізнавання образів був безпомилковим, то другий рівень мав би вибрати з алфавіту другого рівня ту послідовність, яка відповідала виходу першого рівня розпізнавання. Однак на практиці помилки

розпізнавання є звичним явищем, у тому числі в ієрархічних системах, а в останніх на різних рівнях розпізнавання ці помилки трапляються. Якщо на першому рівні допущені перші помилки, то на вхід другого рівня повинна надійти послідовність чисел, яка не відповідає жодному із зображень в алфавіті другого рівня, але необхідно прийняти рішення. Можливий такий варіант, наприклад. Ці послідовності вибираються з алфавіту, який має таку саму кількість елементів, як запропонована послідовність розпізнавання. Потім розпізнаний шаблон накладається на вибрані послідовності з S_2 , і кількість неконвергентних елементів записується. Атрибуція одного або кількох зображень базується на мінімальній кількості не сходяться компонентів.

Цей метод частково аналогічний розглянутому раніше підходу найкоротшої відстані до стандарту, однак використовуються інші показники.

Тут ми припустили, що помилки розпізнавання на першому рівні впливатимуть лише на той чи інший компонент послідовності, не змінюючи загальної кількості компонентів. На практиці, особливо при розпізнаванні вимовлених слів, кількість компонентів у послідовності також може бути неправильно представлена: додаються додаткові хибні компоненти або видаляються об'єктивно присутні компоненти. Для цього прикладу існують комп'ютери ефективного розпізнавання, реалізовані на другому рівні ієрархічних систем. Їхнє дослідження виходить за рамки офіційної навчальної програми.

Розглянемо статистичний підхід до розпізнавання в дворівневій ієрархічній системі (рис. 1.9). Нехай на першому рівні розпізнаються образи s_{ij} де i – номер позиції в послідовності $\{s_{1j}, s_{2k}, s_{3l}, \dots\}$, видаваною першою ступінню для розпізнавання на другу ступінь; j – номер конкуруючого образа першої ступіні на i -й позиції в послідовності.

Подумайте про статистичний підхід до розпізнавання в дворівневій системі з ієрархічною структурою (рис.1.9). Нехай зображення s_{ij} розпізнаються на першому рівні, де i – номер позиції в послідовності $\{s_{1j}, s_{2k}, s_{3l}, \dots\}$, виданий

першим етапом для розпізнавання на другому етапі; j – номер конкуруючого зображення першого етапу на i -й позиції в послідовності.

Правда полягає в тому, що в ієрархічних системах розпізнавання вигідно відкласти остаточне рішення про те, чи слід класифікувати об'єкт на одне з двох зображень чи ні, замість цього видається набір варіантів із відповідною ймовірністю класифікації. Цей набір повинен мати правильний склад з ймовірністю приблизно одиницею. Якщо всі конкуруючі розв'язки кожної позиції розглядати як вершини графа, який формально входить у початкову позицію A_0 і кінцеву позицію A_K , з'єднуючи позиції дугами, як показано на малюнку 1.6, то виходить орієнтований граф без циклів. Зображення s_j^2 другого рівня розпізнавання представляє весь шлях на графіку.

На hbcенку 1.9 шляхи, пов'язані з послідовністю $\{s_{12}^1, s_{21}^1, s_{31}^1, s_{41}^1, s_{51}^1, s_{63}^1\} = s_i^2$, представлені товстими дугами. У четвертому стовпці конкуруючих зображень першого етапу p_1 є порожньою вершиною, яка представляє відсутність вмісту в своєму стовпці в послідовності. Наявність цих вершин дозволяє виключити з послідовності «хибні» елементи, які виникли в результаті помилок розпізнавання на першому кроці. Очевидно, що з цією вершиною p_1 вона повинна бути пов'язана з асоційованою ймовірністю апостеріора.

Зображення (послідовності) з алфавіту другого етапу накладаються на побудований граф, і зображення з найбільшою ймовірністю прийняття вважається рішенням на вищому етапі.

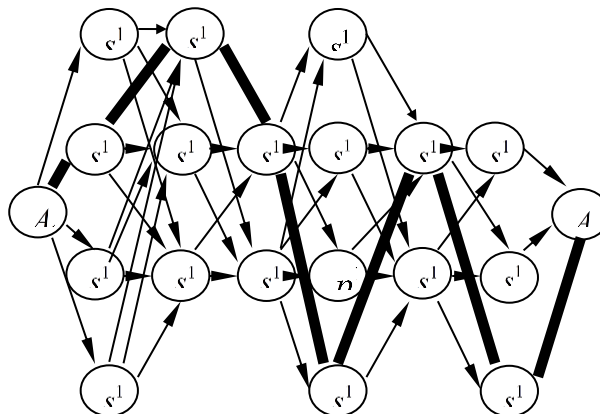


Рисунок 1.9 - Орієнтований граф, що ілюструє процес розпізнавання в двоступінчастій системі

Якщо говорити про порядок букв, то кожна буква розпізнається окремо від інших, в результаті

$$p(s_{1j}^1, s_{2k}^1, s_{3l}^1, \dots / \bar{x}) = p(s_{1j}^1 / \bar{x}) p(s_{2k}^1 / \bar{x}) p(s_{3l}^1 / \bar{x}) \dots$$

Описана процедура підходить для використання в ситуаціях, коли алфавіт S2 заздалегідь визначений. При аналізі текстів ця вимога часто не дотримується. Це приклад того, коли ви скануєте сторінку та перетворюєте зображення сторінки в текстовий файл. Оскільки тексти вводяться з неоднозначним значенням, важко визначити визначення слова, і немає справжньої потреби в словнику. Зрештою, користувачеві потрібна лише послідовність розпізнаних літер, знаків пунктуації та пробілів. Іншими словами, можна було б обмежити їх розвиток лише першим етапом розпізнавання. Однак результати цього розпізнавання залежать від важливого редакційного втручання, оскільки існують неточності у віднесенні зображень до того чи іншого об'єкта.

Наприклад, при ймовірності помилкового діагнозу 5×10^{-3} середня кількість граматичних помилок на написану сторінку тексту становитиме 10-12. Низький рівень грамотності. Його можна підсилити хоча б деяким моделюванням другого етапу розпізнавання. Наприклад, не маючи заздалегідь визначеного списку слів, ви можете вибрати список із двох, трьох або чотирьох букв. Кількість цих послідовностей постійна для кожної мови, а їх попередні ймовірності (принаймні для двох літер) в основному базуються на словниковому запасі. На рисунку 1.9 зображено діаграму, яку можна використовувати для двох послідовностей букв. Використання більшої кількості літер призводить до значного ускладнення графіка, що не змінює принципу обчислень, тому зупинимося на дволітерному варіанті.

Якби система розпізнавала слова, що входять у фіксований алфавіт S^2 , то записати апріорну імовірність слова $\{s_{12}^1, s_{21}^1, s_{31}^1, s_{43}^1, s_{51}^1, s_{63}^1\}$ можна було б у такий спосіб

$$P_0(s_i^2) = p_0(s_{12}^1) p_0(s_{21}^1 / s_{12}^1) p_0(s_{31}^1 / s_{12}^1, s_{21}^1) p_0(s_{43}^1 / s_{12}^1, s_{21}^1, s_{31}^1) \times \\ \times p_0(s_{51}^1 / s_{12}^1, s_{21}^1, s_{31}^1, s_{43}^1) p_0(s_{63}^1 / s_{12}^1, s_{21}^1, s_{31}^1, s_{43}^1, s_{51}^1).$$

Якщо обмежитися використанням апріорних імовірностей тільки двохлітерних сполучень, то

$$P_0(s_i^2) \approx p_0(s_{12}^1) p_0(s_{21}^1 / s_{12}^1) p_0(s_{31}^1 / s_{21}^1) p_0(s_{43}^1 / s_{31}^1) p_0(s_{51}^1 / s_{43}^1) \times \times p_0(s_{63}^1 / s_{51}^1).$$

Замість добутку можна оперувати сумою, якщо перейти від імовірностей до їх логарифмів.

Отже, якщо кожній дузі приписати довжину, рівну

$$\log[p(s_{ij}^1 / s_{i-1,k}^1) p(s_{ij}^1 / \bar{x})],$$

те найбільш ймовірної послідовності літер буде відповідати шлях максимальної довжини на графі.

1.3 Розпізнавання зображень у системах технічного зору

Системи технічного зору (СТЗ) набувають все більшої популярності в різних галузях науки.

Сучасна епоха економічного розвитку промислово розвинутих країн характеризується переходом до другого етапу науково-технічної революції — науково-технічної, що базується на комп'ютеризації та інформатизації всього суспільного виробництва. Для виконання цього етапу в усьому світі були

запущені широкі ініціативи з розробки комп'ютерів п'ятого покоління та роботів третього покоління. Останні є адаптивними, пластичними системами, оснащеними датчиками, які надають інформацію про середовище та об'єкти створення. Суспільство зобов'язане взятися за складне завдання комплексної механізації та автоматизації всієї економіки, що звільнить людей від важкого фізичного та психічного тягара праці та надасть їм численні можливості для творчої діяльності.

Подальший розвиток засобів автоматизації зв'язано із широким застосуванням роботів і робототехнічних комплексів.

У роботах і робототехнічних комплексах наявність засобів чуття відіграє важливу роль. Чуття — це перетворення відповідних характеристик чи властивостей об'єкта в інформацію, необхідну для виконання пристроєм заданої цільової функції.

Засоби чуття за принципом їхньої дії можна розділити на контактні і безконтактні. До контактних систем відносяться силомоментні і тактильні системи чуття. Безконтактні системи умовно можна розділити на системи технічного зору і локаційні системи чуття.[1]

Сфера використання СТЗ охоплює три основні компоненти:

- 1) Візуальний нагляд;
- 2) Управління та регулювання галузі.
- 3) Вимірювання та визначення місцезнаходження;

Візуальний контроль за виробничим процесом є найефективнішим методом перевірки якості автоматизованої продукції. Обов'язки керівництва часто виникають у процесі складання, організації або об'єднання витягів зі складу. У цьому випадку важливо вміти розглянути та обійти перешкоду, не взаємодіяти з іншими частинами під час передачі тощо. Це завдання вважається одним із найскладніших аспектів реалізації СТЗ.

Процеси вимірювання та визначення положення вбудовані в роботизовані системи, особливо це стосується правильного розміщення маніпулятора.[25]

Основними завданнями СТЗ є:

- 2) отримання зображення в межах поля зору;
- 3) визначення наявності чи відсутності необхідних засобів;
- 4) розпізнавання та виділення певного об'єкта на фотознімку;
- 5) визначення точного положення об'єкта або характерних точок відносно системи координат датчика;
- 6) створення керуючих сигналів.[1]

Розвиток СТЗ дозволило на принципово новій основі вирішувати багато задач сучасного виробництва. Системи знайшли широке застосування в області автоматизованого контролю і керування технологічними процесами, при виготовленні виробів машинобудування, електронної техніки, оптико-механіки, дефектоскопічного контролю виробів, для зчитування й обробки графічної і символічної інформації, зорового чуття різних маніпуляторів, що складають основу робототехнічних комплексів нового покоління, при рішенні численних задач ідентифікації об'єктів і полів електромагнітного випромінювання, астроорієнтації і навігації, для автоматизації наукового експерименту і т.д. [25]

Незважаючи на те, що зображення, використовувані в СТЗ, можуть мати різну фізичну природу і не завжди доступні для сприйняття людиною, їхній традиційно прийнято представляти у виді розподілу рівнів яскравості в об'ємному чи плоскому просторі. При описі кольорових зображень використовують окремі функції яскравості для кожної зі складових кольори повного зображення.

Для оптичних зображень функція яскравості визначає просторово-тимчасовий розподіл інтенсивності світла, що пропорційно квадрату амплітуди електромагнітного поля світлової хвилі. В останні десятиліття активно розвиваються методи формування зображень, у яких використовується інформація не тільки про амплітудний, але і про фазову структуру електромагнітного поля. До таких методів відносяться, наприклад, голографічні методи, методи одержання зображень з використанням антен із синтезованою

апертурою і деякі інші. Однак і в цьому випадку сформоване зображення, як правило, приводять до виду, прийнятому для оптичних зображень.[25]

У літературі по описі, обробці і розпізнаванню зображень немає устояних визначень формування й аналізу зображення. Звичайний розгляд формування зображення обмежується переліком мір, що дозволяють скорегувати зображення перед його подальшою обробкою. У той же час в області машинної графіки використання програмно-апаратних засобів дозволяє практично реалізувати формування зображень за допомогою їхнього синтезу по заданому математичному описі. Зворотна задача — аналіз зображення — полягає в перебуванні математичного опису засобами пред'явленого зображення.

Як відзначалося вище, по характері використання зображення призначені для візуального сприйняття людиною, використання в автоматичних і автоматизованих системах.

При цьому тільки в автоматичних системах, де всі дії відбуваються без участі людини, операції з зображенням повинні бути формалізовані від початку до кінця. Звичайно, у багатьох випадках робота людини теж відбувається по формальним, хоча іноді і дуже складним правилам. Саме це дозволяє успішно вирішувати задачі роботизації виробництва, замінити людини системою, що володіє технічним зором. Однак здебільшого задачі автоматичної обробки і розпізнавання зображень можуть бути вирішені тільки частково, тоді безупинний ланцюжок операцій розривається і рішення про те, що робити далі, приймає людина.

Для розпізнавання патернів єдиного загальноприйнятого підходу ще не розроблено. Якщо розглядати її як складну систему, то спочатку необхідно визначитися з метою її створення. Наступним кроком є створення списку завдань, вирішення яких призведе до досягнення бажаної мети. Потім настає процес аналізу — збирання всіх відповідних деталей і створення математичної моделі, що дозволить створити синтез системи розпізнавання. Завершальним

етапом є виявлення ефективності якості створеної системи, як щодо передбачуваної моделі, так і при умовах, відмінних від заданих.

Перетворення світлових сигналів, що несуть інформацію про зображення, у форму, придатну для реєстрації, відбувається при їхній взаємодії з речовиною. Найбільш поширені такі види взаємодії, як фотонні, теплові і хвильові. Хвильові взаємодії застосовуються в гетеродинному прийомі при використанні лазерів як джерела випромінювання.[1]

Специфіка більшості СТЗ складається в одержанні оптимальної інформації про зображення в реальному масштабі часу у формі, що забезпечує найбільш простий спосіб обробки убудованими обчислювальними пристроями. Наприклад, для дій людини реальний масштаб часу — час нервової і м'язової реакції. Для технічних систем цей час визначається або діями виконавчих пристроїв, або періодом, відведеним на вироблення ЕОМ відповідного рішення.

Оцінка можливостей рішення задач сприйняття зображень повинна здійснюватися на основі аналізу не тільки системних характеристик відеопристроїв, але і власних характеристик фотоприймачів, оскільки останні в ряді випадків визначають гранично досяжні результати. До основних системних характеристик відносяться частотно-контрастна характеристика (ЧКХ), область відстаней можливої ідентифікації об'єкта, що дозволяє здатність, спектральний розподіл освітленості фотоприймача, швидкість прийому даних. Необхідно враховувати наступні власні характеристики фотоприймачів: граничну чутливість, розшукувальну здатність, квантову ефективність, динамічний діапазон, кількість інформації, робочу смугу частот і інерційність.

Традиційний підхід до оцінки якості відеосистеми в цілому складається у визначенні її здатності дозволяти зображення штрихових мир з різними просторовими частотами.

Відповідно до критеріїв Джонсона, задачам виявлення, визначення орієнтації, розрізнення і впізнання об'єктів ставиться у відповідність чотири рівні бачення (таблиця 1.1), а останнім у свою чергу — число напівперіодів

штрихової світи, що повинний бути дозволений у межах мінімального розміру об'єкта

Таблиця 1.1 - Рівень бачення розпізнаного зображення в залежності від поставленої задачі

Рівень бачення	Задача
Виявлення	Спостерігач фіксує появу об'єкта в поле зору
Визначення орієнтації	Спостерігач розрізняє форму об'єкта і визначає його орієнтацію
Розрізнення	Спостерігач класифікує об'єкт (наприклад, як будинок, корабель, жук і т.д.)
Упізнання	Спостерігач установлює тип об'єкта (наприклад визначає тип автомобіля)

Таблиця 1.2 - Рівень бачення розпізнаного зображення в залежності від числа на півперіодів

Рівень бачення	Число напівперіодів, що дозволяють, на мінімальний розмір об'єкта
Виявлення	$2^{+1}_{-0.5}$
Визначення орієнтації	$2.8^{+0.8}_{-0.4}$
Розрізнення	$8^{+1.6}_{-0.4}$
Упізнання	$12.8^{+3.2}_{-2.8}$

Узагальнена функціональна схема СТЗ приведена на рисунку 1.10

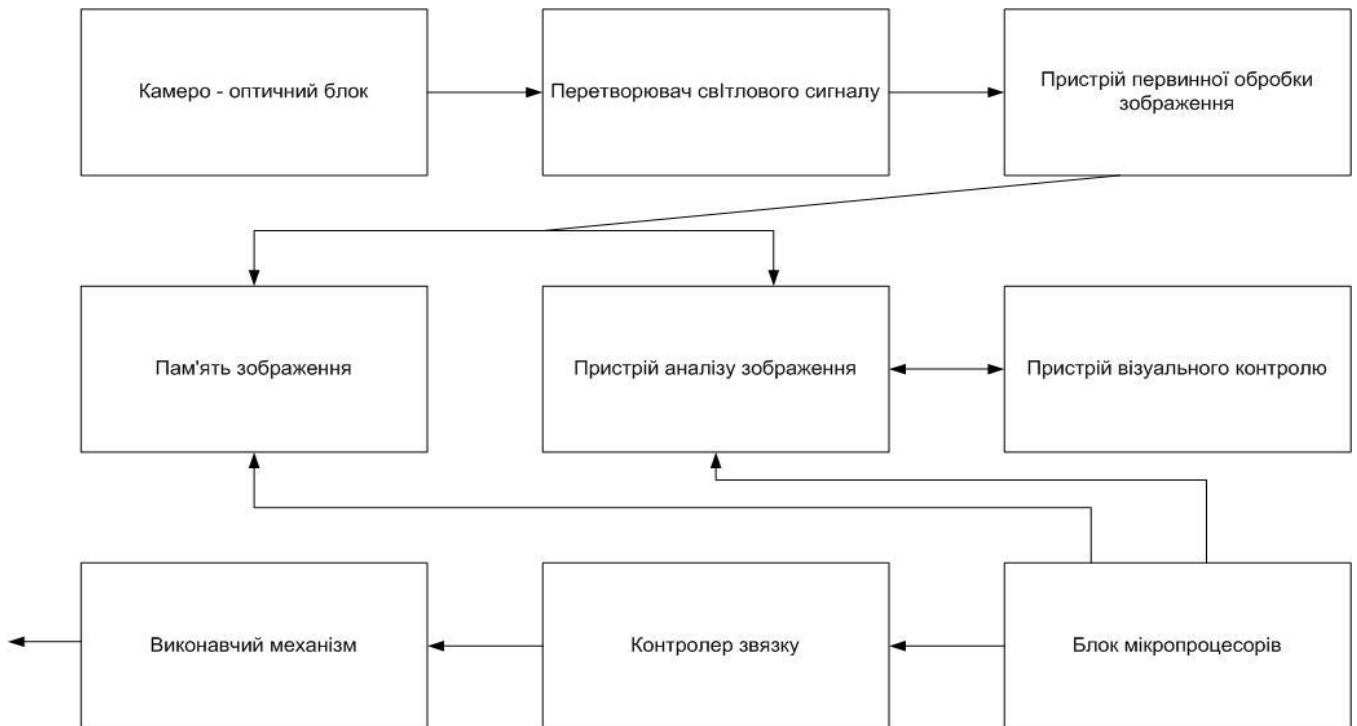


Рисунок 1.10 - Узагальнена функціональна схема СТЗ

Зображення об'єкта через оптичний блок передається на перетворювач світ-сигнал, електричний сигнал якого в пристрої первинної обробки зображення підсилюється і запам'ятовується. Пристрій аналізу зображення служить для виділення і впізнання об'єкта, визначення його координат і положення. На основі отриманої інформації контролер зв'язку з виконавчим механізмом виробляє керуючі сигнали, що приводять у дію виконавчі механізми, що здійснюють цілеспрямований вплив на об'єкт.[25]

Чуттєвим елементом у розглянутій схемі є оптичний блок з перетворювачем світ-сигнал. Звичайно він реалізується за допомогою телекамери.

В даний час виділяють кілька поколінь СТЗ.

Системи першого покоління оснащені мікроЕОМ і телекамерою і працюють по бінарному принципі, тобто представляють усі точки візуємої зони як світлі і темні. Таке представлення накладає тверді вимоги на умови висвітлення об'єкта, оскільки зображення повинне бути контрастним. Системи другого покоління здатні аналізувати рівні освітленості, тобто правильно

визначати границі деталей і деякі істотні особливості. При цьому обсяг інформації, що надходить на обробку, істотно зростає, що приводить до збільшення часу обробки. Однак за рахунок розвитку і здешевлення технологічної бази робототехніки вже йде побудова промислових СТЗ із рівнем квантування відеосигналу 256 і дозволом 1024x1024 елемента. Застосування кольорових камер привело до підвищення інформативності зображення й у ряді випадків спрощує обробку і зменшує її час.[25]

Призначення пристрою первинної обробки полягає в тому, щоб мінімізувати загальну кількість часу, витраченого на обробку зображень. Крім того, як правило, зображення є окремим і представлене у вигляді набору чітких точок. У результаті першим кроком є безпосередня обробка та представлення інформації у форматі, зручному для подальшої обробки стандартів, яка зазвичай здійснюється на універсальному комп'ютері. Первинна обробка передбачає врахування специфіки об'єкта, в результаті чого пристрій первинної обробки є типово спеціалізованим і реалізує необхідні алгоритми. Пристрої первинної обробки в сучасних СТЗ доступні завдяки вимогам високої швидкості обробки даних, технологічній гнучкості та високої ємності, яка потрібна. Відсутність цього пристрою в системі збільшує загальну тривалість обробки.

Пристрій вторинної обробки здійснює розпізнавання зображення, тобто по його характерних ознаках визначає, до якого класу належить візуємий об'єкт. На вхід пристрою надходить код зображення, отриманий на етапі первинної обробки. На виході утворюються керуючі команди, перетворені надалі контролером зв'язку в сигнали, що визначають переміщення і дії маніпулятора. Для вторинної обробки використовуються мікропроцесори, а також міні- і мікроЕОМ. Для навчання роботів і спостереження за робочою ситуацією в СТЗ вводять пристрій візуального контролю.[1]

Задачі, розв'язувані в СТЗ, істотно залежать від ступеня детермінованості робітничого середовища. З обліком цього найважливішого фактора наявні СТЗ прийнято поділяти на три класи складності:

1) Найпростіші СТЗ, що працюють у цілком детермінованому середовищі і, що використовуються для перевірки наявності деталей, виявлення чужорідних об'єктів, найпростіших вимірів; вони дозволяють оперативно визначати відхилення, що виводять технічну систему з нормального режиму роботи;

2) СТЗ, що працюють в умовах, коли чи положення зовнішній вигляд об'єктів не є цілком визначеними; такі ситуації характерні для СТЗ, керуючих сортуванням і розпізнаванням деталей;

3) СТЗ, що працюють в умовах невизначеності форми і положення об'єктів (найбільш складні) і вирішальні задачі витягу деталей з бункерів, контролю деталей, установки інтегральних схем і т.п.

Методи одержання зображення в СТЗ насамперед визначаються типом висвітлення і поділяються на тіньові і відбиті.

Проблема освітленості має велике значення при розробці СТЗ. Основні задачі зв'язані з цією проблемою можна розділити на два класи: оптичні проблеми і проблеми взаємодії з зовнішнім середовищем.

Оптичні проблеми зв'язані з взаємодією джерела світла і чуттєвого елемента. СТЗ працюють з різними об'єктами, серед яких є прозорі і непрозорі. Тому, з одного боку, рівень освітленості повинний бути досить високим, а з іншого боку, при сильній освітленості може виникнути ефект насичення чуттєвого елемента. Дуже важливим моментом є боротьба з помилковими відображеннями (відблисками) від поверхонь об'єктів. Варто враховувати, що форма об'єктів також породжує деякі проблеми. Скривлені поверхні можуть відбивати світло, як опукле чи увігнуте дзеркало. Ці “квазідзеркала” збільшують погрішності оптичної системи.[25]

До проблем взаємодії СТЗ із зовнішнім середовищем відносяться вибір фонових поверхонь, виключення впливу вібрації устаткування, що викликає флуктуацію рівнів і напрямку висвітлення, а також проблема переміщення об'єктів, що припускає використання швидкого сканування й облік обумовлених

їм погрішностей. Однозначного рішення цих проблем не існує. Кожне приватне рішення вимагає оцінки реальних умов функціонування системи.

Найдавніші зусилля в області розпізнавання образів були в основному присвячені створенню машин для зчитування. Слово зображення спочатку використовувалося для опису друкованого або рукописного знака, який представляв букву або цифру. Теорія статистичних рішень була математичним інструментом, який полегшував розпізнавання та вирішення проблем розпізнавання.

Класичні результати теорії статистичних рішень були основою для створення алгоритмів розпізнавання, які гарантували ідентифікацію класу, до якого можна віднести невідомий об'єкт, на основі експериментальних даних, які характеризували певний набір атрибутів (специфічних характеристик) цей об'єкт і попереднє визначення даних. опис типів об'єктів, що розглядаються. У подальшому математичний апарат, який використовувався для вирішення проблем розпізнавання, був значно вдосконалений в результаті використання методів, заснованих на логіці, і впровадження багатьох розділів прикладної математики, теорії інформації, математичного програмування та системної інженерії.[25]

1.4 Загальна характеристика проблеми розпізнавання об'єктів і явищ

1.4.1 Якісний опис задачі розпізнавання

Розпізнавання образів (знаків, ситуацій або процесів) є найважчим завданням, яке людина вирішує практично в кожному мить від першого дня свого існування до останнього дня. Для вирішення цієї проблеми людина задіює величезні ресурси свого мозку, які включають приблизно 10-12 мільярдів одночасно. нейрони Це те, що дозволяє людям швидко дізнаватися один про одного, читати письмові та рукописні тексти з високою швидкістю, безпомилково керувати автомобілем у складному потоці руху на вулиці, відкидати частини на конвеєрі, розшифровувати простір. фотографії, розгадувати коди, давньоєгипетський клинопис тощо d. [21]

Розпізнавання – це процес перетворення вхідної інформації у відповідний висновок, який ґрунтується на якості інформації, що розглядається, атрибутах розпізнаних зображень і на виході, який є заявою про клас розпізнаного зображення. У результаті кібернетика є областю загальних правил перетворення інформації в складних системах. Розпізнавання образів є однією з його гілок.

Необхідність комплексної механізації та автоматизації виробничого процесу, створення роботів, для вирішення технічних і медичних завдань, метеорологічних прогнозів, формальної оцінки соціальних, економічних і соціологічних явищ і процесів у великих масштабах, все це необхідні для того, щоб визначити найбільш вірогідні трансформації цих явищ і визначити значні зусилля наукової та інженерної думки щодо вирішення практичних завдань.

Щоб повністю зрозуміти значення цього питання, просто скажемо, що створення штучного інтелекту – це створення систем розпізнавання, подібних до людських у вирішенні завдань.[8]

Нижче ми обговоримо основні проблеми, пов'язані зі створенням систем розпізнавання, їх формальні визначення та рішення. Проте ефективну інтерпретацію завдання розпізнавання ми обговоримо пізніше. Продемонструємо це на прикладі конфлікту між стороною А і Б щодо визнання літаків.

Для створення системи, яка розпізнає літаки Сторони А, вкрай важливо провести комплексний аналіз усієї доступної інформації щодо авіації Сторони Б. З цієї інформації впливає, як приймати рішення щодо тактики контратаки та технічних і тактичних аспектів їхніх літаків. Ці рішення можуть бути прийняті: 1) застосувавши контрзаходи S1; 2) застосування контрзаходів S2; 3) комбінування використання засобів S1 і S2. Ці рішення вказують на те, що літаки сторони В повинні бути розділені на три класи. Крім того, якщо з'являються літаки першого класу, то вигідно використовувати засоби S1, якщо літаки другого класу - S2, а якщо літаки третього класу - засоби S1 і S2 разом.

Специфічні технічні засоби виявлення, що застосовуються на літаках, а також недостатній обсяг попереджувальної (попередньої) інформації щодо класів літаків сторони Б (наприклад, перший тип бомбардувальника, другий тип винищувача, третій тип). типу літака) можна зробити висновок, що з практичної точки зору вигідно розглядати лише два класи літаків. Це підвищує ймовірність точного розпізнавання літака. Відповісти на це питання можна тільки шляхом математичного або фізико-математичного моделювання системи розпізнавання, що розвивається. Після класифікації повітряного судна сторони В важливо визначити, за допомогою яких особливостей або параметрів вибрані класи повітряних суден можуть бути використані для опису вибраних класів повітряних суден, а потім видалити зі списку ті характеристики, які не можна описати за допомогою однакового значення, пов'язане з кожним класом літаків.

Далі технічні можливості обладнання щодо виявлення літака (радар, акустичні прилади, лазери, оптичні прилади тощо), з отриманого переліку характеристик необхідно вибрати характеристики, які можна реально передбачити (наприклад, крейсерська та максимальні швидкості, максимальна висота польоту, кількість і тип двигунів, довжина фюзеляжу, розмах крил тощо). Зрештою, на основі попередніх даних корисно описати кожен тип літака з точки зору вибраних атрибутів. У цьому випадку одні ознаки є якісними (тип двигунів), інші — кількісними (швидкість, висота польоту тощо). На цьому підготовку можна вважати завершеною, оскільки можна отримати та оцінити попередні знання про літальні апарати, визначити їх класифікацію, встановити систему атрибутів, і всі класи літальних апаратів можна описати в термінах цих атрибутів. . Припустимо, що проводилися експерименти з використанням якихось засобів спостереження, це призвело б до розпізнавання характерних знаків літака.

Порівняння отриманих постфактум даних про це повітряне судно з апріорною інформацією про всі класи повітряних суден мовою знаків показує, до якого класу ймовірно належить невідоме повітряне судно, ця інформація потім використовується для його розпізнавання.

У розглянутому прикладі відсутній якісний опис завдання розпізнавання, а натомість зосереджено на процесі класифікації об'єктів, накопиченні інформації про апіріора та описі класів рідною мовою, що базується на методі порівняння між апостеріорною та апіорною інформацією, яка полягає в розпізнаванні невідомого об'єкта. Однак приклад полегшує розуміння завдання розпізнавання в наступній інтерпретації. Деякі з явищ мають сукупність або об'єкти, які їх представляють. Класи організовані відповідно до обраного принципу класифікації, який призводить до ряду класів, або складеного алфавіту класів.

Було створено словник ознак, пов'язана з ним мова описує різні класи об'єктів. Було розроблено технічні методи, які дозволяють ідентифікувати ознаки, а алгоритм розпізнавання реалізовано на комп'ютерній техніці, яка є частиною системи розпізнавання, що дозволяє оцінити апостеріорну інформацію щодо невідомого об'єкта в порівнянні з попередньою інформацією про його класифікацію, а на основі порівняння визначити її класифікацію. При спостереженні за об'єктом, що підлягає впізнаванню, за допомогою технічних засобів спостереження проводяться дослідження і відзначаються ознаки об'єкта. Дані про атрибути невідомого об'єкта вводяться в алгоритм розпізнавання, який, використовуючи попередній опис об'єкта, який є специфічним для його класу, визначає, до якого класу можна віднести об'єкт.[21]

1.4.2 Основні задачі побудови систем розпізнавання

На прикладі пункту 1.2.1 показано, що для розпізнавання складних об'єктів і явищ необхідне створення спеціальних систем розпізнавання — складних динамічних систем, які, як правило, складаються з команди спеціалістів і набору технологічних засобів, які призначені для вирішення на основі спеціально розроблених алгоритмів, які розпізнають відповідні об'єкти чи явища.[9]

Кожна система розпізнавання спеціалізується на розпізнаванні певного типу явищ або об'єктів (наприклад, система, призначена для ідентифікації

захворювань, не може визначити несправність обладнання, а також не може читати китайські або музичні ноти).

Давайте обговоримо основні питання, пов'язані з процесом проектування та побудови систем розпізнавання. Крім того, важливо пам'ятати наступне. Процедура створення системи розпізнавання зумовлює необхідність створення математичного або фізико-математичного представлення системи. Тільки наявність цієї моделі полегшує реалізацію ітераційного процесу створення прототипів системи розпізнавання, ці прототипи все більше схожі за своїми властивостями (точні, тимчасові, загальні чи цінні тощо) до запланованих властивостей, які заздалегідь визначені. у процесі розробки тактико-технічних вимог до системи. Обов'язки, розглянуті нижче, безпосередньо пов'язані або опосередковано залучені до створення моделі системи, вони також можуть бути виконані лише за допомогою моделі. Це діалектика дискусії.[9]

Завдання 1 пов'язане з визначенням повного списку ознак (параметрів), які характеризують або описують явище, ці ознаки потім використовуються для розпізнавання об'єкта системи. Іменованний набір атрибутів повинен бути створений незалежно від будь-яких обмежень, пов'язаних з початковим описом класів об'єктів, або апостеріорною інформацією про конкретні об'єкти, яка необхідна для їх розпізнавання. І навпаки, першим кроком є визначення всіх ознак, принаймні найбільшою мірою, об'єктів, які пов'язані з явищами або є їх частиною.

Ознаки об'єктів можна класифікувати як детерміновані, імовірнісні, логічні або структурні. Детерміновані ознаки – це ознаки, які мають конкретні числові значення (наприклад, розмах крила 1 кр=25м, довжина фюзеляжу 50м, вага 70т тощо), які можна вважати положенням точки в просторі похибок. пов'язані з певним об'єктом, якщо розглядати як вимірювання. Якщо розглядати їх як помилку, їх не зважають.

Імовірнісні ознаки - це ознаки, які мають випадковий розподіл значень між усіма класами об'єктів, але рішення про визнання чи ні належності об'єкта до одного з цих класів може бути прийнято лише на основі конкретних значень

ознак, пов'язаних з об'єктом, які були визначені за допомогою відповідних експериментів. Розпізнані об'єкти слід розглядати як такі, що мають ймовірність розпізнавання, яка дорівнює вимірюванню їх числових значень, незважаючи на те, що вимірювання цих значень є неправильним.

Логічні властивості розпізнаних об'єктів можна розглядати як базові твердження, які мають два можливих значення істинності («так», «ні» або «істинно», «хибно»). До логічних знаків належать перші, крім іншого, знаки, у яких відсутнє числове значення. Ці ознаки є якісним характером виду або наявності відсутності деяких або всіх властивостей окремих компонентів у розпізнаних явищах чи предметах. Наприклад, логічними вважаються симптоми, які використовуються в медичній діагностиці, такі як біль у горлі, кашель, нежить тощо. е, властивості об'єктів, пов'язані з геологічним дослідженням, такі як розчинність або відсутність розчинності в певних кислотах або в певних комбінаціях кислот, або наявність або відсутність запаху, кольору чи інших атрибутів. Інші логічні ознаки також можна віднести до того факту, що першочерговим є не значення ознаки в розпізнаному об'єкті, а частота або відсутність успіху в певний період.

У межах цих діапазонів вірогідність різних значень ознак у розпізнаваних об'єктах вважається рівно ймовірною. На практиці логічні ознаки цього типу виникають, коли інтервали, в яких вимірюються значення, вибираються таким чином, щоб помилки вимірювань мали невеликий вплив на ймовірність рішень щодо значення вимірювання, що потрапляє в цей конкретний діапазон. Наприклад, у сфері технічної діагностики рішення про визнання технічного засобу несправним приймається лише тоді, коли фактичні значення окремих параметрів (атрибутів) виходять за межі заданих діапазонів. Відхилення значень параметра від номінального значення, яке не супроводжується виходом за межі відповідних діапазонів, свідчить про нормально функціонуючий пристрій.

Структурні (мовні, синтаксичні) ознаки є похідними компонентами (символами) структури об'єктів. В іншому випадку ці компоненти (константи)

називають терміналами. Кожен об'єкт можна розглядати як ряд зв'язків або пропозицій як результат. Ці гіпотези описують речі. І навпаки, якщо речення, що стосується невідомого об'єкта, який можна розпізнати, описує мову певного класу, тоді об'єкт вважається частиною цього класу. Наприклад, при розпізнаванні букв російського алфавіту термінали бувають вертикальні, горизонтальні, косі, кутові та ін.

Завдання 2 стосується початкової класифікації об'єктів або явищ, які розпізнаються, а потім створення апріорного списку класів, який призначено використовувати для класифікації. Найважливішим аспектом цього питання є вибір правильного принципу класифікації. Останнє визначається вимогами, що висуваються до системи розпізнавання, які, у свою чергу, впливають із невідомих явищ або об'єктів, які можна розпізнати.

При вирішенні наступних завдань вдосконалюється апріорний алфавіт класів, що призводить до створення робочого алфавіту класів системи розпізнавання.

Завдання 3 стосується створення попередньо задокументованого списку атрибутів. Словник будується з рішень першої проблеми, включаючи апріорні знання про те, як описати класи мовою їх особливостей.

Завдання 4 стосується опису всіх класів в апріорному алфавіті класів мови знаків, що входять до апріорного словника знаків. Ця проблема має неоднозначне рішення, і, залежно від обсягу джерела інформації, для вирішення проблеми може бути використана пряма обробка даних або отримані на практиці дії.

Якщо властивості розпізнаних об'єктів заздалегідь визначені, то опис кожного класу об'єктів на мові їх властивостей є їх стандартом, тобто точка з найбільшою відстанню від інших точок, що описують об'єкти цього класу, є мінімальною.

Якщо властивості розпізнаних об'єктів є логічними і мають кількісний опис, то для опису класів об'єктів за їх ознаками необхідно (якщо вихідної інформації достатньо) визначити діапазони значень, пов'язаних з ознаками

класу, тобто якщо розпізнані ознаки об'єктів носять якісний характер, то кожен з них також вважається елементарним логічним виразом: A', V', C і т. д. Для опису класів за допомогою опису їхніх ознак, необхідно з'ясувати, яка з ознак однозначно описує кожен клас, а потім встановити зв'язки, які є булевими за своєю природою між ознаками A, B, C і класами Q .

Якщо розподіл об'єктів в областях D_i N -вимірного простору для всіх значень $i=1, \dots, m$ є ймовірнісним, то для опису класів необхідно визначити властивості цих розподілів: функції щільності ймовірності $f(x_1, \dots, x_N)$ значення параметрів $x_1, \dots, x_N$, припускаючи, що об'єкти належать до класу Q_i , є апіорною ймовірністю $P(Q_i)$, що об'єкт, вибраний на випадковий із генеральної сукупності, буде належати до класу Q_i .

Якщо властивості розпізнаваних об'єктів є структурними, то описи класів об'єктів є пропозиціями, які описують структурні властивості об'єктів, характерні для одного з класів.

Створення оглядів розпізнаних об'єктів і попереднього опису є трудомісткою частиною вирішення питань класифікації, це вимагає багато досліджень властивостей цих об'єктів.

Мета полягає в тому, щоб розділити апіорний простір на класи, які представляють апіорні класи алфавіту. Цей тип аналізу слід проводити з максимальною ефективністю, наприклад, щоб забезпечити мінімізацію мінімальної кількості помилок, пов'язаних із розпізнаванням невідомих чи об'єктних явищ.

Апіорний список ознак повинен включати впорядкований набір параметрів або об'єктів, пов'язаних з ознаками явища $x_1, \dots, x_N$, які можна розглядати як компонентний вектор $X_a = \{x_1, \dots, x_N\}$, який описує апіорний простір ознак систем розпізнавання (апіорний простір ознак) розмірності N , конкретні точки цього простору представляють об'єкти, які розпізнаються.

Припустимо, що об'єкти були розділені на класи $Q_1 \dots$. Важливо диференціювати простір ознак D_i , $i=1, \dots, m$, який подібний до класу або

області, що характеризується наступною необхідною асоціацією: якщо об'єкт з ознаками $X_1, \dots, X_N$ є частиною класу Q_i , то точка знаходиться в області D_i .

Крім геометричного підходу, існує також алгебраїчне пояснення проблеми: необхідно створити розділові функції $F_i(x_1, \dots, x_N)$, $i=1, \dots, m$, які мають наступну властивість: якщо об'єкт зі знаками $x_1^\circ, \dots, x_N^\circ$ є частиною класу Q_i , то значення $F_i(x_1^\circ, \dots, x_N^\circ)$ має бути найбільшим. Він повинен бути таким же для всіх інших метрик об'єктів з класу Q_i . Якщо X_g позначає вектор атрибутів об'єкта, асоційованого з класом Q_g , то для всіх значень вектора X_g , $F_g(X_g) > F_g(X_g)$, $q, g=1, \dots, m$, $q \neq g$. У результаті в просторі ознак, пов'язаних із системою розпізнавання, межа між областями D_i , які відповідають класам Q_i , називається вирішальною межею.

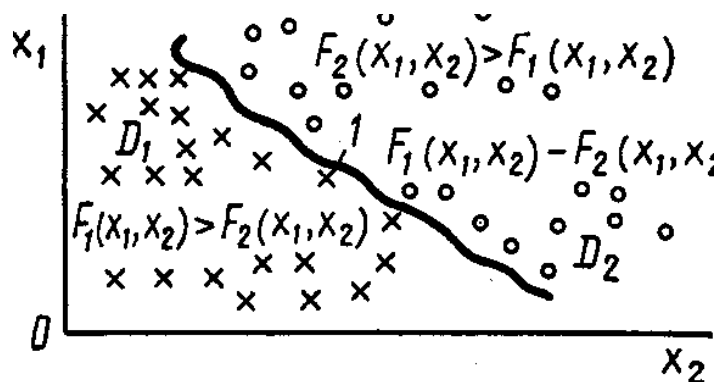


Рисунок 1.11 - Розбивка двовимірного простору ознак на області D_1 і D_2

Рисунок 1.11 ілюструє розподіл двовимірного простору на області D_1 і D_2 , які відповідають класам Q_1 і Q_2 (тут 1 є важливою межею).

Завдання 6 передбачає вибір алгоритмів розпізнавання, які забезпечують класифікацію розпізнаного об'єкта чи явища до однієї з двох інших категорій або до класу, що об'єднує їх обидві.

Алгоритми розпізнавання виводяться на основі порівняння однієї чи кількох метрик або наближених показників ступені подібності розпізнаного об'єкта до кожного класу. Крім того, якщо вибране вимірювання відстані L об'єкта w до певного класу Q_g , $g=1, \dots, m$, більше, ніж вимірювання відстані інших класів, тоді робиться висновок, що об'єкт є частиною класу Q_g .

В алгоритмах розпізнавання, які використовують детерміновані властивості, середня відстань між конкретним об'єктом w і набором інших об'єктів $(w_{g1}, \dots, w_{gk_g})$, що представляють клас Q_g , використовується як метрика близькості.

$$L(w, \Omega g) = \sqrt{k_g^{-1} \sum_{s=1}^{k_g} d^2(w, w_{g_s})},$$

Спосіб вимірювання відстані між об'єктами $d(w, w_{gs})$ допускається вільним.

Якщо слід враховувати ваги характеристик об'єкта w та його ознак, доцільною є така метрика:

$$L(w, \Omega g) = \sqrt{k_g^{-1} \sum_{s=1}^{k_g} \sum_{j=1}^N W_j (x_j - w_{gsj})^2},$$

В алгоритмах розпізнавання, які використовують імовірнісні атрибути, ймовірність рішення щодо автентичності об'єкта використовується як засіб близькості, тобто

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ .. & .. & .. \\ c_{m1} & c_{m2} & c_{m3} \end{bmatrix}.$$

На головній діагоналі матриці - втрата, якщо ви приймете правильне рішення, і втрата, якщо ви приймете неправильне рішення. Якщо $s_{ii} < 0$, $t+1, \dots, i$, то цей негативний ефект можна вважати вигодою з точними рішеннями.

В результаті дослідів слід встановити, що властивості розпізнаного об'єкта $x_1 = x_1^\circ, x_2 = x_2^\circ, \dots, x_N = x_N^\circ$. Назвемо цю подію a . Після цього значення ризику, пов'язаного з рішенням типу $w \in Q_g$ за наявності події a буде

$$R(\omega \in \Omega_g | a_N) = R(\Omega_g | a_N) = \sum_{l=1}^m c_{lg} P(\Omega_l | a_N),$$

де: ймовірність $w_{\epsilon Q_{gi}}$ обумовлена теоремою або гіпотезою за формулою Байєса.

$$P(\Omega_i | a_N) = P(\Omega_i) f_i(x_1^0, \dots, x_N^0) / \sum_{i=1} P(\Omega_i) f_i(x_1^0, \dots, x_N^0).$$

Як правило, в ситуації приймається рішення форми $w_{\epsilon Q_g}$, якщо

$$R(\Omega_g | a_N) = \min R(\Omega_i | a_N).$$

Системи розпізнавання, засновані на логічних принципах, не використовують концепцію міри близькості. Коли опис класів виконується мовою логічних знаків, які асоціюються з розпізнаним об'єктом, коли значення знаків, що описують розпізнаний об'єкт, вставляються в ці відносини, автоматично стає очевидною відповідь: до якого класу чи класів об'єкти, яким цей об'єкт може бути призначений, і до яких він не належить.

В алгоритмах розпізнавання, які використовують структурні (лінгвістичні) властивості, поняття міри близькості також не використовується. Коли мови, що описують класи, будуються як набір пропозицій, які описують структурні властивості об'єкта, пов'язаного з кожним класом, розпізнавання невідомого об'єкта здійснюється шляхом асоціювання пропозиції, яка його описує, з одним із пропозицій мовного опису асоційований клас.

Завдання 7 стосується створення оперативного алфавіту класів і функціонального словника атрибутів системи розпізнавання. Це загальний опис проблеми розпізнавання. Його фундаментальною концепцією є створення алфавіту класів і словника атрибутів (названих оптимальними), які за наявності класових обмежень щодо побудови системи розпізнавання максимізують

ефективність системи керування, яка приймає рішення на основі результати розпізнавання невідомих об'єктів.

Проблему можна подолати за допомогою математичної (фізико-математичної) моделі системи розпізнавання, яка передбачає послідовне уточнення. Першим варіантом системи є преамбула, яка включає словник функцій і алфавіт класів. При побудові операційного алфавіту класів і словника знаків необхідно враховувати наступні поняття.

Перше розуміння пов'язане зі створенням конкретних технічних засобів спостереження, ці засоби засновані на експерименті і дозволяють ідентифікувати специфічні ознаки об'єктів, що розпізнаються, а також практичність використання конкретного технічного методу. Це розуміння впливає з обмежень ресурсів (фінансових, матеріальних, тимчасових, вагових, загальних, енергетичних тощо), щодо можливостей прийняття або створення технічних засобів для відповідного використання. Щодо останнього розглянемо наступний приклад. У медичній діагностиці захворювань серця, поряд із використанням симптомів (ознак), отриманих за допомогою електрокардіографії та рентгенівського обладнання, використовуються ознаки, отримані за допомогою ангіографії, особливої форми рентгенівського дослідження, яке відбувається під час ін'єкції рентгеноконтрастної речовини в коронарних артерій серця.

Цей метод діагностики більш точний, ніж електрокардіографія або рентгенографія. Однак, перш за все, це дороге (в США ангіографія коштує 2000 доларів, що в кілька разів дорожче рентгена та електрокардіографії), крім того, інколи процедура пов'язана зі смертельним ризиком.

Друге розуміння полягає в тому, щоб максимально підвищити точність вирішення проблеми розпізнавання в цих умовах, оскільки проблема безпосередньо впливає на ефективність управлінських рішень. Насправді неправильно діагностоване захворювання спричиняє неправильну стратегію лікування, що може призвести до сумних результатів. Реалізація моделювання системи розпізнавання в поєднанні з викладеними уявленнями теоретично

дозволяє визначити кінцевий варіант її створення, тобто робочий алфавіт класів і склад технічних засобів спостереження, в результаті чого утворюється функціональний словник знаків.

Завдання 8 присвячене створенню унікальних алгоритмів, які будуть регулювати роботу системи. Їхня мета полягає в тому, щоб максимізувати ефективність системи розпізнавання у визначеному вмісті та у виборі найвищих критеріїв якості для процесу, усі ці критерії є крайніми значеннями. Подібний критерій може бути використаний, наприклад, ймовірність правильного вирішення проблеми розпізнавання, середній час, необхідний для її вирішення, витрати, пов'язані з реалізацією процесу розпізнавання тощо. Крім того, мета досягнення найбільшої цінності вищезазначені критерії повинні супроводжуватися зобов'язанням щодо дотримання певних обмежень. Як наслідок, логічно вимагати, щоб ймовірність правильного вирішення проблеми розпізнавання була максимізована за умов обмеження часу або вартості. Скорочення середнього часу або вартості рішення або ймовірності правильної відповіді на задачу слід видобувати за умови досягнення заданої ймовірності правильної відповіді.

Завдання 9 пов'язане з вибором показників, які розпізнають продуктивність системи розпізнавання, та оцінкою їх значень. Вірогідність точних рішень, середній час, необхідний для вирішення проблем розпізнавання, вартість, пов'язана з отриманням анонімної інформації тощо, можна вважати індикаторами ефективності системи. Оцінка значень, пов'язаних з обраним набором показників ефективності, як правило, проводиться за допомогою експериментальних досліджень або формальної системи визнання, або за допомогою фізичної чи математичної моделі.[9]

1.5 Висновки до розділу

Безконтактні методи вимірювання мають важливе значення для тих галузей, де взаємодія з поверхнею об'єкта є небажаною або неможливою,

наприклад, у сфері авіації, космічних досліджень, біомедичних досліджень та виробництва мікроелектроніки. Завдяки цьому оптико-електронні пристрої відкривають нові можливості для дослідження, контролю та вдосконалення сучасних технологічних процесів, що робить їх вкрай важливими для подальшого розвитку індустрії та науки.

Використання оптико-електронних пристроїв є надзвичайно актуальним у сучасних виробничих системах, де вимоги до якості продукції та контролю параметрів об'єктів постійно зростають.

2 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗБИТТЯ АНАЛОГОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ

2.1 Робочий словник ознак систем розпізнавання об'єктів і явищ

Створення словника атрибутів, які використовуються для створення системи розпізнавання, є незалежною та складною роботою. Намагаючись розв'язати її, вам потрібно буде звернути увагу на наступні обмеження: 1) словник обмежений функціями, до яких можна отримати апріорний доступ, необхідним для опису класів мовою цих функцій (ми будемо називати створений апріорний словник з цим обмеженням як словник). 2) Непрактично включати деякі знаки в апріорний словник через відсутність відповідних вимірювань, а ресурси, виділені для створення системи розпізнавання, обмежені. Ось чому апріорний список знаків у загальному випадку не може бути використаний як основа для створення списку, який фактично використовується системою розпізнавання працівників, цей список складається лише з знаків, які є найбільш інформативними, і вони також можуть визначати спеціальним обладнанням.

У результаті завдання розробки функціонального словника ознак системи розпізнавання в загальному випадку спрощується до створення переліку технічних засобів, спостережень і створення функціональної системи, що гарантує вимірювання найбільш інформативних ознак системи. апріорний словник. Робочий ресурс, який описує ознаки таким чином, теоретично забезпечує максимально можливу ефективність розпізнавача.[8]

2.2 Розробка алгоритму для виділення ознак зображення в матричній конвеєрній структурі

Розроблювальний пристрій, як і будь-який інший, працює за деякими правилами і цією логікою функціонування можна описати за допомогою алгоритму роботи.

Для початку необхідно визначити перелік ознак, що будуть виділятися нашою системою при обробці зображення.

Одним з основних ознак зображення є його площа, що несе інформацію про масштаби зображення. Не менш важливою ознакою є контур зображення. При розгляді ознаки "контур", необхідно виділити такі його складові, і в той же час є окремими ознаками, як загальна довжина контуру, довжина верхньої складової контуру, довжина нижньої, правої і лівої його складових. Ці ознаки несуть інформацію про лінійні вертикальні і горизонтальні розміри зображення. Ще однією ознакою, що має сенс виділити є кривизна об'єкта, тобто його графічна структура. Ця ознака говорить про те, яка ступінь скривлення на одиницю довжини контуру(наприклад квадрат з великою стороною має малу кривизну, а ламана, зображення типу чи дерева маленької букви буде мати значно більшу кривизну). Також одним з ознак можна виділити відношення площі зображення, до довжини контуру. Ця ознака дозволить говорити про "глибину" об'єкта дослідження, тобто чи є він сильно контурним (типу тонкої лінії) чи мало контурним(типу кола або квадрата).

Зображення, що буде оброблятися подано на рисунку 2.1.

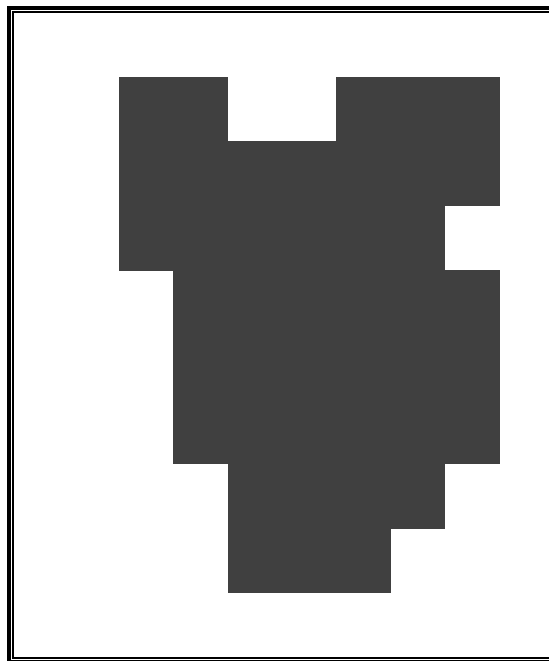


Рисунок 2.1- Матриця найпростішого бінарного зображення

Являє собою матрицю, у найпростішому випадку елементами якої є 0 і 1, тобто зображення бінарне(чорно/біле), причому 0 говорить про відсутність розглянутого об'єкта(фон), а 1 про його наявність у даній області.

Опишемо алгоритм роботи пристрою для виділення ознак зображення (вважаємо, що зображення цілком у матриці і крайні її елементи праворуч, знизу, ліворуч і зверху дорівнюють фону):

1) Аналізується верхній лівий елемент матриці і йому привласнюється колір фону (0).

2) Береться елемент другий ліворуч і другий зверху.

3) Якщо елемент дорівнює 0, то переходимо до пункту 6.

4) Лічильник площі збільшується на 1;

5) Якщо верхній, правий, нижній чи лівий елемент = 0, то:

5.1) Лічильник довжини контуру збільшується на 1;

5.2) Якщо верхній дорівнює 0, то лічильник довжини верхнього контуру збільшується на 1;

5.3) Якщо правий дорівнює 0, то лічильник довжини правого контуру збільшується на 1;

5.4) Якщо нижній дорівнює 0, то лічильник довжини нижнього контуру збільшується на 1;

5.5) Якщо лівий дорівнює 0, то лічильник довжини лівого контуру збільшується на 1;

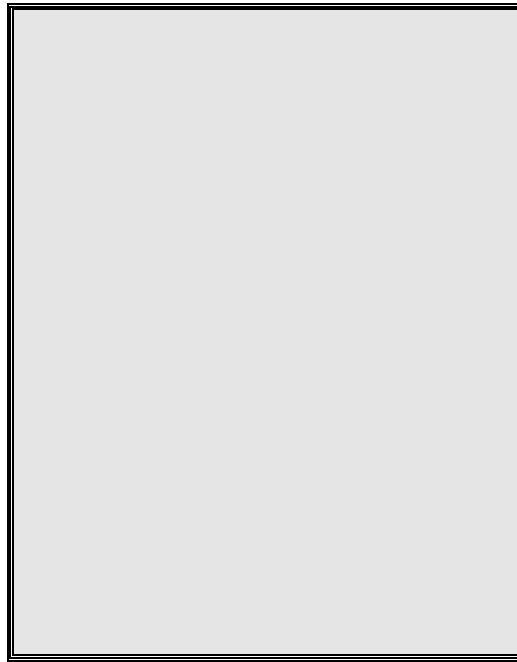


Рисунок 2.2 - Зображення розпізнаного фону

5.6) Сумуються всі не нульові сусідні елементи навколо вихідного:

5.6.1) Якщо сума дорівнює 1, Лічильник7 збільшується на 1;

5.6.2) Якщо сума дорівнює 2, Лічильник8 збільшується на 1;

5.6.3) Якщо сума дорівнює 3, Лічильник9 збільшується на 1;

5.6.4) Якщо сума дорівнює 4, Лічильник10 збільшується на 1;

5.6.5) Якщо сума дорівнює 6, Лічильник11 збільшується на 1;

6) Якщо елемент не передостанній у ряді, то переходимо до наступного в цьому ряді і переходимо до пункту 3.

7) Якщо елемент не передостанній у стовпці, то переходимо до другого елемента в наступному ряді і переходимо до пункту 3.

8) Лічильник 7 збільшується на 8, лічильник 8 збільшується на 6, лічильник 9 збільшується на 4, лічильник 10 збільшується на 2, лічильник 11 збільшується на 2 і ці добутки сумуються. Отримана сума поділяється на $(8 * (\text{Лічильник довжини контуру}))$.

9) Знаходиться відношення Лічильника площі до лічильника довжини контуру.

10) Кінець алгоритму виділення ознак зображення.

Наприклад для зображення приведеного в таблиці 2.1 результатом виконання вище викладеного алгоритму будуть такі значення ознак:

Таблиця 2.1- Таблиця характеристики сканування

Площа	43
Довжина контуру	22
Верхній контур	8
Правий контур	8
Нижній контур	8
Лівий контур	8
Кривизна	0,204
Відношення площ./довжина	1,954

2.3 Розробка схем матричної структури

2.3.1 Поняття організації ЕОМ

Існують два погляди на побудову і функціонування ЕОМ. Перший – погляд користувача, що не цікавиться технічною реалізацією ЕОМ і заклопотаного тільки одержанням деякого набору функцій і послуг, що забезпечують ефективне рішення його задач; другого розроблювача ЕОМ, зусилля якого спрямовані на раціональну технічну реалізацію необхідних користувачу функцій. З урахуванням цієї обставини і вводяться поняття "функціональна і структурна організація" ЕОМ.[7]

Структурна організація ЕОМ визначає технічні засоби і їхню взаємодію для реалізації заданих функцій. Ті самі функції можуть бути реалізовані різноманітними структурами, що відрізняються друг від друга технічними засобами (елементами структури) і їх взаємодією, що забезпечує різну швидкість обчислень при різних витратах устаткування.[23]

Відзначається ступінь конкретності, кількість схем, які складаються на рівні пристроїв, блоків, вузлів і компонентів.

Блок — це компонент комп'ютера, який виконує такі функції, як зберігання машинних слів або керування роботою цих слів (суматор, блок регістрів). Пристрій є найбільшим механічним компонентом комп'ютера, складається з елементів, вузлів і блоків і виконує глобальні операції з оцифрованими даними (зберігання, обробка, перетворення). Блоки і пристрої часто складаються з окремих конструкцій - модулів.

Через велику складність сучасних засобів ОТ прийнято представляти їхню структуру ієрархічно без твердої фіксації понять "елемент" і "система".[7]

Функціональна організація ЕОМ, називана часто архітектурою ЕОМ, визначає сукупність її властивостей і характеристик, розглянуту з погляду користувача машини. Функціональна організація ЕОМ розглядає такі характеристики машини, як система команд, представлення даних і команд, обсяг ОП і способи адресації інформації, склад ОП і ПЗП, режими робіт ЕОМ і ін. [23]

Функціональна організація комп'ютера відіграє значну роль у визначенні структурної організації машини, але вона не має прямої ролі в кінцевій технічній реалізації структурних компонентів.[7]

На функціональну і структурну організацію ЕОМ істотний вплив робить призначення, тобто область застосування ЕОМ. У залежності від області призначення розрізняють ЕОМ загального призначення, малі ЕОМ для масового застосування і спеціалізовані ЕОМ.

ЕОМ загального призначення призначені для рішення широкого класу задач, таких, як науково-технічні й економічні розрахунки, обробка текстової інформації й ін. ЕОМ загального призначення використовуються в локальних ОЦ і ОЦ колективного користування. ЕОМ загального призначення мають велику систему команд, оснащуються ОП і ПЗП

великої ємності і різноманітних пристроїв уведення/висновку. Вони мають велику швидкодію, мають різноманітні режими роботи.

До малих ЕОМ для масового застосування відносяться міні- і мікро- ЕОМ, типу NoteBook, а також персональні ЕОМ, призначені для використання в побуті і т.п.

Спеціалізовані ЕОМ призначаються для виконання вузького кола задач або однієї задачі. Вузька орієнтація дозволяє застосовувати структурні рішення, що забезпечують збільшення швидкості обчислень у десятки, сотні і тисячі разів у порівнянні з рішенням тих же задач на ЕОМ загального призначення.[23]

У даній дипломній роботі розробляється саме спеціалізований ЕВП, що вирішує задачу рівнобіжної обробки зображення і виділення його ознак.

2.3.2 Послідовність розбиття зображення

Структура, розроблювальна в цьому дипломному проекті, містить наступні основні блоки:

1. Спеціалізовані процесори СП(1:1), СП(1:2), ..., ..., СП(2:1), СП(2:2), ..., СП(n:m-1), СП(n*m).
2. Арифметико-логічний пристрій (АЛУ);
3. Пристрій уведення даних і висновку результатів обробки;
4. Пристрій керування;
5. Блок лічильників;
6. Пам'ять.

Спеціалізовані процесори складаються з набору логічних елементів, суматора і дешифратора і виконують виділення необхідних ознак з матриць 3×3 , що належать вихідному зображенню. На вхід кожної з них надходять 9 значень елементів матриці 3×3 . Кількість необхідних СП дорівнює $(m-2) \times (n-2)$, де m і n лінійні розміри матриці, що представляє собою вихідне зображення.

Приклад розбивки зображення показаний на рисункові 2.3.

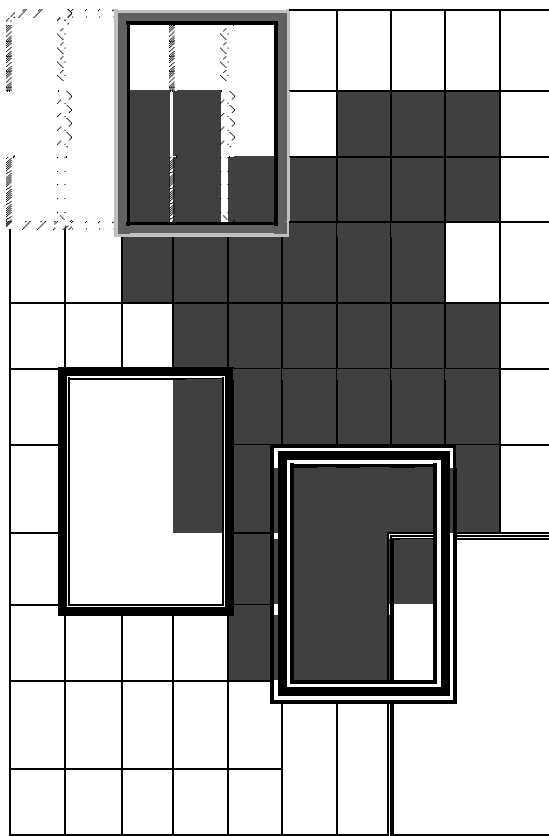


Рисунок 2.3- Розбивка зображення

На рисунках 2.4-2.4 зображені матриці 3×3 з кожної з яких працює один СП. З матрицею зображеної на рисунку 2.4 працює СП(1:1), з матрицею на рисунку 2.5 – СП(1:2), з матрицею на рисунку 2.6 – СП(1:3), з матрицею на рисунку 2.7 – СП(1:4).

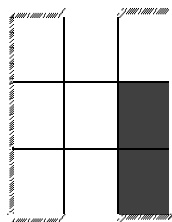


Рисунок 2.4 - Матриця с СП(1:1)

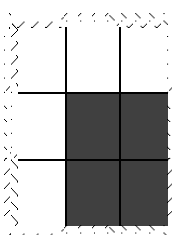


Рисунок 2.5 - Матриця с СП(1:2)

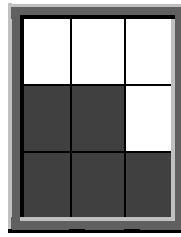


Рисунок 2.6- Матриця с СП(1:3)

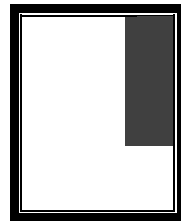


Рисунок 2.7- Матриця с СП(1:4)

Логіка функціонування СП описана в наступному пункті.

Арифметико-логічний пристрій виконує арифметичні операції над двійковими кодами, що надходять у його, зокрема "Лічильник7" збільшується на 8, "Лічильник8" збільшується на 6, "Лічильник9" збільшується на 4, "Лічильник10" збільшується на 2, "Лічильник11" збільшується на 2 і ці добутки додаються. Отримана сума поділяється на $(8 * (\text{"Лічильник довжини контуру"}))$, результат передається в пам'ять, як показник ознаки кривизни. Крім того АЛП знаходить відношення "Лічильника площі" до "Лічильника довжини контуру". Під виразом "Лічильник..." розуміємо числовий еквівалент, що нагромадився на виході конкретного лічильника.

Пристрій уведення даних і висновку результатів обробки виконує роль посередника між зовнішнім джерелом вихідного зображення і його кодованим варіантом у пам'яті.

Пристрій керування під впливом даних, що надходять, автоматично координує роботу всіх пристроїв, що складають розроблювальну структуру, за допомогою своєчасної видачі на них керуючих сигналів: наказує АЛУ виконання тієї чи іншої операції, керує обміном між ЗУ і СП, роботою УВВ.

Розробимо керуючий автомат (УА) із програмувальною логікою з примусовою адресацією. Введення деякої надмірності в структуру мікрокоманд дозволяє спростити складну логічну схему розгалуження.

Таблиця 2.2 - Схема розгалудження

1 ПолеY N	1 ПолеX L	1 Адреси1 K	1 Адреси2 K
-----------	-----------	-------------	-------------

Поле Y мікрокоманди має довжину N біт і містить інформацію про безліч, виконуваних у даному такті мікро операцій, тобто поле Y і є власне мікрокоманда.

Поле X має довжину L біт по числу логічних сигналів X, що надходять на вхід ПК. Поля адрес A1 і A2 мають довжину K біт і визначають дві можливих адреси наступної мікрокоманди. Якщо всі розряди поля X рівні 0, то адреса наступної мікрокоманди визначається завжди полем A1. Якщо деякий розряд X дорівнює 1, то адреса наступної мікрокоманди визначається змінною x_l : якщо $x_l=0$, то адреса наступної мікрокоманди визначається вмістом поля A1, якщо $x_l=1$, — то вмістом поля A2.

Недоліком мікропрограмного ПК (пристрою керування) з примусовою адресацією є велика довжина мікрокоманди. Зменшити її можна шляхом використання природної адресації мікрокоманд.

Таблиця 2.3 - Прошивка ПЗП

0	000000	Y	X	A 1	A 2
1	000001	00001		000010	
2	000010	00010	000	000011	
3	000011	00011	000	000100	
4	000100	00000	001	100000	00101
5	000101	00100	000	000110	
6	000110	10000	0010	000111	11011

Продовження таблиці 2.3 - Прошивка ПЗП

7	000111	10101	0000	001000	
8	001000	00000	0011	001001	01010
9	001001	00110	0000	001010	
0	001010	00000	0100	001011	01100
1	001011	00111	0000	001100	
2	001100	00000	0101	001101	01110
4	001110	00000	0110	001111	10000
5	001111	01001	0000	010000	
6	010000	01010	0000	010001	
7	010001	00000	0111	010010	10011
8	010010	01011	0000	010011	
9	010011	00000	1000	010100	10101
0	010100	01100	0000	011011	
2	010101	00000	1001	010110	10111
2	010110	01101	0000	011011	
3	010111	00000	1010	011000	11001
4	011000	01110	0000	011011	
5	011001	00000	1011	011010	11011
6	011010	01111	0000	011011	
7	011011	00000	1100	011100	00011
8	011100	00000	1101	011101	00010
9	011101	10000	0000	011110	
0	011110	10001	0000	011111	
1	011111	10010	0000	000000	
2	100000	00000	1100	000010	00011

У блоці лічильників відбувається нагромадження результатів надходять зі СП-ів, а результат заноситься в пам'ять і надходить на АЛП.

Пам'ять служить для збереження вхідних даних і вихідних результатів.

2.3.3 Функціональна схема СП

Спеціалізований процесор містить наступний набір логічних елементів: 4 одноходових І-НІ, 8 двовходових І, 1 чотиривходовий І. Крім того він містить комбінаційний суматор, що представляє собою комбінаційну схему, на входи якої одночасно подаються 8 однорозрядних що складаються, значення осередків матриці 3×3 навколо центрального елемента, а на виході формується значення їхньої суми. І останній елемент, що знаходиться в СП – дешифратор, тобто операційний елемент комбінаційного типу, що представляє собою 3-х входову схему з 8-ма виходами. Він приймає результат, отриманий у суматорі і дешифруючи його передає в блок лічильників для подальших обчислень. Дані на його вхід надходять тільки у випадку, якщо центральний елемент оброблюваної матриці належить контуру зображення, що досягається за допомогою 2-х входових елементів І на входах дешифратора.

СП містить 9 входів(з кожного елемента оброблюваної їм матриці 3×3) і 10 виходів.

На першому виході з'являється 1, якщо центральний елемент матриці дорівнює 1(відноситься до площі).

На другому виході з'явиться 1, якщо X_0 дорівнює 1 і вихід 4-х входового елемента Шеффера X_2, X_4, X_5, X_7 теж дорівнює 1(відноситься до довжини контуру).

На третьому виході буде 1, якщо на другому 1 і на виході інвертора $X_4 - 1$ (відноситься до довжини лівого контуру).

На четвертому виході буде 1, якщо на другому 1 і на виході інвертора $X_5 - 1$ (відноситься до довжини правого контуру).

На п'ятому виході буде 1, якщо на другому 1 і на виході інвертора $X_2 - 1$ (відноситься до довжини верхнього контуру).

На шостому виході буде 1, якщо на другому 1 і на виході інвертора $X_7 - 1$ (відноситься до довжини нижнього контуру).

7,8,9 і 10 виходи будуть мати значення, такі ж, як і на 2м, 4м, 6м і 8м виходах дешифратора. (відносяться до кривизни)

Розташування елементів X_i в матриці приведені на рисунку 2.8.

1	2	3
4	0	5
6	7	8

Рисунок 2.8 - Розташування елементів X_i в матриці

2.3.4 Програмна модель алгоритму

Як додаток до структури пропонується програмна модель алгоритму, що дозволяє практично оцінити його позитивні і негативні сторони. Для написання використовувалася мова програмування C++. На жаль розпаралелити процес, як це було описано для апаратної частини, не вдається в зв'язку з обмеженими ресурсами, але принцип виділення ознак залишився. Програма зчитує файл, заданий у графічному форматі .BMP, визначає колір тла, як колір елемента матриці $[1][1]$, потім шляхом послідовного проходження через елементи матриці зображення від $[2][2]$ до $[m-1][n-1]$ і аналізу областей, що лежать навколо кожного з них (як це було описано в алгоритмі в пункті 1.2), виробляються операції над даними і видаються значення виділених ознак зображення. Завдяки порівняльній простоті алгоритму, навіть зображення великих розмірів (2000x2000) обробляються досить швидко.

2.4 Висновки до розділу

Оптико-електронний пристрій — це технічна система, що використовує оптичні та електронні компоненти для проведення вимірювань або аналізу об'єктів. Основний принцип роботи таких пристроїв полягає у застосуванні оптичних елементів (лазери, світлодіоди, лінзи) для створення, фокусування або відбиття світлового випромінювання, а також електронних систем для обробки отриманих сигналів. Ці пристрої дозволяють з високою точністю визначати геометричні параметри об'єктів, такі як розміри, форма, кут нахилу, відстань тощо.

Оптико-електронні пристрої можуть працювати в безконтактному режимі, що є важливою перевагою для промисловості, наукових досліджень та інших галузей, де безконтактні вимірювання дозволяють уникнути пошкодження об'єктів або спотворення результатів.

3 РОЗРОБЛЕННЯ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ НА ОСНОВІ МУЛЬТИСКАНУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ

3.1 Особливості роботи мультискану за схемою активації «Сканістор»

Розвиток робототехніки, систем автоматичного керування та моніторингу, розпізнавання зображень, створення зорових рецепторів для систем штучного інтелекту безпосередньо пов'язаний із розвитком високочутливих та швидкодіючих систем зору [1 - 5]. Телевізійні сканісторні конструкції (суцільний сканістор, багатоелементний мультискан) призначені для перетворення просторового розподілу освітлення в електричні сигнали, що використовуються для контролю, обробки та передачі оптичної інформації в системах технічного зору, зокрема для автоматичного безконтактного контролю та вимірювання координат, розміри та рухи різних об'єктів [6-13]. Слід зазначити, що мультискан (завдяки своїй дискретно-неперервній структурі) забезпечує кращі метрологічні характеристики, ніж сканістор, завдяки низькому рівню темнових струмів, стабільності та високій симетрії вольт-амперних характеристик фотодіодних комірок, рівномірності світлочутливості, а також за рахунок відсутності поздовжньої провідності та більшої лінійності координатної характеристики [14, 15]. Багатоелементний мультискан дозволяє комплексно мініатюризувати та покращувати метрологічні характеристики радіоелектронних засобів контролю, обробки та передачі оптичної інформації [16-18]. Багатоелементний мультискан конструктивно розроблений як інтегральна схема і має три лінії дискретних точкових р-п-переходів D_1 і D_2 і та D_3 і (рис. 3.1) і два поздовжньо розподілених суцільних резистивних дільника R_1 і R_2 . Діоди D_1 і D_2 і крайніх ліній перемикаються, а діод D_3 і середня лінія світлочутлива. Суцільні дільники мають опір 5-20 кОм і забезпечені висновками 1-2 і 3-4; «аноди» фотодіодів підключені до загальної низькоомної вихідної шини (вивід 5).

Комутаційні діоди можуть бути як світлочутливими, так і екранованими від світла, при цьому кількість комірок $N = 400$, крок коміркової структури $S = 50$ мкм, довжина мультискану 20 мм [12].

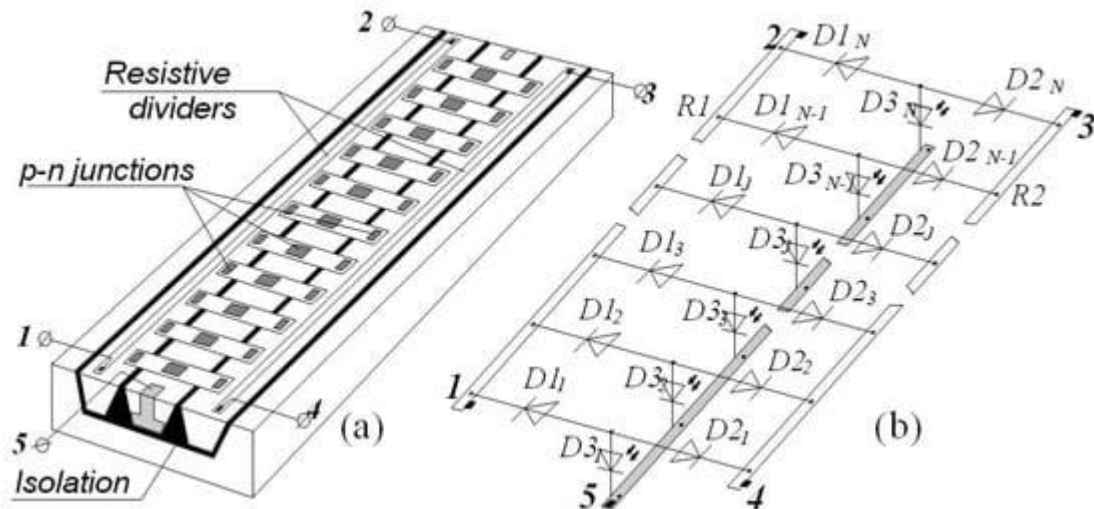


Рисунок 3.1 - Загальний вигляд мультискану (a) та його еквівалентна схема (b)

Оптико-електронні системи на основі мультискану характеризуються високою точністю, швидкістю, надійністю та простотою технічної реалізації [19- 22]. Однак залишаються маловивченими питання, що впливають на точність лінійних вимірювань, пов'язані з властивостями багатoeлементного мультискана як координатно-чутливого фотоперетворювача.

Дискретно-суцільний мультискан, на відміну від суцільного сканістора, має більш складну конструкцію і більшу кількість виводів, тому можливі різні схеми перемикання. Існує кілька основних схем, що дозволяють вмикати мультискан: «метелик», «сліпа пляма», «фотопотенціометр» і «сканістор», відповідно до найбільш часто використовуваної традиційної схеми (подібно до схеми для твердотільного сканіста) [6]; і модифікована схема, з розширеним функціоналом (дозволяє одночасно з відеосигналом отримувати сигнал з поточним значенням сумарного світлового потоку). У [19] для модифікованої схеми (на базі дискретного аналогового методу виділення та обробки відеосигналу [11]) для підвищення точності вимірювань координат і розмірів світлових зон часова координація інформації використовується відеосигнал між

сусідніми опорними відеоімпульсами дискретних комірок структури з точно відомими просторовими координатами.

Аналіз мультисканових режимів і схем показав, що традиційна схема «сканістор» (рис. 2) з найпростішим мультисканним перемиканням і зйомкою низької напруги в аналоговому режимі забезпечує високоточні вимірювання з необхідними геометричними параметрами координат, розмірів об'єкта, і рух, а також керування розподілом яскравості вздовж мультисканової фоточутливої поверхні. У цій найбільш часто використовуваній традиційній схемі перемикання «сканістор» паралельно з'єднані мультисканові безперервні резистивні дільники, які живляться постійною напругою від джерела напруги зсуву OVS, на один із висновків якого подається пилоподібний генератор напруги SVG протилежної полярності. підключений. Перемикання чергової дискретної комірки мультискана здійснюється в момент досягнення напругою опитування рівня напруги на комірці OVS. Фотодіод комірки перемикається із закритого у відкрите положення, перемикаючи діоди з відкритого у закрите положення. Якщо освітлюється наступна опитувана комірка, її фотодіод і перемикаючі діоди виробляють елементарний вихідний струм I_L , відповідний освітленню. Сумарний вихідний струм I_L з унібуса мультискан-фотодіодів перетворюється за допомогою ВАХ перетворювача струм-напруга в напругу. Після його диференціювання диференціюючим підсилювачем DA формується відеосигнал V пропорційно розподілу освітленості вздовж фоточутливої поверхні мультискана.

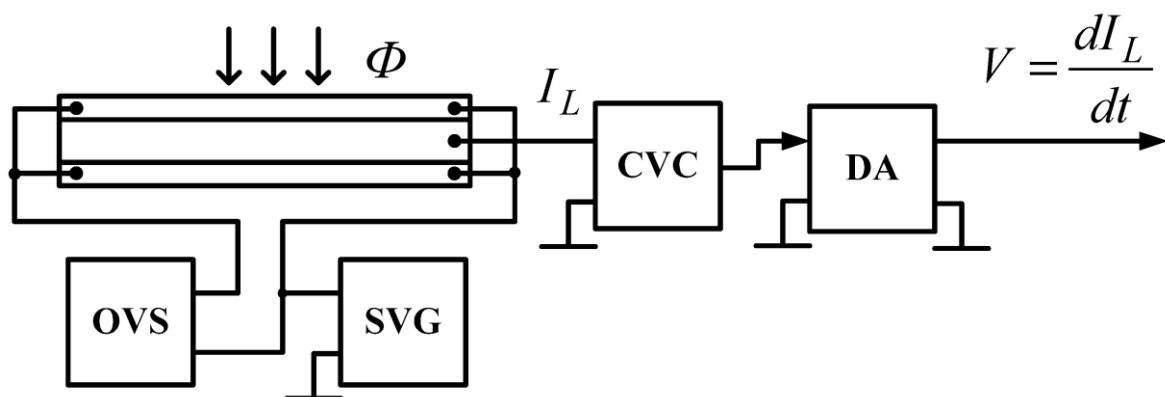


Рисунок 3.2 - Увімкнення мультискану за традиційною схемою «сканістор»

Для покращення метрологічних характеристик вимірювальних приладів на базі мультискану важливо дослідити можливість спільного використання позитивних властивостей його дискретної безперервної структури (висока геометрична точність розміщення фотодіодних осередків та висока координатна чутливість до руху світлової зони інформаційного відеосигналу).

3.2 Особливості роботи мультискану при визначенні геометричних параметрів об'єктів

Мультискан - це інтегральна схема (рис. 3.3), що містить два розподілених у просторі суцільних резистивних дільника напруги, $R1'-R(N+1)'$ і $R1''-R(N+1)''$, і три лінії точкових p-n переходів, $D1'-DN'$, $D1''-DN''$, і $D1'''-DN'''$. Щоб перемкнути струм сигналу кожного фотодіода, два відповідних перемикаючих діода лінії, $D1'-DN'$ і $D1''-DN''$, використовуються; вони підключені до розподілених резистивних дільників напруги і разом із фотодіодом складають дискретну комірку. У МС використовується техніка сканування рельєфу світла межею нульової напруги [5, 12, 15], що рухається вздовж фоточутливої поверхні пилкоподібною напругою. Для створення межі на паралельно з'єднані резистивні дільники МС подається постійна напруга E_0 від джерела напруги зсуву (ОВЗ) на один з виводів, з яких генератор пилкоподібної напруги (ГВН) опитування з амплітудою E_0 , з протилежної полярності. Зображення об'єкта (Об), освітленого джерелом випромінювання (ДВ), проектується на МС у вигляді світлової зони (ЗЗ) з координатами x_1, x_2 і країв контрольованого об'єкта. Перемикання ще одного фотодіодного елемента в колі навантаження здійснюється нульовою лінією напруги в момент, коли пилкоподібна напруга досягає рівня напруги на елементі ОВС. Фотодіод комірки перемикається із закритого у відкрите положення, а перемикаючі діоди з відкритого у закрите положення.

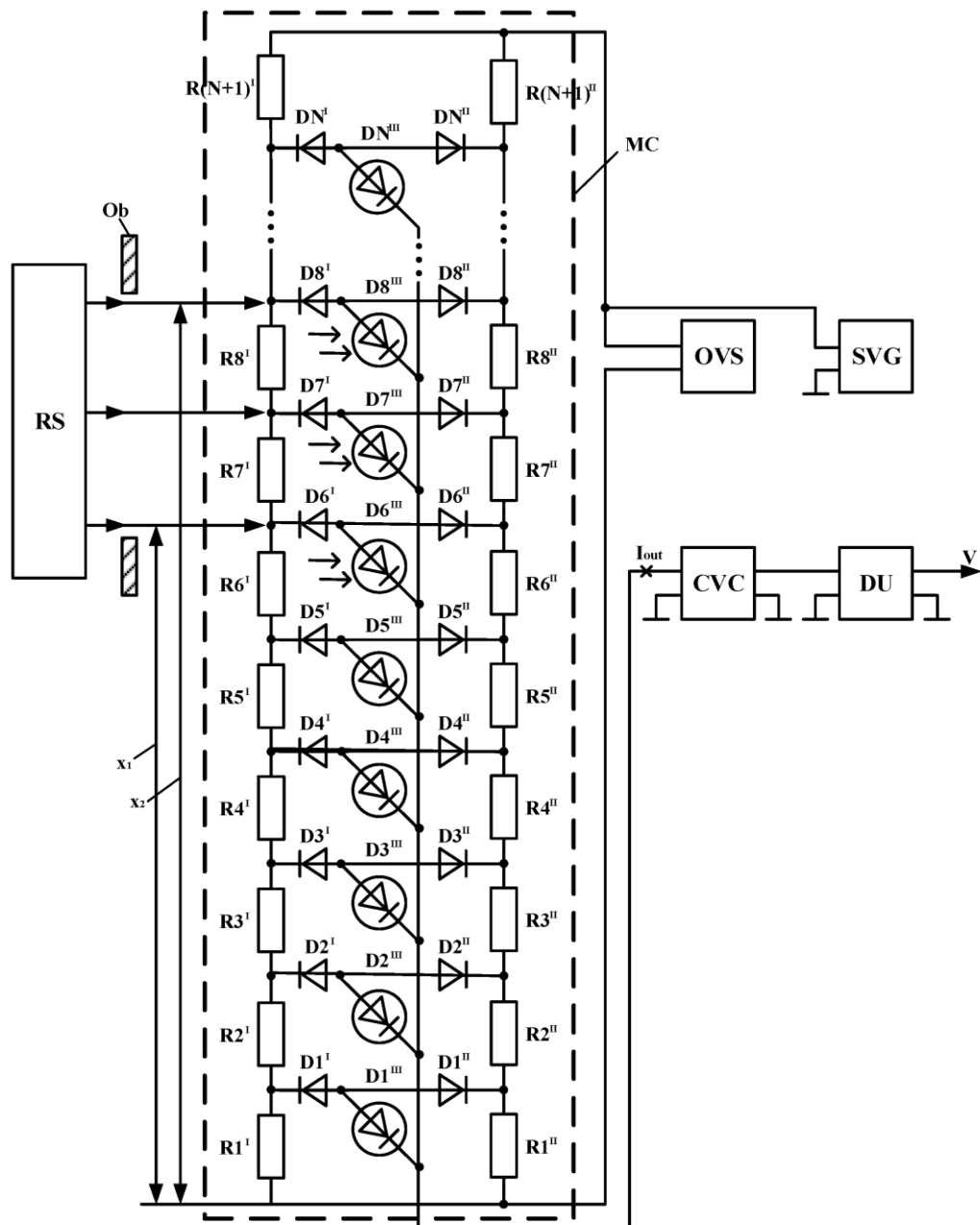


Рисунок 3.3 – Електрична схема включення мультискану за схемою «сканістор» в аналоговому режимі

3.3 Розроблення структурної схеми мікроелектронного пристрою для вимірювання геометричних параметрів об'єктів

Структурна схема розробленого заводозахищеного оптико-електронного пристрою на основі MS (MOD) для вимірювання геометричних параметрів об'єктів наведена на рисунку 3.4 (де Ob – контрольований об'єкт; MS – мультискан; BMLS – світломодульоване джерело світла; BVS – джерело

напруги зсуву; BPF — смуговий фільтр; LPF — аналогово-цифровий перетворювач Оптико-електронний пристрій MOD на базі MS працює наступним чином: Паралельний промінь від джерела світла з модульованою яскравістю BMLS формує світлову зону LZ на фоточутливій поверхні мультискану MS. Початок x_1 і кінець x_2 зони відповідають геометричним параметрам об'єкта Об. Модульована за інтенсивністю інформаційна складова струму колектора, виділена при опитуванні мультисканової МС, перетворюється в напругу в ВАХ перетворювача струм-напруга. Після фільтрації смуговим фільтром BPF і демодуляції за допомогою синхронного детектора SD напруга надходить на вхід аналого-цифрового перетворювача АЦП, а потім на мікропроцесор МП для обробки вимірювальної інформації. Застосування модуляції світлового потоку дозволяє зменшити похибки вимірювання параметрів ЛЗ, які виникають через нерівномірність темного струму фотодіодних комірок МС при слабких світлових потоках, а також у разі світлового шуму. Недоліком МОД є зниження точності вимірювань параметрів малих об'єктів.

Для забезпечення високої точності вимірювань МОД найважливіше значення має лінійність просторово-часового перетворення вимірювальної інформації про об'єкт Об; таке перетворення складається з двох етапів фотоелектричного перетворення вимірюваного розміру (або координати) об'єкта в інтервалі часу. На першому етапі координата контрольованої світлової зони на мультискані перетворюється в лінійну координатно-задаючу напругу на суцільних резистивних подільниках $R' - R(N+1)$ і $R' - R(N+1)$ (рис. 3.3), які забезпечують високу чутливість МС до рухів зони. Друге перетворення вищезазначеної напруги виконується шляхом скануючої пилкоподібної напруги опитування від SVG з використанням вольтової апертури протягом інтервалу часу.

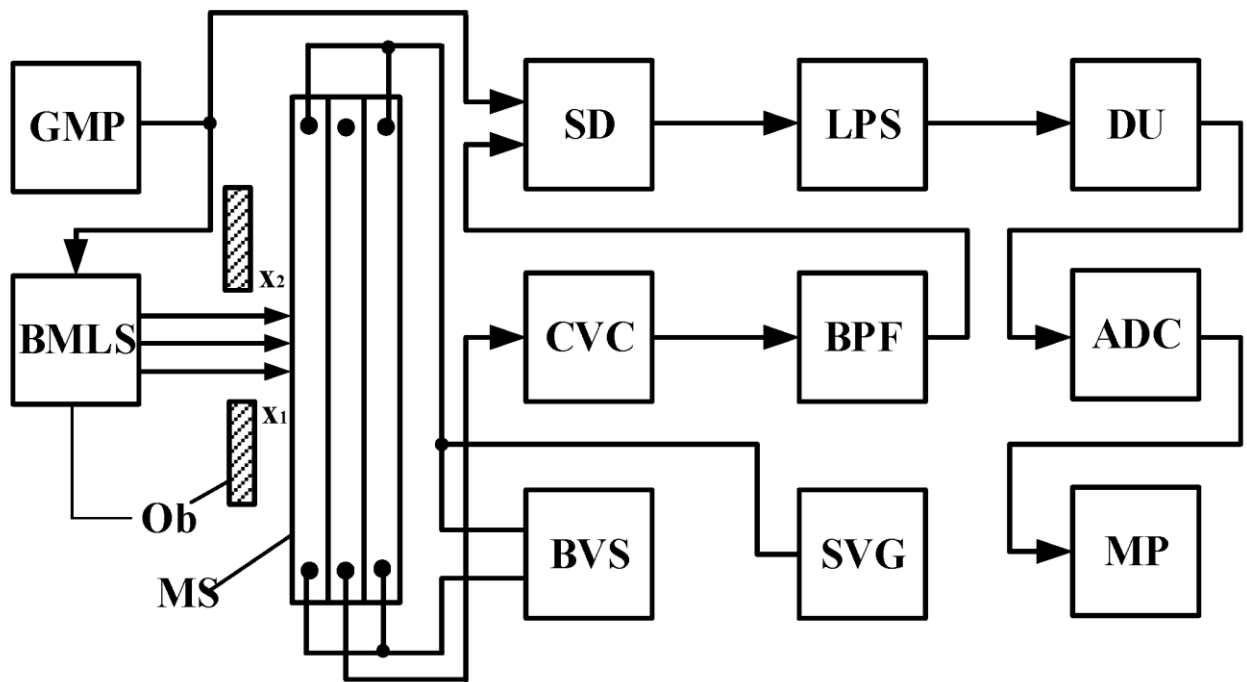


Рисунок 3.4 – Структурна схема мікроелектронного пристрою для вимірювання геометричних параметрів об’єктів на основі мультискану

Загальна похибка перерахунку координати LZ x на інтервалі часу t x визначається лінійністю координатної характеристики СС

$$x = t_x \cdot l/T \quad (3.1)$$

При ідеалізованих ВАХ фотодіодних комірок (описаних функцією Хевісайда) ВС від них мав би вигляд дельта-функції Дірака; однак через обмежений нахил перехідної ділянки IV характеристики комірок ВС змащується і набуває дзвоноподібної форми. Величина розмиття VS внаслідок впливу вольт-апертури (на контакті перехідних функцій) становить $8 U_0$ і описується апертурною відповіддю MS AR. Слід зазначити, що найважливішими електрофізичними характеристиками МС є координатні характеристики СС та апертурна характеристика AR. КК відображає лінійність фотоелектричного перетворення координат зображення об’єкта в інтервалах часу ВС при часімпульсному режимі роботи МС. АР визначає здатність МС відтворювати дрібні деталі зображення. З цієї точки зору МС можна

охарактеризувати одиничною роздільною здатністю, кількістю дозованих рядків і шириною апертури.

Спочатку телевізійні сканісторні структури (ТСС) розроблялися лише для телевізорів [12, 14] як твердотільних аналогів телевізійних кінескопів, і їх основною характеристикою була апертурна характеристика (тобто залежність глибини модуляції ВС від просторова частота лінії цілі). Як і для всіх телевізійних кінескопів, основним параметром ТСС була телевізійна роздільна здатність (визначена з використанням лінійної лінійної мішені за кількістю ліній на 1 мм при двадцятивідсотковій модуляції VS). АР визначається формою і кінцевими розмірами скануючого елемента, тобто його апертурою. У МС скануючим елементом є межа сканування або лінія нульового потенціалу. У ТСС є вольтова U_0 і лінійна b апертури

$$U_0 = 4 \cdot KT/q \quad (3.2)$$

$$b = U_0 \cdot E_0 \quad (3.3)$$

Рівняння (3.2) є вольтовим виразом апертури межі сканування, визначеної значенням розмиття ВАХ фотодіодної комірки MS, що дорівнює у четвереному температурному потенціалу. Лінійна апертура (вираз (4)) — це мінімальний розмір проекції вимірюваного об'єкта, при якому ще не спотворюються краї ВС, а отже, зберігається відповідність між розміром проекції об'єкта і тривалістю відеоімпульсу.

Аналіз результатів моделювання показав, що ВС фактично є розмазаним профілем ЛЗ, а завданням його аналізу є визначення параметрів зони (координат, ширини та освітленості) розмазаним дзвоноподібним ВС від MS. На рис. 3.5 (в, г) показано етапи традиційної обробки ВС з використанням її першої та другої похідних.

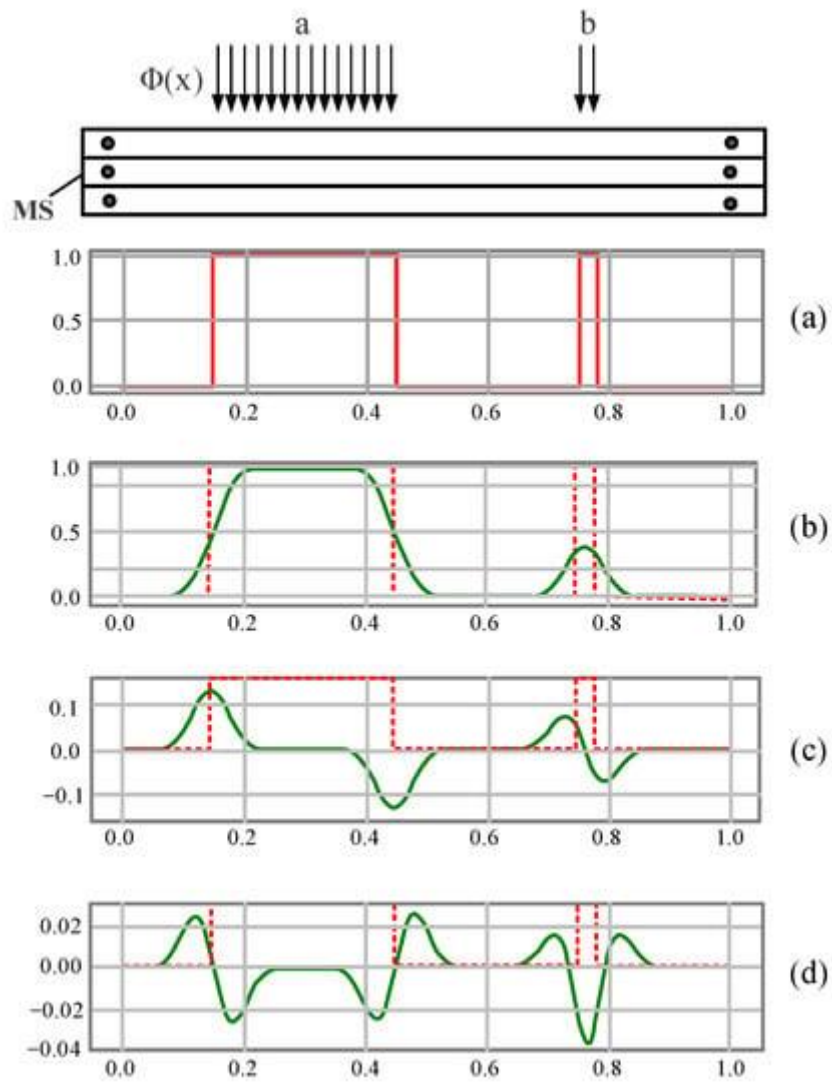


Рисунок 3.5 - Часові діаграми, що ілюструють роботу завадостійкого вимірювального пристрою на основі мультискану. (а) дія $f(x)$ – профіль світлової зони; (б) відгук $V(t)$ – відеосигнал MOD (суцільна лінія); (в , г) ілюструють етапи традиційної обробки відеосигналу з використанням його першої та другої похідних

З рис. 3.5 видно, що ширину широкого ЛЗ можна визначити, використовуючи різницю моментів часу перетинів нуля другої похідної трапеції ВС; він також може бути визначений безпосередньо ВС (без його диференціювання), якщо виміряні моменти часу відповідають ВС перетину половини свого максимуму. У цьому випадку для широкого LZ амплітуди VS і перша і друга похідні прямо пропорційні освітленості. Однак для вузьких зон моменти зміни знака другої похідної дзвоноподібної ВС не відповідають межам

цих зон, оскільки ТСС не може з високою точністю зафіксувати їх ширину через змазування ВС його вольт апертури. Часова координата середини вузької ЛЗ однозначно визначається моментом перетину нуля першої похідної ВС.

Таким чином, звичайна обробка ВС малих об'єктів не дозволяє забезпечити високу потенційну точність МОД; тому доцільним є дослідження механізму утворення змазаного ВС для покращення метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки.

3.4 Механізм формування мультисканового відеосигналу на основі його імпульсної характеристики

Оптико-електронні пристрої на основі МС забезпечують задану точність отримання вимірювальної інформації в умовах сильних світлових шумів шляхом модуляції яскравості світлового випромінювання та подальшого синхронного детектування. Третьою особливістю МС в аналоговому режимі є зміна форми ВС (від трапецієподібної до дзвоноподібної) при зменшенні ширини рівномірної за яскравістю МС (від максимальної, що відповідає повністю освітленій МС, до мінімального, коли зона відсутня).

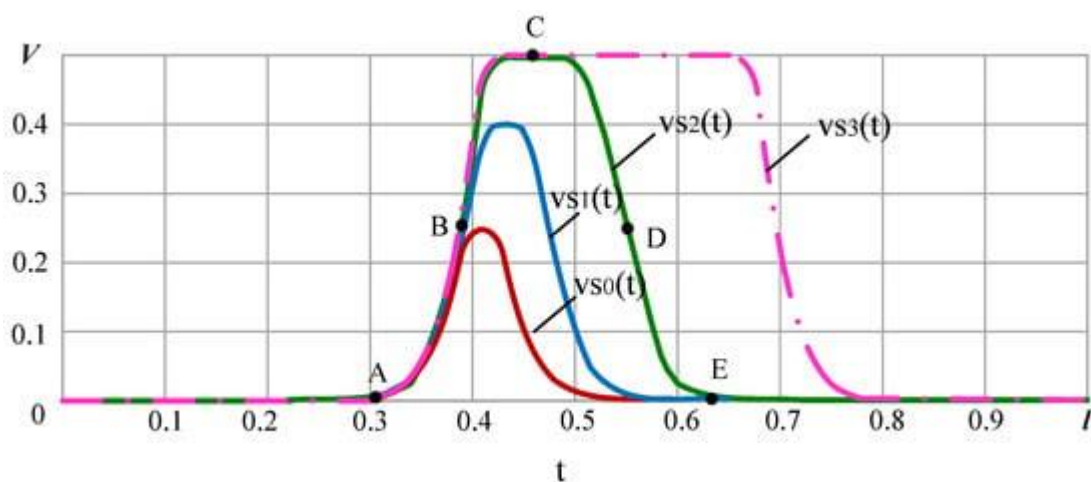


Рисунок 3.6 - Зміна форми та амплітуди відеосигналу зі зміною ширини світлової зони

Однією з найважливіших проблем МОД є їх зведення до ідеального приладу, тобто виключення впливу схеми приладу на результати вимірювань. Реконструкція реального рельєфу LZ з використанням його згортки з імпульсною характеристикою (ІЧ) (тобто з використанням VS) називається «деконволюцією». Для такої реконструкції необхідно знати параметри ІЧ. Задача деконволюції може бути розв'язана перетворенням інтеграла згортки [31]

$$v(t) = \int_0^{\infty} f(x)h(t-x)dx \quad (3.4)$$

де $f(x)$ – початковий розподіл освітленості ЛЗ, який необхідно реконструювати; $h(t-x)$ ІЧ, що визначає спотворення; $v(t)$ є VS від MS.

Основним завданням реконструкції геометричних параметрів ЛЗ є визначення її координат у процесі сканування. МОД є лінійною системою з постійними параметрами, і її можна представити у вигляді структурної схеми (рис. 3.7,а).

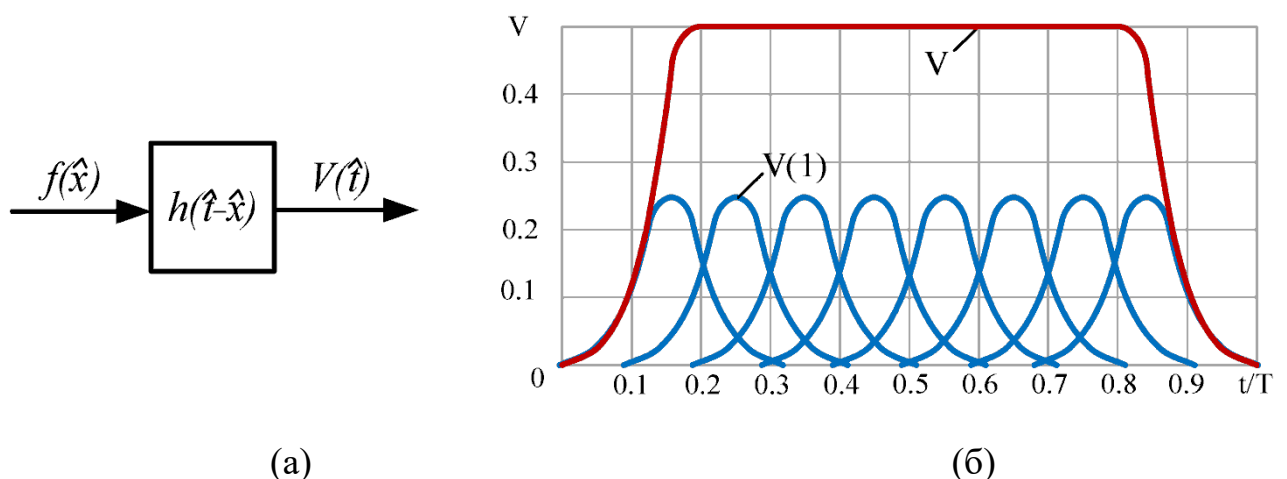


Рисунок 3.7 - Механізм формування мультисканового відеосигналу: а – схема згортки параметрів імпульсної характеристики та світлової зони; б – сумарний відеосигнал V мультискану та елементарні відеосигнали $V(1)$ його фотодіодних осередків

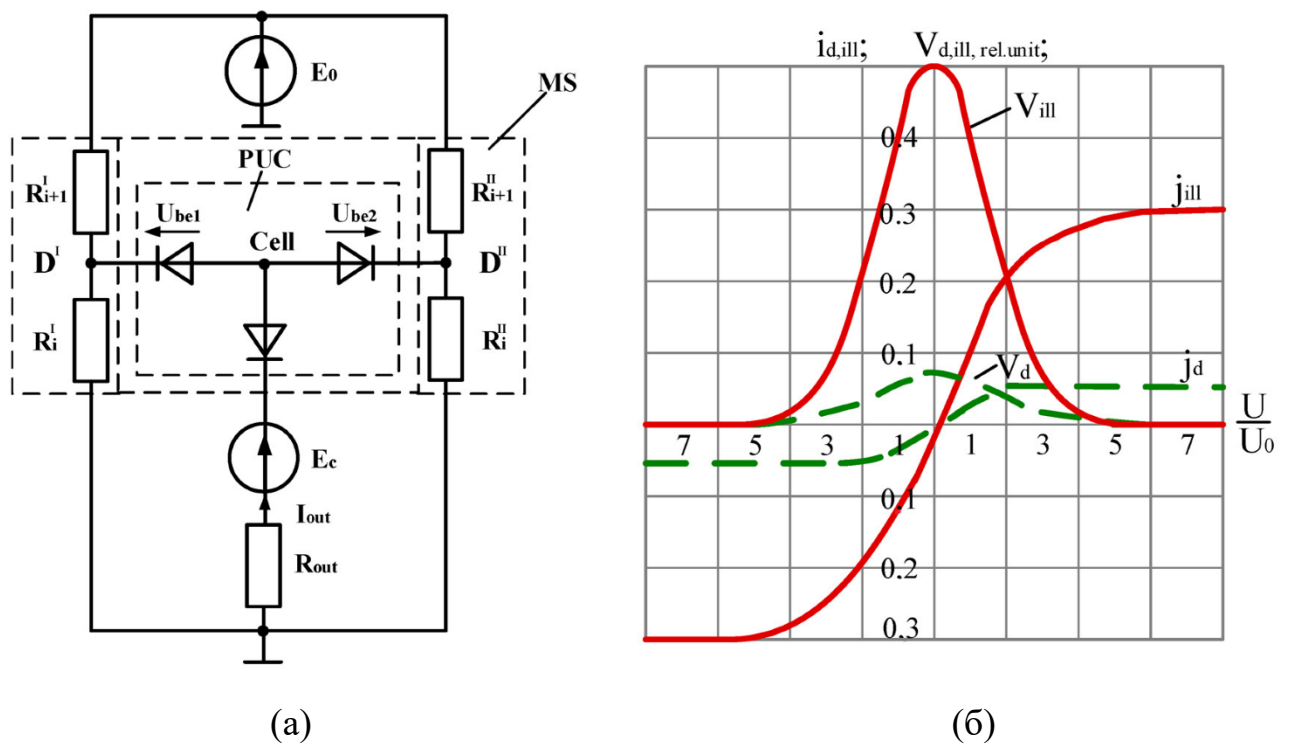


Рисунок 3.8 - Еквівалентна схема елементарної комірки мультисканового фотодіода в сканісторі (а); вольт-амперна характеристика та відеосигнал (у темряві – пунктирна лінія; при освітленні – суцільна) (б)

3.5 Висновки до розділу

Встановлено, що для найбільш поширених традиційних комутаційних схем мультисканового «сканістора» доцільно досліджувати його дискретно-неперервну структуру з метою досягнення потенційних метрологічних характеристик схеми за рахунок її високої чутливості до малих переміщень світлової зони на мультискані та можливість генерувати жорсткі геометричні растрові відеоімпульси з його дискретних фотодіодних комірок.

Встановлено, що згортання сигналу прямокутного профілю світлової зони з імпульсною характеристикою пояснює розмиття країв відеосигналу; в цьому випадку величина розмазування повністю визначається імпульсною характеристикою і не залежить від ширини зони.

4 РЕЗУЛЬТАТИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Узагальнена математична модель оптико-електронного пристрою на основі мультискану

Узагальнимо випадок, описаний на рис. 3.7 і у виразі (3.4), коли відеоімпульс $f(\hat{x})$ проходить через послідовність лінійних одиниць з імпульсними характеристиками $h(\hat{t} - \hat{x}_i)$ (рис. 4.1).

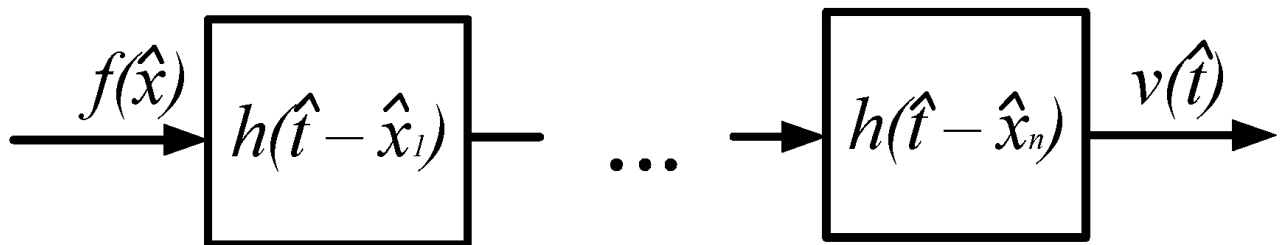


Рисунок 4.1 - Узагальнена математична модель оптико-електронного пристрою
на основі мультискану

У цьому випадку дисипація відгуку системи описується таким виразом

$$D[v(\hat{t})] = D[f(\hat{x})] + \sum_{i=1}^n D[h(\hat{t} - \hat{x}_i)] \quad (4.1)$$

Вираз (4.1) демонструє основну властивість дисипації - властивість адитивного накопичення при проходженні сигналу через послідовність лінійних одиниць. Таким чином, спостерігаючи за розмитим сигналом, зареєстрованим MOD, і знаючи імпульсну характеристику MOD, можна обчислити реальні значення ширини світлової зони та яскравості.

Властивість розсіювання адитивного накопичення дуже важлива для оцінки параметрів відеоімпульсу $f(\hat{t})$ спостережуваною реакцією MOD $v(\hat{t})$. У

[31] показано, що SSP дозволяють досить точно оцінити тривалість вузьких прямокутних імпульсів за їх розмитими відеоімпульсами. Використовуючи просторово-структурну модель MOD, передбачається описати відеосигнал MOD у вигляді вектора SSP $S_v = (M_v, C_v, D_v, E_v, Y_v)$, а імпульсна характеристика MOD у вигляді вектора $S_h = (M_h, C_h, D_h, E_h, Y_h)$. Вектор SSP спостережуваної реакції MOD S_v обчислюється за відеосигналом MOD, а вектор S_h за допомогою імпульсної відповіді MOD (1, 15). У цьому випадку можна оцінити ширину світлової зони і освітленість наступним чином:

- LZ профіль «розсіювання»

$$D_f = D_v - D_h \quad (4.2)$$

- «Ступінь» профілю LZ

$$E_f = \sqrt[2]{D_f} \quad (4.3)$$

- Профіль LZ «яскравість»

$$Y_f = \frac{M_v}{E_f} \quad (4.4)$$

- Профіль LZ «центроїд»

$$C_f = C_v \quad (4.5)$$

У рівнянні (4.2) операція віднімання розсіювання імпульсної відповіді D_h від розсіювання відеосигналу D_v дозволяє врахувати значення розмивання VS системою прийому, коли ширина світлової зони оцінюється в відповідно до властивості адитивного накопичення дисипації.

Загальний струм мультискану крізь опір навантаження

$$I_L = b \cdot \int_0^l \left[j_s \frac{\exp \alpha (E_e - E_c) - 1}{\exp \alpha (E_e - E_c) + 1} + j_{bc}^f \frac{\exp \alpha (E_e - E_c)}{\exp \alpha (E_e - E_c) + 1} - j_{be}^f \frac{1}{\exp \alpha (E_e - E_c) + 1} \right] dx$$

$$= \frac{2l \cdot b \cdot U_0}{E_0} (j_f + j_s) \cdot \{3 \ln [\exp \alpha (E_e - E_c) + 1] - \alpha (E_e - E_c)\}$$

Аналоговий відеосигнал V з мультискану формується при диференціації повного струму

$$V = L \frac{dI_L}{dt} = 2Lb \left\{ \int_0^l \frac{d \left[j_s \frac{\exp \alpha (E_e - E_c) - 1}{\exp \alpha (E_e - E_c) + 1} \right]}{dt} dx + \int_0^l \frac{d \left[j_{bc}^f \frac{\exp \alpha (E_e - E_c)}{\exp \alpha (E_e - E_c) + 1} \right]}{dt} dx \right.$$

$$\left. + \int_0^l \frac{d \left[- \frac{j_{be}^f}{\exp \alpha (E_e - E_c) + 1} \right]}{dt} dx \right\} = \frac{2L \cdot b \cdot l}{T} (2j_s + j_{bc}^f + j_{be}^f) \left[\frac{1}{\exp \alpha (E_e - E_c) + 1} \right]_0^1$$

де L - коефіцієнт, що залежить від способу диференціювання I_L ; b - ширина мультискану.

Відеосигнал для випадку, коли на мультискан проектується світлова зона шириною від x_1 до x_2 , описується виразом

$$V = \frac{4L \cdot b \cdot l}{T} j_s \left[\frac{1}{\exp \alpha (E_e - E_c) + 1} \right]_0^l + \frac{2L \cdot b \cdot l}{T} (j_{bc}^f + j_{be}^f) \left[\frac{1}{\exp \alpha (E_e - E_c) + 1} \right]_{x_1}^{x_2}.$$

Останнє рівняння відображає подвійну природу дискретно-неперервної структури мультискану: відеосигнал V може мати дискретну (імпульсну) або аналогову (безперервну) форму залежно від крокової напруги.

4.2 Результати математичного моделювання оптико-електронного пристрою на основі мультискану

При опитуванні мультискана пилоподібною напругою у всіх його комітках одночасно формується незначна зміна струму. Проте для досліджуваної комірки в зоні її перемикавання (за умови $\Delta U \geq 4 U_0$, що відповідає дискретному режиму) величина струму та його напрямок швидко змінювалися, що створює ступінчасту форму повного струму у вихідній шині. Якщо всі комірки мультискану повністю освітлені, то диференціація його послідовного вихідного струму створює відеосигнал у вигляді жорсткого геометричного растру з N відеоімпульсів. Кожен з імпульсів за своїм розташуванням у растрі однозначно відповідає технологічно заданому точному положенню цієї комірки в дискретній структурі мультискану. Відеосигнал для цього випадку записується у вигляді рівняння, де адреси освітлених комірок задані координатами початку і кінця фотодіодних секцій цих комірок

$$V = \frac{4L \cdot b \cdot l}{T} j_s \left[\frac{1}{\exp \alpha (E_e - E_c) + 1} \right]_0^l + \frac{2L \cdot b \cdot l}{T} (j_{bc}^f + j_{be}^f) \cdot \sum_{i=1} \left[\frac{1}{\exp \alpha (E_e - E_c) + 1} \right]_{x_{b_i}^c}^{x_{e_i}^c}$$

На рисунку 4.2 показано результати моделювання в Mathcad зміни вихідного струму мультискану) та відеосигналу (для його перших десяти комірок, з яких комірки № 2 –9 рівномірно освітлюються при зменшенні напруги зміщення $E_0 = 80; 40; 20$ В (що відповідає кроковій напрузі $\Delta U = 2 U_0 \cdot (0,05 \text{ В}), 4 U_0 \cdot (0,1 \text{ В})$ і $8 U_0 \cdot (0,2 \text{ В})$).

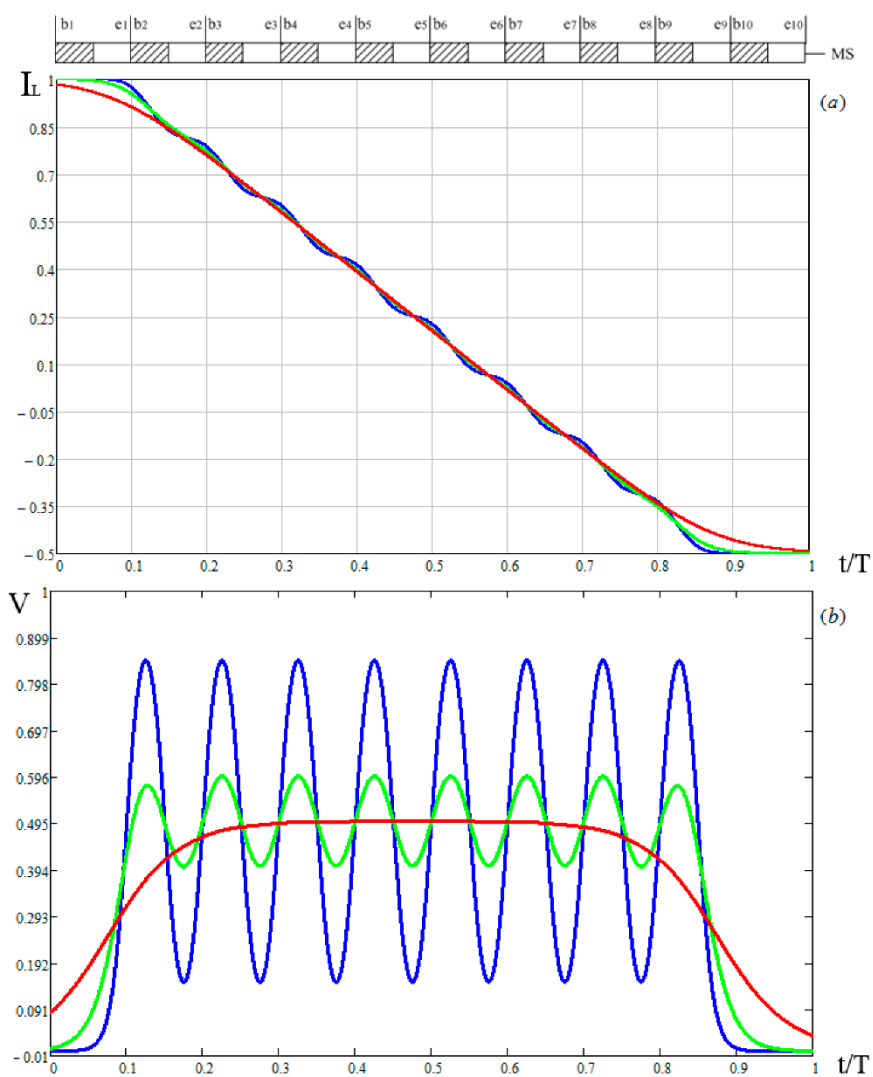


Рисунок 4.2 - Зміна вихідного струму та відеосигналу мультискана зі зменшенням напруги зміщення E_0 : (а) Залежність змінних $I_L - t$; (б) залежність змінних $V - t$

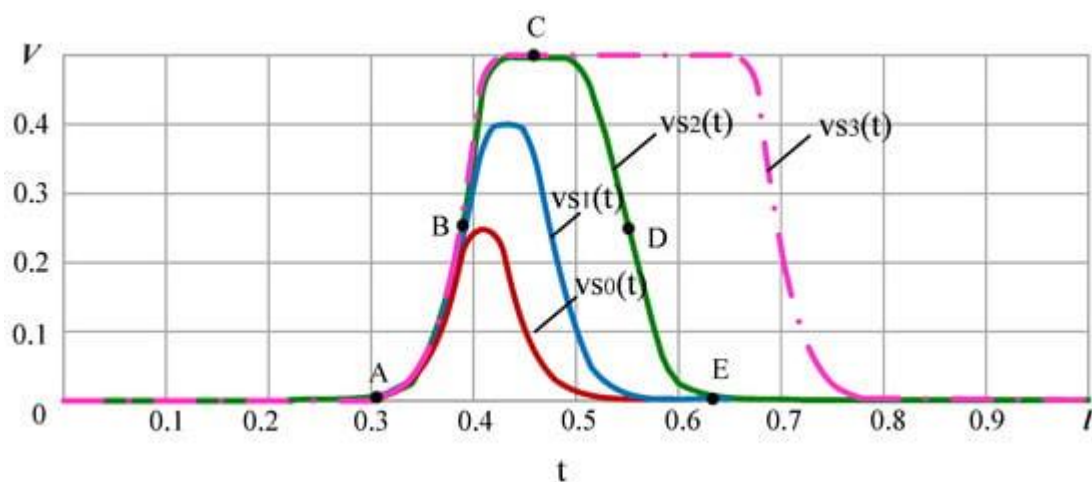


Рисунок 4.3 - Зміна форми та амплітуди відеосигналу зі зміною ширини світлової зони

4.3 Результати експериментальних досліджень оптико-електронного пристрою на основі мультискану

У роботі запропоновано метод повної реконструкції профілю світлової зони (як широкої, так і вузької) з використанням ССП.

Було проведено ряд експериментів по відновленню геометрії профілю LZ і просторового розташування на мультискані. Для цього на фоточутливій поверхні МС утворювалася світлова зона, яка поступово розширювалася. Ширину мультискану приймали за 1, а вимірювання координат і ширини зони проводили у відносних одиницях її довжини. Ширина світлової зони змінювалася від 0,00001 до 0,1 залежно від довжини мультискану, а її відеосигнал оцифровували та обробляли цифровим методом із застосуванням МП. Для реконструкції профілю світлової зони та координат її середини використовували як традиційний підхід з використанням першої похідної ВС, так і альтернативний метод з використанням ССП, запропонований у цій роботі.

На рис. 4.4 наведено результати вимірювання нормованого значення ширини ЛЗ, яке було виміряно згідно з виразами (25) і (26) для ПСП. У разі традиційного методу вимірювання ширини світлової зони спостерігається мультискановий відеосигнал $v(t)$ була диференційована; після цього визначали екстремуми першої похідної відеосигналу. За межі світлової зони брали координати екстремуму.

З аналізу діаграм на рис. 4.4, а випливає, що відбудова ширини ЛЗ за допомогою ПСП (штрихова лінія) відбувається за законом, близьким до лінійного, у всьому діапазоні значень ширини зони (в області вузьких зон). Водночас видно, що в традиційному методі реконструкції ширини світлової зони (суцільна лінія на діаграмах на рис. 4.4,а) ширина зони характеризується нелінійною залежністю, що дає значне завищення від значення ширини для вузьких зон. Діаграми відносної похибки при реконструкції світлової зони наведені на рис. 4.4,б і свідчать про високу точність реконструкції ширини зони

з використанням ССП навіть в області дуже вузьких ЛЗ. Слід також зазначити, що в області широких ЛЗ обидва методи дають можливість оцінити ширину зони з високою точністю і достатньо близько до реальних значень. Тому на діаграмах на рисунку 8 діапазон нормованих значень ширини ЛЗ обмежений значенням 0,025.

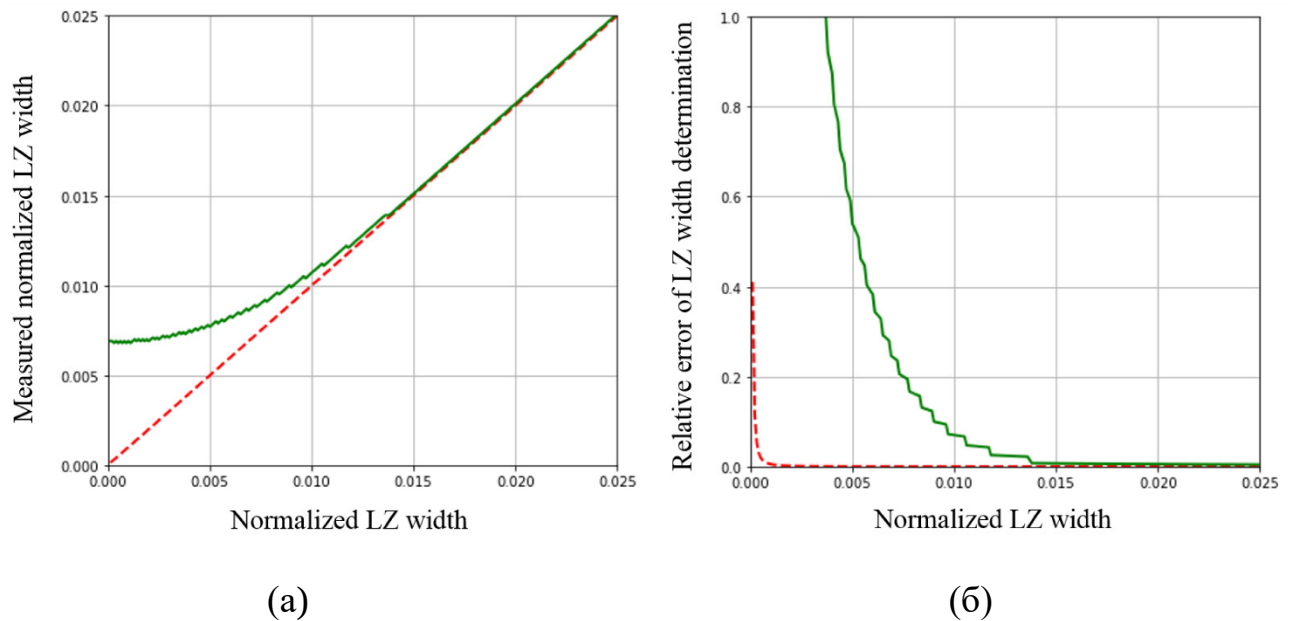


Рисунок 4.4 - Результати реконструкції ширини світлової зони за відеосигналом $v(t)$ (суцільна лінія — для традиційного методу реконструкції з використанням першої похідної відеосигналу $v(t)$; пунктирна лінія — для реконструкції з використанням ССП: залежність вимірюваних значень нормованої ширини ЛЗ від реальних значень ширини (а); відносна похибка визначення ширини ЛЗ залежно від її реального значення (б))

На рис. 4.5 представлені результати вимірювань нормованої яскравості світлової зони. Для нормалізації значення яскравості зони було прийнято рівним 1. Яскравість обчислювалася з використанням SSP. При реконструкції яскравості LZ традиційним методом екстремум спостережуваного мультисканового відеосигналу $v(t)$ було знайдено. Аналіз діаграм на рисунку 4.5,а показує, що в області вузьких зон звичайний метод дає значну втрату яскравості. Це пов'язано з розмиттям прямокутного імпульсу ЛЗ мультисканом

і «зниженням» амплітуди імпульсу, особливо в області вузької зони, що проілюстровано на рис. 4.3. І навпаки, визначення яскравості освітленої зони запропонованим методом з використанням ССП дозволяє з високою точністю відновити її величину і в області вузьких зон. На рис. 4.5,б показано залежності відносної похибки визначення яскравості ЛЗ. З аналізу залежностей випливає, що використання традиційного методу для реконструкції амплітуди змщеного вузького прямокутного імпульсу неможливе через високі значення похибки. У разі використання ССП існує можливість високоточної реконструкції яскравості ЛЗ для дуже вузьких зон.

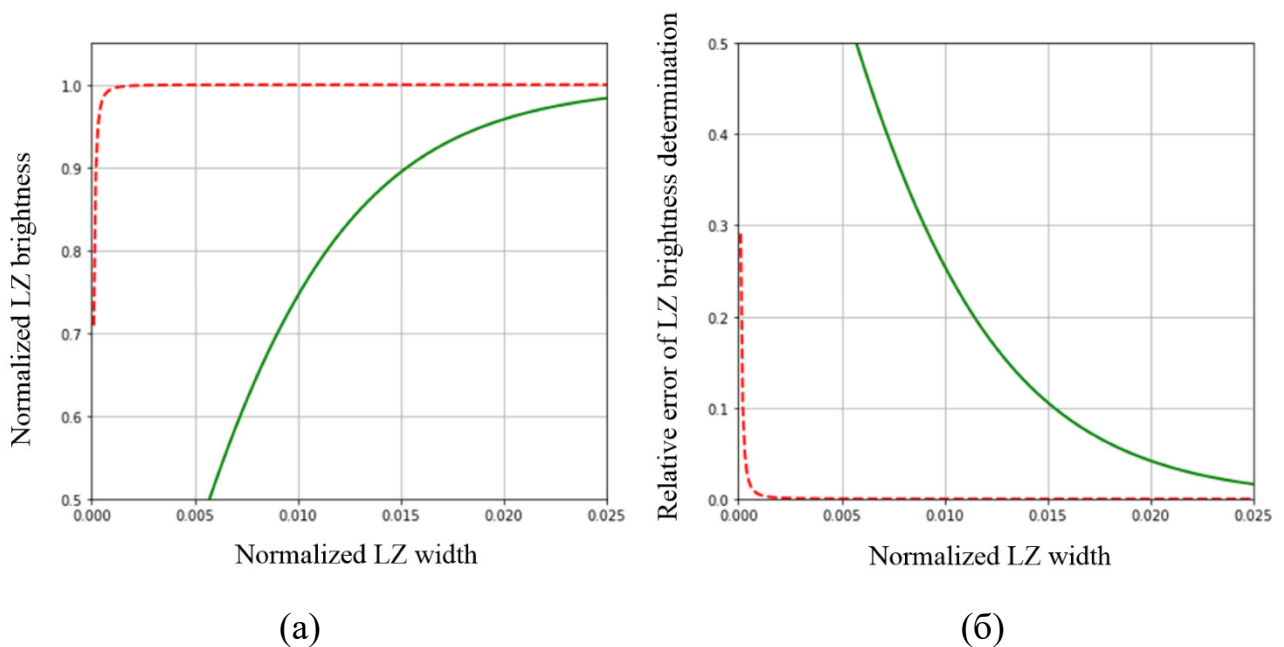


Рисунок 4.5 - Результати реконструкції яскравості світлової зони за відеосигналом $v(t)$ (суцільна лінія - традиційний спосіб реконструкції за сигналом $v(t)$; штрихова лінія - реконструкція з використанням ССП: залежність вимірних значень нормованої яскравості освітленої зони від реальних значень її нормованої ширини (а); відносна похибка визначення яскравості ЛЗ залежно від реального значення її нормованої ширини (б)

На рис. 4.6 наведено результати експериментів з локалізації світлової плями на поверхні мультискану для ЛЗ різної ширини. Для цього в центрі мультискану була сформована світлова зона. Лівий край зони залишався

нерухомим і його координата відповідала значенню 0,5. Правий край зони перемістили вправо, зробивши зону ширшою (як це було в попередніх експериментах). У цьому випадку середина ЛЗ також змістилася вправо. Для кожного стану світлової зони за спостережуваним сигналом визначалася координата середини ЛЗ $v(t)$ з використанням двох методів: по-перше, традиційним методом як середнє арифметичне екстремумів координат першої похідної відеосигналу $v(t)$, а потім запропонованим методом із застосуванням ПСП. Обидві діаграми на рис. 4.6 збігаються, що свідчить про однакову точність локалізації світлової плями на мультискані обома методами у всьому діапазоні значень ширини ЛЗ.

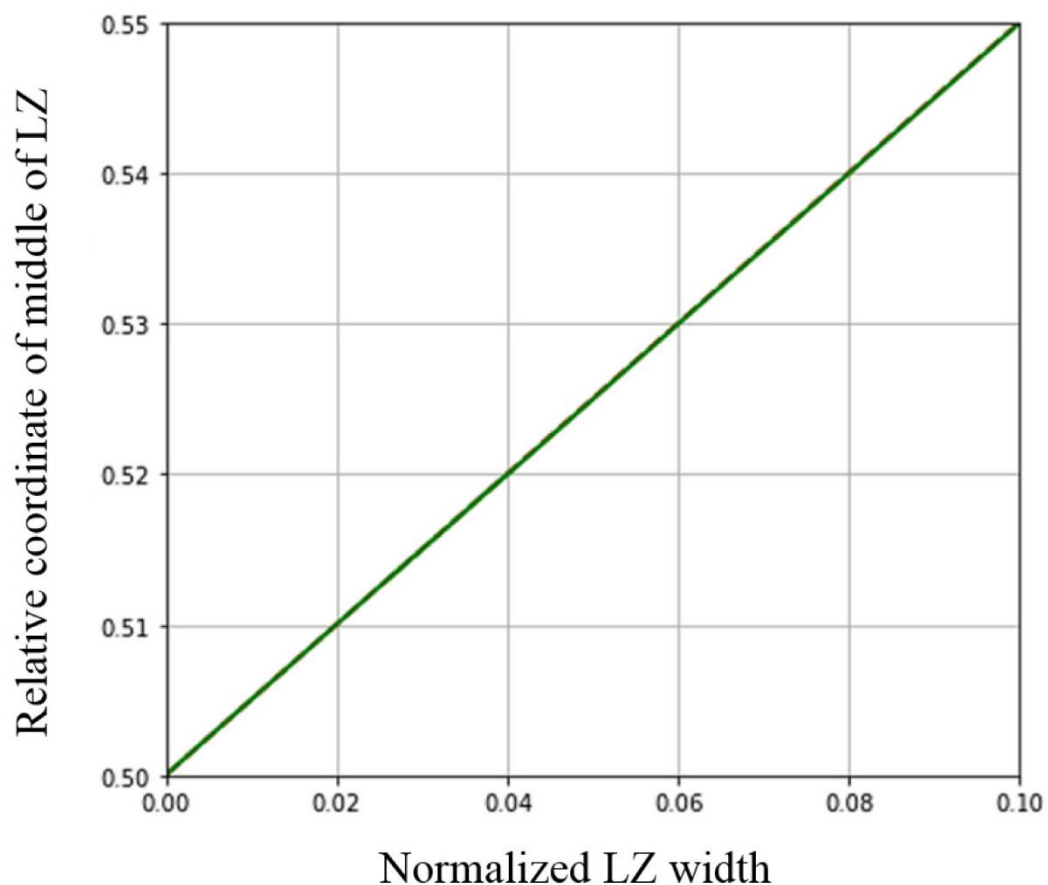


Рисунок 4.6 - Результати визначення координат середини світлової зони за відеосигналом $v(t)$

4.4 Висновки до розділу

У розділі розроблено математичну модель мультискана зі сканісторним включенням, отримано вирази для його інтегрального вихідного струму та досліджено механізм їх формування.

Показано, що віднімання дисипації імпульсної характеристики від дисипації відеосигналу дозволяє з високою точністю врахувати величину розмиття відеосигналу при оцінці ширини світлової зони, відповідно до властивості адитивного накопичення розсіювання.

Результати моделювання показують, що при роботі телевізійного мультискану в аналоговому режимі при ширині ЛЗ, що перевищує вольт-апертуру $VA \geq 8 U_0$, відеосигнал має трапецієподібну форму, а при зменшенні ширини зони до моменту її появи зникнення - дзвонової форми.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Науково-технічна розробка має право на існування та впровадження, якщо вона відповідає вимогам часу, як в напрямку науково-технічного прогресу та і в плані економіки. Тому для науково-дослідної роботи необхідно оцінювати економічну ефективність результатів виконаної роботи.

Магістерська кваліфікаційна робота «Оптико-електронний пристрій для вимірювання геометричних параметрів об'єктів для систем технічного зору» відноситься до науково-технічних робіт, які орієнтовані на виведення на ринок (або рішення про виведення науково-технічної розробки на ринок може бути прийнято у процесі проведення самої роботи), тобто коли відбувається так звана комерціалізація науково-технічної розробки. Цей напрямок є пріоритетним, оскільки результатами розробки можуть користуватися інші споживачі, отримуючи при цьому певний економічний ефект. Але для цього потрібно знайти потенційного інвестора, який би взявся за реалізацію цього проекту і переконати його в економічній доцільності такого кроку.

5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Оптико-електронний пристрій для вимірювання геометричних параметрів об'єктів для систем технічного зору» є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

В усьому світі застосування людської праці приводить до великої кінцевої вартості продукту, застосування ж систем розпізнавання зводить ці витрати практично, до нуля як у системах технічної діагностики механізмів, так і в медицині, сільському господарстві, у конвеєрному виробництві, при контролі

будь-яких видимих геометричних параметрів у будь-якій галузі народного господарства.

Однак зображення в природі дуже складні з погляду їх оцифровки, і приведення до визначеного класу. Як наслідок такої складності – повільність у роботі систем розпізнавання, а також їхня громіздкість у плані практичної реалізації. Ці недоліки, крім самих себе волочуть ще і високий рівень собівартості, тому що їхнє рішення вимагає великих інтелектуальних і апаратних витрат. Тому і виникає проблема в виборі недорогого, простого і швидкого пристрою, здатного вирішити поставлені перед ним задачі.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, наведеними в табл. 5.1 [36].

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	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 працездатність продукту в реальних
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

Продовження таблиці 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

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
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	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 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

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

Результати оцінювання науково-технічного рівня та комерційного потенціалу науково-технічної розробки потрібно звести до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	4	4	5
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	2	3	2
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	3	3	2
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	4	3	4
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	2	2	3
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	3	3
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	2	2	2

Продовження таблиці 5.2 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	4	4	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	3	2
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	3	4	4
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	3	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	4	3
Сума балів	36	39	38
Середньоарифметична сума балів $СБ_c$	37,7		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 5.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 5.3 [36].

Таблиця 5.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

Середньоарифметична сума балів $СБ_c$, розрахована на основі висновків	Науково-технічний рівень та комерційний потенціал розробки
41...48	Високий
31...40	Вище середнього
21...30	Середній
11...20	Нижче середнього
0...10	Низький

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Оптико-електронний пристрій для вимірювання геометричних параметрів об'єктів для систем технічного зору» становить 37,7 бала, що, відповідно до таблиці 5.3, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

5.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки

Окрім комерційного аудиту розробки доцільно також розглянути технічний рівень якості розробки, розглянувши її основні технічні показники. Ці показники по-різному впливають на загальну якість проектної розробки.

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення розрахуємо за формулою [37]

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (5.1)$$

де k – кількість найбільш важливих технічних показників, які впливають на якість нового технічного рішення;

α_i – коефіцієнт, який враховує питому вагу i -го технічного показника в загальній якості розробки. Коефіцієнт α_i визначається експертним шляхом

і при цьому має виконуватись умова $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$;

β_i – відносне значення i -го технічного показника якості нової розробки.

Відносні значення β_i для різних випадків розраховуємо за такими формулами:

- для показників, зростання яких вказує на підвищення в лінійній залежності якості нової розробки

$$\beta_i = \frac{I_{ni}}{I_{ai}}, \quad (5.2)$$

де I_{ni} та I_{ai} – чисельні значення конкретного i -го технічного показника якості відповідно для нової розробки та аналога;

- для показників, зростання яких вказує на погіршення в лінійній залежності якості нової розробки

$$\beta_i = \frac{I_{ai}}{I_{ni}}; \quad (5.3)$$

Використовуючи наведені залежності можемо проаналізувати та порівняти техніко-економічні характеристики аналогу та розробки на основі отриманих наявних та проектних показників, а результати порівняння зведемо до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога.

Показники (параметри)	Одиниця вимірю- вання	Аналог	Проектований пристрій	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Напруга живлення	В	5	5	1	0,2
Діапазон вимірювань	м.	50	25	2	0,25
Маса	кг	0,44	0,3	1,33	0,15
Термін безвід- мовної роботи	год.	9000	10000	1,11	0,25
Точність вимірювання	мм	±1,5	±1	1,5	0,15

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення складе

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 1 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,25 + 1,33 \cdot 0,15 + 1,11 \cdot 0,25 + 1,5 \cdot 0,15 = 1,40.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,40 рази.

5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Оптико-електронний пристрій для вимірювання геометричних параметрів об'єктів для систем технічного зору», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

5.3.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [36]

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.4)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, (грн.);

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=21$ дні.

$$Z_o = 18500,00 \cdot 10 / 21 = 7727,30 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник проекту	18500,00	772,73	10	7727,30
Ст. науковий співробітник	18000,00	750,00	10	7500,00
Інженер-фотометрист	18000,00	681,82	5	3409,10
Технік	8000,00	380,95	10	3809,52
Інженер-розробник мікропроцесорної техніки	18000,00	857,14	21	18000,00
Консультант-аналітик оптичних систем	18200,00	866,67	5	4333,33
Всього				44779,26

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ($З_p$) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Оптико-електронний пристрій для вимірювання геометричних параметрів об'єктів для систем технічного зору» розраховуємо за формулою

$$З_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.5)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, (грн/год.);

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.6)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=8000,00$ (грн.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [36];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 21$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_I = 8000,00 \cdot 1,10 \cdot 1,15 / (21 \cdot 8) = 60,24 \text{ (грн.)}.$$

$$З_{pI} = 60,24 \cdot 16,00 = 963,81 \text{ (грн.)}.$$

Таблиця 5.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
Встановлення допоміжного обладнання	16,00	2	1,10	60,24	963,81
Інсталяція програмного забезпечення	4,00	4	1,50	82,14	328,57
Встановлення фото-оптичних систем	2,30	5	1,70	93,10	214,12
Відлагодження фото-оптичних модулів	2,50	5	1,70	93,10	232,74

Продовження таблиці 5.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Формування експериментальної моделі оптичного комплексу	12,00	2	1,10	60,24	722,86
Монтаж дзеркал	3,50	3	1,35	73,93	258,75
Монтаж рефракційних решіток	4,00	3	1,35	73,93	295,71
Узгодження параметрів модулів оптичних даних	4,00	5	1,70	93,10	372,38
Монтаж системи	6,00	4	1,50	82,14	492,86
Всього					3881,80

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$Z_{\text{доп}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{доп}}}{100\%}, \quad (5.7)$$

де $H_{\text{доп}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 10%.

$$Z_{\text{доп}} = (44779,26 + 3881,80) \cdot 10 / 100\% = 4866,11 \text{ (грн.)}.$$

5.3.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{доп}}) \cdot \frac{H_{\text{зн}}}{100\%} \quad (5.8)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Зн = (44779,26 + 3881,80 + 4866,11) \cdot 22 / 100\% = 11775,98 \text{ (грн.)}.$$

5.3.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Оптико-електронний пристрій для вимірювання геометричних параметрів об'єктів для систем технічного зору».

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (5.9)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, (грн/кг.);

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{ej} – вартість відходів j -го найменування, (грн/кг.).

$$M_1 = 2,0 \cdot 205,00 \cdot 1,1 - 0 \cdot 0 = 451,00 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Папір канцелярський офісний (А4)	205,00	2,0	0	0	451,00
Папір для заміток (А5)	76,00	4,0	0	0	334,40
Папір креслярський (А1)	60,00	3,0	0	0	198,00
Папір креслярський (А3)	30,00	3,0	0	0	99,00
Начиння канцелярське	210,00	1,0	0	0	231,00
Органайзер офісний	135,00	5,0	0	0	742,50
Картридж для плотера (НР-2106)	765,00	1,0	0	0	841,50
Картридж для принтера (НР-2002)	980,00	4,0	0	0	4312,00
Диск оптичний (CD-R)	27,00	4,0	0	0	118,80
Диск оптичний (CD-RW)	28,00	4,0	0	0	123,20
FLASH-пам'ять (64 ГБ)	290,00	0,0200	0	0	6,38
Припій	650,00	0,0100	0	0	7,15
Флюс БС-2	400,00	0,0200	0	0	8,80
Спиртобензин суміш	50,00	0,0500	0	0	2,75
Дріт монтажний	15,00	0,0100	0	0	0,17
Всього					7476,65

5.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_6), які використовують при проведенні НДР на тему «Оптико-електронний пристрій для вимірювання геометричних

параметрів об'єктів для систем технічного зору», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

$$K_{\varepsilon} = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (5.10)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, (грн.);

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_{\varepsilon} = 15 \cdot 75,00 \cdot 1,1 = 1237,50 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, (грн.)	Сума, (грн.)
Мікросхеми	15	75,00	1237,50
Резистори SMD	30	0,75	24,75
Конденсатори SMD	18	0,75	14,85
Фотоматриця	4	350,00	1540,00
Лазер	1	600,00	660,00
Плата	2	50,00	110,00
Об'єктив	1	400,00	440,00
Роз'єми	4	2,50	11,00
Корпус	1	250,00	275,00
Індикатор	1	350,00	385,00
Клавіатура	1	25,00	27,50
Деталі кріплення	48	0,25	13,20
Електролітичні конденсатори	10	30,00	330,00
Всього			5068,80

5.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного

для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спекустаткування розраховуємо за формулою

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (5.11)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спекустаткування даного виду, марки, (грн.);

$C_{\text{пр.і}}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 21500,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 23650,00 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Витрати на придбання спекустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, (грн.)	Вартість, (грн.)
Оптоелектронний блок	1	21500,00	23650,00
Інтерфейс	1	680,00	748,00
Комплект датчиків	1	1800,00	1980,00
Мікроконтролер Mega MicrochipTechnology - ATMEGA 8535	1	820,00	902,00
Блок управління на базі сенсорного дисплею RVT70AQFFWR00 - RIVER	1	4900,00	5390,00
Всього			32670,00

5.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{прог}} \cdot C_{\text{прог.і}} \cdot K_i, \quad (5.12)$$

де $C_{\text{прог}}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, (грн.);

$C_{\text{прог.і}}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{\text{прог}} = 42,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 46,20 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Ansys Electronics Desktop Student	1	42,00	46,20
Абонентна плата доступу до мережі Internet	1	380,00	418,00
Всього			464,20

5.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою

$$A_{обл} = \frac{Ц_{б}}{T_{в}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.13)$$

де $Ц_{б}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, (грн.);

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_{в}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (34800,00 \cdot 1) / (3 \cdot 12) = 966,67 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, (грн.)	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, (грн.)
Програмно-аналітичний комплекс	34800,00	3	1	966,67
Графічно-обчислювальний комплекс обробки даних	32840,00	3	1	912,22
Програмний продукт обробки даних	11600,00	3	1	322,22
Місце оператора спеціалізоване	9200,00	5	1	153,33

Продовження таблиці 5.11 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Офісна оргтехніка	11300,00	4	1	235,42
Дослідницька лабораторія	211500,00	30	1	587,50
ОС Windows 11	7791,00	3	1	216,42
Офісне програмне забезпечення (Microsoft Office)	8250,00	3	1	229,17
Всього				3622,94

5.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (5.14)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 10,98$ (грн.);

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,32 \cdot 160,0 \cdot 10,98 \cdot 0,95 / 0,97 = 562,18 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.12.

Таблиця 5.12 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, (грн.)
Програмно-аналітичний комплекс	0,32	160,0	562,18
Графічно-обчислювальний комплекс обробки даних	0,25	120,0	329,40
Пристрій передачі даних	0,05	160,0	87,84
Місце оператора спеціалізоване	0,07	5,0	3,84
Офісна оргтехніка	0,10	120,0	131,76
Радіомонтажне обладнання	0,12	15,0	19,76
Всього			1134,78

5.3.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Оптико-електронний пристрій для вимірювання геометричних параметрів об'єктів для систем технічного зору» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» відсутні.

5.3.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» відсутні.

5.3.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$I_{\text{с}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{іс}}}{100\%}, \quad (5.15)$$

де $H_{\text{іс}}$ – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{\text{іс}} = 50\%$.

$$I_{\text{с}} = (44779,26 + 3881,80) \cdot 50 / 100\% = 24330,53 \text{ (грн.)}.$$

5.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{\text{нзв}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{нзв}}}{100\%}, \quad (5.16)$$

де $H_{\text{нзв}}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{\text{нзв}} = 100\%$.

$$B_{\text{нзв}} = (44779,26 + 3881,80) \cdot 100 / 100\% = 48661,05 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Оптико-електронний пристрій для вимірювання геометричних параметрів об'єктів для систем технічного зору» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{ood} + Z_n + M + K_v + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_v + B_{нзв}. \quad (5.17)$$

$$B_{заг} = 44779,26 + 3881,80 + 4866,11 + 11775,98 + 7476,65 + 5068,80 + 32670,00 + 464,20 + 3622,94 + 1134,78 + 0,00 + 0,00 + 24330,53 + 48661,05 = 188732,09 \text{ (грн.)}.$$

Загальні витрати ZB на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (5.18)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta=0,95$.

$$ZB = 188732,09 / 0,95 = 198665,36 \text{ (грн.)}.$$

5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнюючим позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів тієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку.

Результати дослідження проведені за темою «Оптико-електронний пристрій для вимірювання геометричних параметрів об'єктів для систем

технічного зору» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

ΔN – збільшення кількості споживачів пристрою, у періоди часу, що аналізуються, від покращення його певних характеристик;

Показник	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб	1000	1500	1400	900

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 10000 осіб;

C_o – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 11000,00 (грн.);

$\pm \Delta C_o$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo -1578,00 (грн.).

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора $\Delta \Pi_i$ для кожного із 4-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою [36]:

$$\Delta \Pi_i = (\pm \Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\rho}{100}\right), \quad (5.19)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2024 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).

Прийmemo $\rho = 38\%$;

$\mathcal{G}$ – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2024 році $\mathcal{G} = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta\Pi_1 = (-1578,00 \cdot 10000,00 + 9422,00 \cdot 1000) \cdot 0,83 \cdot 0,38 \cdot (1 - 0,18/100\%) = -1644356,82 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta\Pi_2 = (-1578,00 \cdot 10000,00 + 9422,00 \cdot 2500) \cdot 0,83 \cdot 0,38 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 2010832,70 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (-1578,00 \cdot 10000,00 + 9422,00 \cdot 3900) \cdot 0,83 \cdot 0,38 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 5422342,92 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\Delta\Pi_4 = (-1578,00 \cdot 10000,00 + 9422,00 \cdot 4800) \cdot 0,83 \cdot 0,38 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 7615456,64 \text{ (грн.)}.$$

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків $ПП$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (5.20)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, (грн.);

T – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau=0,2$;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned} III = & -1644356,82/(1+0,2)^1 + 2010832,70/(1+0,2)^2 + 5422342,92/(1+0,2)^3 + \\ & + 7615456,64/(1+0,2)^4 = - \\ & 1370297,35 + 1396411,60 + 3137929,93 + 3672577,47 = 6836621,64 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (5.21)$$

де $k_{инв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо $k_{инв}=2$;

$3B$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 198665,36 (грн.).

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 198665,36 = 397330,72 \text{ (грн.)}.$$

Абсолютний економічний ефект $E_{абс}$ для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме

$$E_{абс} = III - PV \quad (5.22)$$

де III – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 6836621,64 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 397330,72 (грн.).

$$E_{abc} = III - PV = 6836621,64 - 397330,72 = 6439290,93 \text{ (грн.)}.$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$E_g = T_{ж} \sqrt[4]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (5.23)$$

де E_{abc} – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 6439290,93 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 397330,72 (грн.);

$T_{ж}$ – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримування позитивних результатів від її впровадження, 4 роки.

$$E_g = T_{ж} \sqrt[4]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 = (1 + 6439290,93/397330,72)^{1/4} = 1,04.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій τ_{min}

$$\tau_{min} = d + f, \quad (5.24)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d = 0,1$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, прийmemo 0,25.

$\tau_{min} = 0,1 + 0,25 = 0,35 < 1,04$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки вища мінімальної

внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Оптико-електронний пристрій для вимірювання геометричних параметрів об'єктів для систем технічного зору» доцільно.

Період окупності інвестицій $T_{ок}$ які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки

$$T_{ок} = \frac{1}{E_{\epsilon}}, \quad (5.25)$$

де E_{ϵ} – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 1,04 = 0,96 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

5.5 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Оптико-електронний пристрій для вимірювання геометричних параметрів об'єктів для систем технічного зору» становить 37,7 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,40 рази.

Також термін окупності становить 0,96 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Оптико-електронний пристрій для вимірювання геометричних параметрів об'єктів для систем технічного зору».

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення точності вимірювань та особливості вимірювання геометричних параметрів об'єктів оптико-електронними системами на основі телевізійного мультискану в аналоговому режимі в режимі сканістора. Під час виконання магістерської кваліфікаційної роботи встановлено, що:

- 1) Оптико-електронні пристрої відіграють ключову роль у розвитку сучасних технологій та наукових досліджень.
- 2) Оптико-електронні пристрої забезпечують високу точність вимірювань та швидкість обробки даних. Це дозволяє оптимізувати виробничі процеси, знижувати витрати на контроль якості та підвищувати продуктивність.
- 3) Безконтактні методи вимірювання, що використовують оптико-електронні технології, зменшують ризики для операторів та об'єктів дослідження. Це особливо важливо в випадках, коли об'єкти є небезпечними, гарячими або делікатними.

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи розроблено пристрій оптоелектронного вимірювача геометричних параметрів об'єктів. У порівнянні з аналогічними пристроями, даний пристрій є більш економічним і дешевшим за рахунок використання сучасної елементної бази (безвиводні пасивні компоненти, мікросхеми в планарних корпусах), що дозволило значно зменшити габарити і масу плат, автоматизувати процеси пайки.

Показано, що згортка вхідного сигналу прямокутного профілю світлової зони з імпульсною характеристикою мультискану пояснює розмиття країв відеосигналу. Величина розмазування повністю визначається імпульсною характеристикою і не залежить від ширини зони. Встановлено, що сигнали дії від вузьких світлових зон суттєво розмиваються відносно їх ширини, і в цьому випадку традиційний метод визначення ширини зони за похідними відеосигналу перестає працювати.

Запропоновано метод повної реконструкції прямокутного профілю світлової зони (в тому числі вузької) у розробленому завадостійкому оптико-електронному вимірювальному приладі на основі мультискану з використанням просторово-структурних параметрів, де ширина світла зона відповідає протяжності, освітленість зони — яскравості, а її координата — центроїду. Показано, що віднімання дисипації імпульсної характеристики від дисипації відеосигналу дозволяє з високою точністю врахувати величину розмиття відеосигналу при оцінці ширини світлової зони, відповідно до властивості адитивне накопичення дисипації. Встановлено, що використання просторово-структурної моделі відеосигналу дозволяє розширити застосування оптико-електронних пристроїв на основі мультискану для високоточного контролю та вимірювання геометричних параметрів малих об'єктів.

Проаналізовано можливості пристрою у сфері безконтактного вимірювання та його переваги перед традиційними методами, такими як механічне вимірювання. Особливу увагу зосереджено на конструкції системи, що складається з оптичних елементів, фотодетекторів і електронних схем обробки сигналу. Висвітлено приклади практичного застосування оптико-електронних пристроїв у промисловості, зокрема у сфері контролю якості продукції.

В економічній частині МКР при оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, встановлено, що науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,40 рази.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Božek, P.; Lozkin, A.; Gorbushin, A. Geometrical Method for Increasing Precision of Machine Building Parts. In Proceedings of the International Conference on Manufacturing Engineering and Materials, ICMEM 2016, Nový Smokovec, Slovakia, 6–10 June 2016; Volume 149, pp. 576–580.
2. Vopat, T.; Peterka, J.; Kovac, M.; Buransky, I. The Wear Measurement Process of Ball Nose End Mill in the Copy Milling Operations. In Proceedings of the 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2013, Zadar, Croatia, 23–26 October 2013; Volume 69, pp. 1038–1047.
3. Buranský, I.; Morovič, L.; Peterka, J. Application of Reverse Engineering for Redesigning and Manufacturing of a Printer Spare Part. *Adv. Mater. Res.* 2013, 690–693, 2708–2712.
4. Abbasi, A.R.; Mahmoudi, M.R. Application of Statistical Control Charts to Discriminate Transformer Winding Defects. *Electr. Power Syst. Res.* 2021, 191, 106890.
5. Alies, M.Y.; Shelkovnikov, Y.K.; Sága, M.; Vaško, M.; Kuric, I.; Shelkovnikov, E.Y.; Korshunov, A.I.; Meteleva, A.A. Method and Device Based on Multiscan for Measuring the Geometric Parameters of Objects. *Processes* 2020, 9, 24.
6. Saha, O.; Dasgupta, P. Experience Learning From Basic Patterns for Efficient Robot Navigation in Indoor Environments. *J. Intell. Robot. Syst.* 2018, 92, 545–564.
7. Sahawneh, L.R.; Wikle, J.K.; Roberts, A.K.; Spencer, J.C.; McLain, T.W.; Warnick, K.F.; Beard, R.W. Ground-Based Sense-and-Avoid System for Small Unmanned Aircraft. *J. Aerosp. Inf. Syst.* 2018, 15, 501–517.
8. Guk, E.; Podlaskin, B. Novel Principle of Optical Signal Sensing Based on the Creation of Signal Statistical Estimates. In Proceedings of the IEEE Sensors, Limerick, Ireland, 28–31 October 2011; pp. 436–439.
9. Podlaskin, B.; Guk, E.; Sukharev, A. Registration Technique for Detection of Optical Signal Position under Intense Background Illumination. In Proceedings of the

2014 3rd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), Budva, Montenegro, 15–19 June 2014; IEEE: Piscataway, NJ, USA; pp. 232–235.

10. Podlaskin, B.; Guk, E. New Optical Sensor with Continuous Field of View for Real-Time Signal Processing. In Proceedings of the 2012 Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO), Bar, Montenegro, 19–21 June 2012; pp. 104–107.

11. Koltsov, P.P. Estimation of Image Blurring. *Comput. Opt.* 2011, 35, 95–102.

12. Tlach, V.; Alies, M.Y.; Kuric, I.; Sága, M.; Shelkovnikov, Y.K.; Arkhipov, I.O.; Korshunov, A.I.; Meteleva, A.A. Use of Spatio-Structural Parameters of the Multiscan Video Signal for Improving Accuracy of Control over Object Geometric Parameters. *Appl. Sci.* 2023, 13, 2994. <https://doi.org/10.3390/app13052994>

13. Murynov, A.I. Estimation of the Geometric and Topological Parameters of Image Details Based on the Method of Centroid Filtration. *Chem. Phys. Mesoscopy* 2002, 4, 161–177.

14. Horton, J.W.; Mazza, R.V.; Dym, H. The Scanistor—A Solid-State Image Scanner. *Proc. IEEE* 1964, 52, 1513–1528.

15. Podlaskin, B.G.; Guk, E.G. The Multiscan Position-Sensitive Photodetector. *Meas. Tech.* 2005, 48, 779–783.

16. Mahmoudi, M.R.; Nematollahi, A.R.; Soltani, A.R. On the Detection and Estimation of the Simple Harmonizable Processes. *Iran. J. Sci. Technology. Trans. A Sci.* 2015, 39, 239–242.

17. Lipanov, A.M.; Shelkovnikov, Y.K.; Osipov, N.I. Application of Discrete-Continuous Multi-Scan Structure in Optoelectronic Measuring Devices. *Sensors Syst.* 2003, 2, 46–49.

18. Podlaskin, B.G.; Guk, E.G.; Obolenskov, A.G.; Sukharev, A.A. Suppression of the Effect of High-Power Background Illumination on the Precision of Determination of the Optical Signal Coordinates. *Tech. Phys.* 2015, 60, 1384–1387.

19. Lipanov, A.M.; Shelkovnikov, Y.K.; Osipov, N.I. The Analysis of Multiscan Operation with Amplitude-Modulated Optical Signals. *Sensors Syst.* 2003, 10, 12–16.

20. Shelkovnikov, Y.K. Improving the Stability and Linearity of a Coordinate Characteristic of Scanistor Information and Measuring Systems. *Intell. Syst. Prod.* 2011, 17, 251–255.
21. Podlaskin, B.G. Spatial Filtering of Temporal Noise with the Hadamard Transformation Applied to a Photodetector Array. *Tech. Phys.* 2007, 52, 672–675.
22. Podlaskin, B.G.; Guk, E.G.; Nosenko, E.V. Multiscan-Based Double Synthetic Aperture for Locating the Illuminance Boundary of a Weak Optical Signal. *Tech. Phys.* 2002, 47, 726–730.
23. Shelkovnikov, Y.K.; Osipov, N.I.; Kiznertsev, S.R.; Meteleva, A.A. Influence of the Photoresistive Effect of Multiscan Resistive Dividers on Accuracy of Measurements of Geometrical Parameters of Objects. *Intell. Syst. Manuf.* 2018, 16, 57–64.
24. Skvortsov, B. V., Malysheva-Stroikova, A. N., & Zhiganov, I. Yu. (2014). An Optoelectronic Device for Remote Measurements of the Geometric Parameters of Sectional Objects. In *Measurement Techniques* (Vol. 57, Issue 7, pp. 765–769). *Springer Science and Business Media* LLC. <https://doi.org/10.1007/s11018-014-0533-x>
25. Alies, M. Y., Shelkovnikov, Y. K., Sága, M., Vaško, M., Kuric, I., Shelkovnikov, E. Y., Korshunov, A. I., & Meteleva, A. A. (2020). Method and Device Based on Multiscan for Measuring the Geometric Parameters of Objects. *Processes* (Vol. 9, Issue 1, p. 24). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/pr9010024>
26. Abbasi, A.R.; Mahmoudi, M.R.; Arefi, M.M. Transformer Winding Faults Detection Based on Time Series Analysis. *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 2021, 70, 3516210.
27. Bailey, D.; Wright, E. *Practical Fiber Optics*; Newnes: London, UK, 2003; ISBN 9780080473871.
28. Igor Shostko, Andriy Tevyashev, Yuliia Kulia, Anton Koliadin. Optical-Electronic System of Automatic Detection and High-Precise Tracking of Aerial Objects in Real-Time. *CEUR Workshop Proceedings*, Volume 2608, paper 59, p. 1-20. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2608/paper59.pdf>

29. Андрій Рябов, Дмитро Ільчук. Умови технологічних процесів GaAs для мікро- та нанорозмірних пристроїв. Матеріали IX міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем (СПРН-2023)», 15-17 листопада 2023 року, м. Вінниця, ВНТУ, С. 1-7. [Електронне наукове видання]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/spirn/spirn2023/paper/view/19134/15867>

30. Патент 152454 України на корисну модель по класу МПК G08B 13/08 (2006.01). Система охоронної сигналізації / Семенов А. О., Семенова О. О., Поворознюк Р. В., Откидач О. І., Рябов А. О. // Номер заявки: u 2021 07440. Дата подання заявки: 20.12.2021. Дата публікації відомостей про державну реєстрацію: 08.02.2023, Бюл. № 6. – 5 с.

31. Alies, M.Y.; Shelkovnikov, Y.K.; Sága, M.; Vaško, M.; Kuric, I.; Shelkovnikov, E.Y.; Korshunov, A.I.; Meteleva, A.A. Method and Device Based on Multiscan for Measuring the Geometric Parameters of Objects. Processes 2021, 9, 24. <https://doi.org/10.3390/pr9010024>

32. Černecký, J.; Božek, P.; Pivarčiová, E. A New System For Measuring The Deflection Of The Beam With The Support Of Digital Holographic Interferometry. J. Electr. Eng. 2015, 66, 53–56.

33. Božek, P.; Pivarciova, E. Registration of Holographic Images Based on Integral Transformation. Comput. Inform. 2012, 31, 1369–1383.

34. Karrach, L.; Pivarčiová, E.; Božek, P. Identification of QR Code Perspective Distortion Based on Edge Directions and Edge Projections Analysis. J. Imaging 2020, 6, 67.

35. Nikitin, Y.; Božek, P.; Peterka, J. Logical–Linguistic Model of Diagnostics of Electric Drives with Sensors Support. Sensors 2020, 20, 4429.

36. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

37. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.

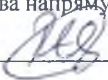
Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ

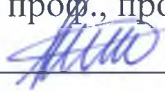
Виконав: студент 2-го курсу, групи МНТ-23м
спеціальності 176 Мікро- та наносистемна
техніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Рябов А.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., проф., професор кафедри ІРТС

 Семенов А.О.

(прізвище та ініціали)

«10» 12 2024 р.

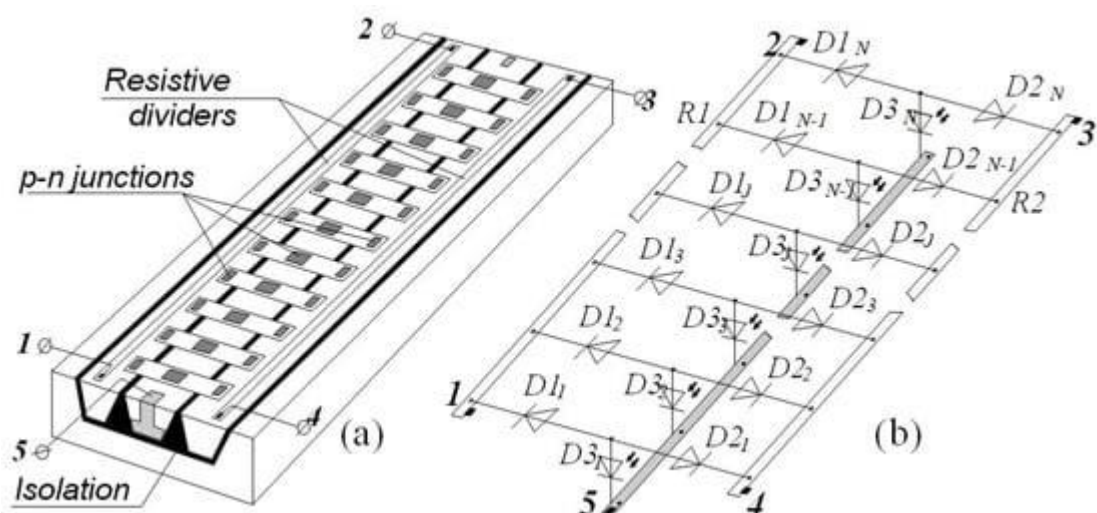


Рисунок 1 - Загальний вигляд мультискану та його еквівалентна схема

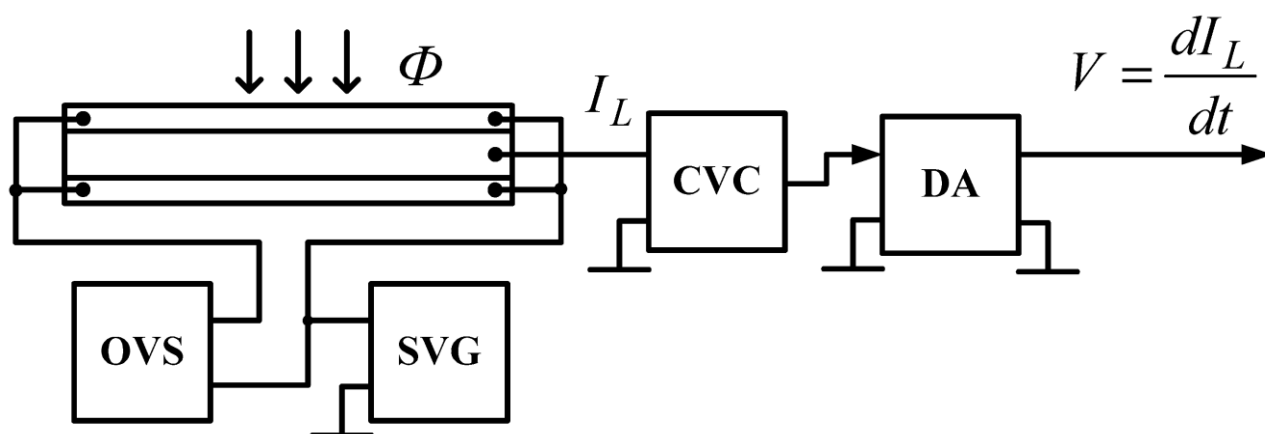


Рисунок 2 – Функціональна схема ввімкнення мультискану в режимі «сканістор»

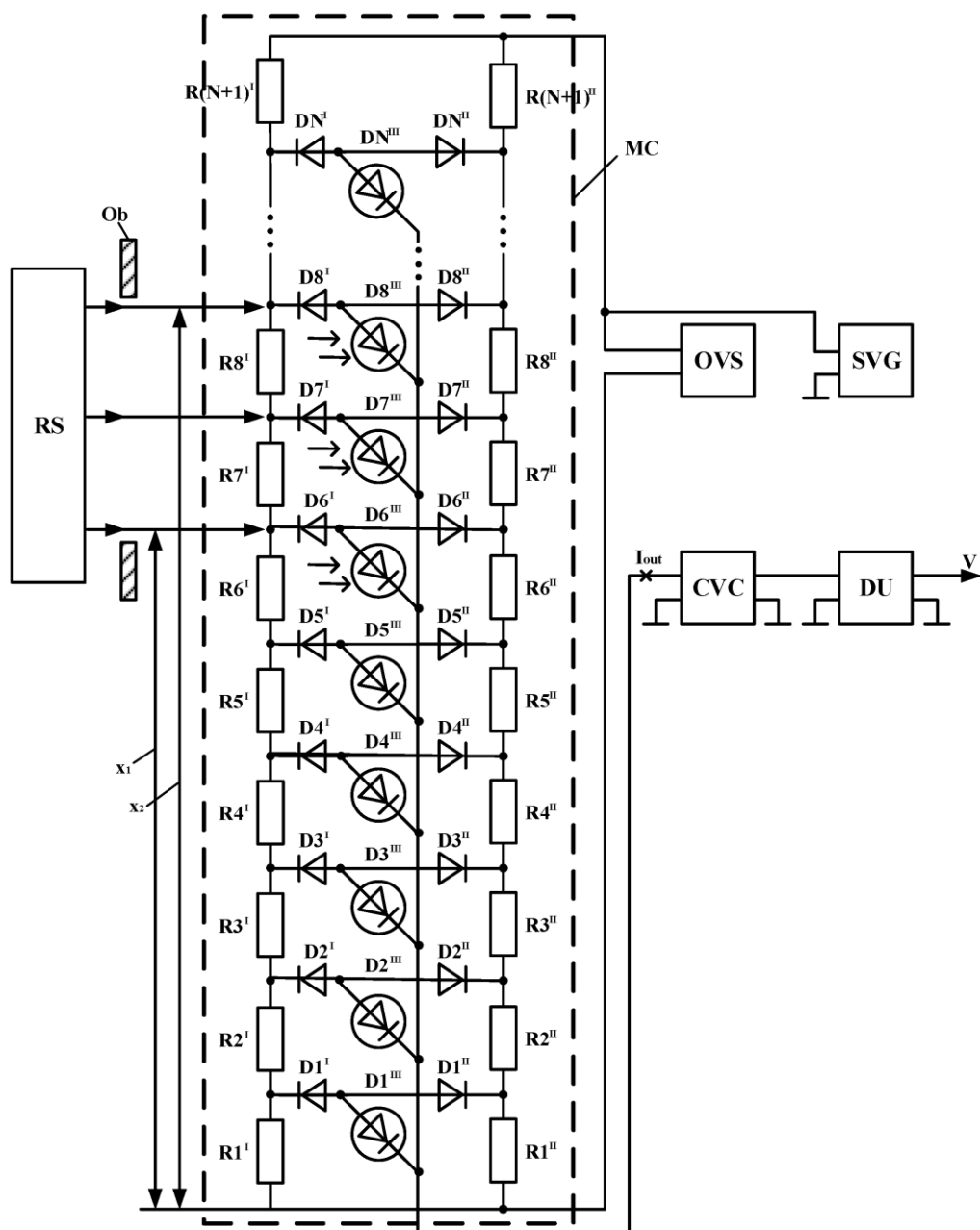


Рисунок 3 – Електрична схема ввімкнення_мультискану за схемою «сканістор»
в аналоговому режимі

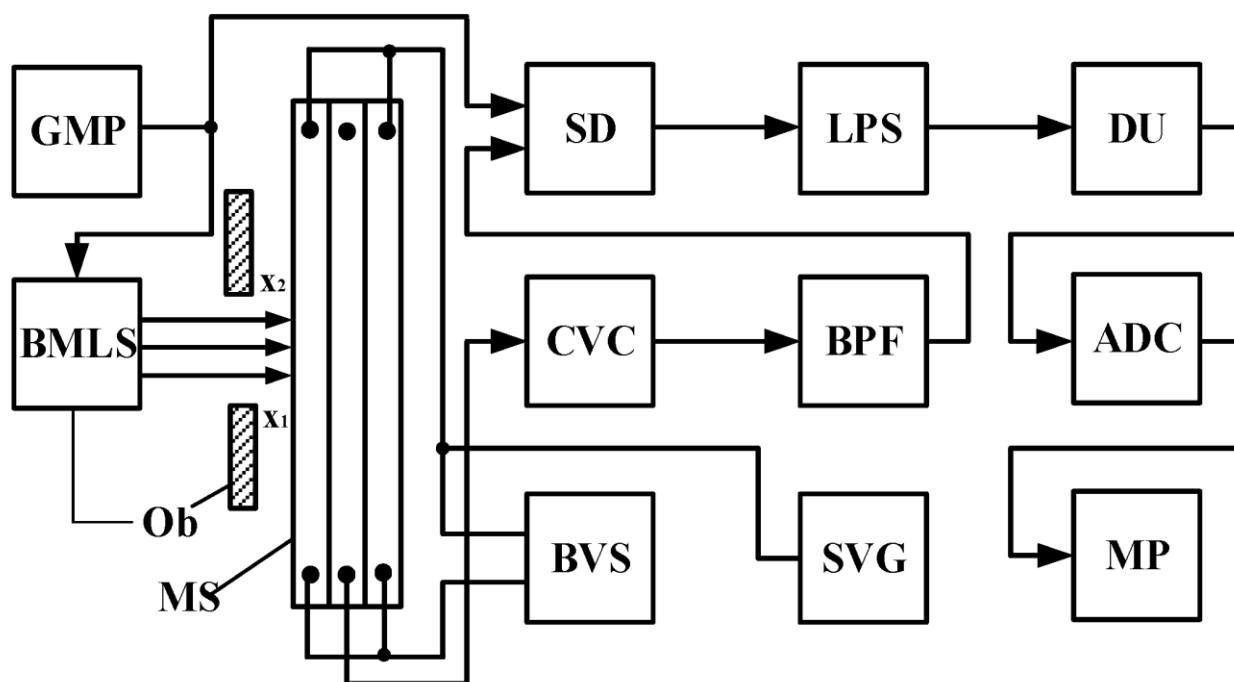


Рисунок 4 – Структурна схема мікроелектронного пристрою для вимірювання геометричних параметрів об'єктів на основі мультискану

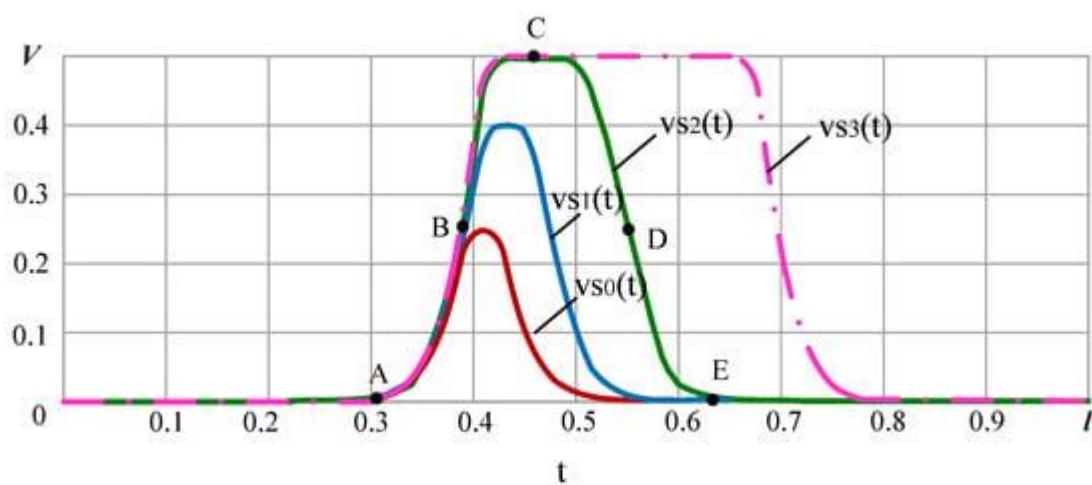
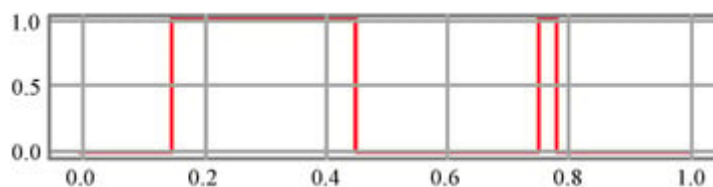
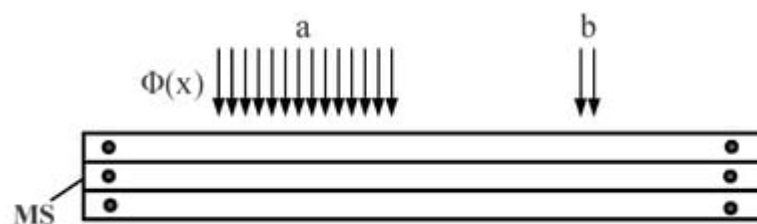
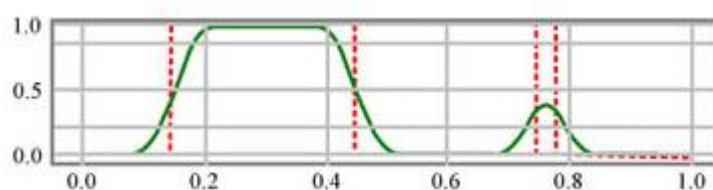


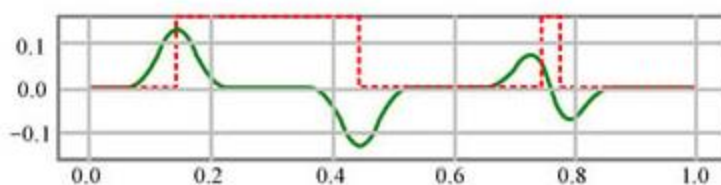
Рисунок 5 - Зміна форми та амплітуди відеосигналу зі зміною ширини світлової зони



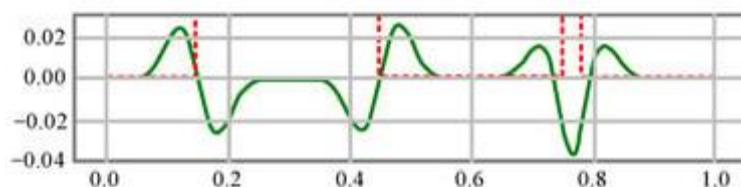
(a)



(б)



(в)



(г)

Рисунок 6 - Часові діаграми, що ілюструють роботу завадостійкого вимірювального пристрою на основі мультискану. (а) дія $f(x)$ – профіль світлової зони; (б) відгук $V(t^{\wedge})$ – відеосигнал MOD (суцільна лінія); (в , г) ілюструють етапи традиційної обробки відеосигналу з використанням його першої та другої похідних

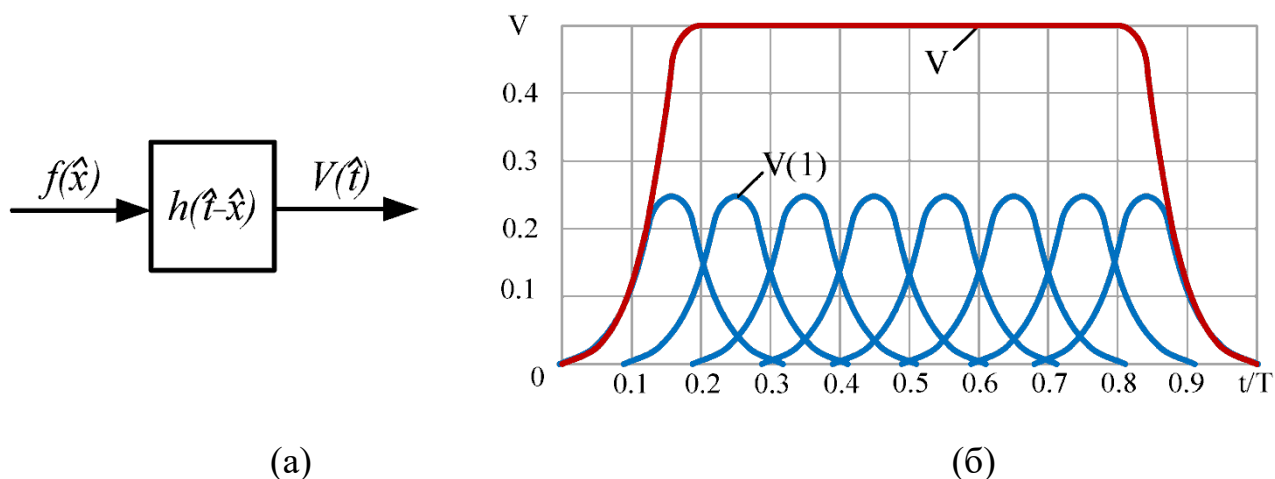


Рисунок 7 - Механізм формування мультисканового відеосигналу: а – схема згортки параметрів імпульсної характеристики та світлової зони; б – сумарний відеосигнал V мультискану та елементарні відеосигнали $V(1)$ його фотодіодних осередків

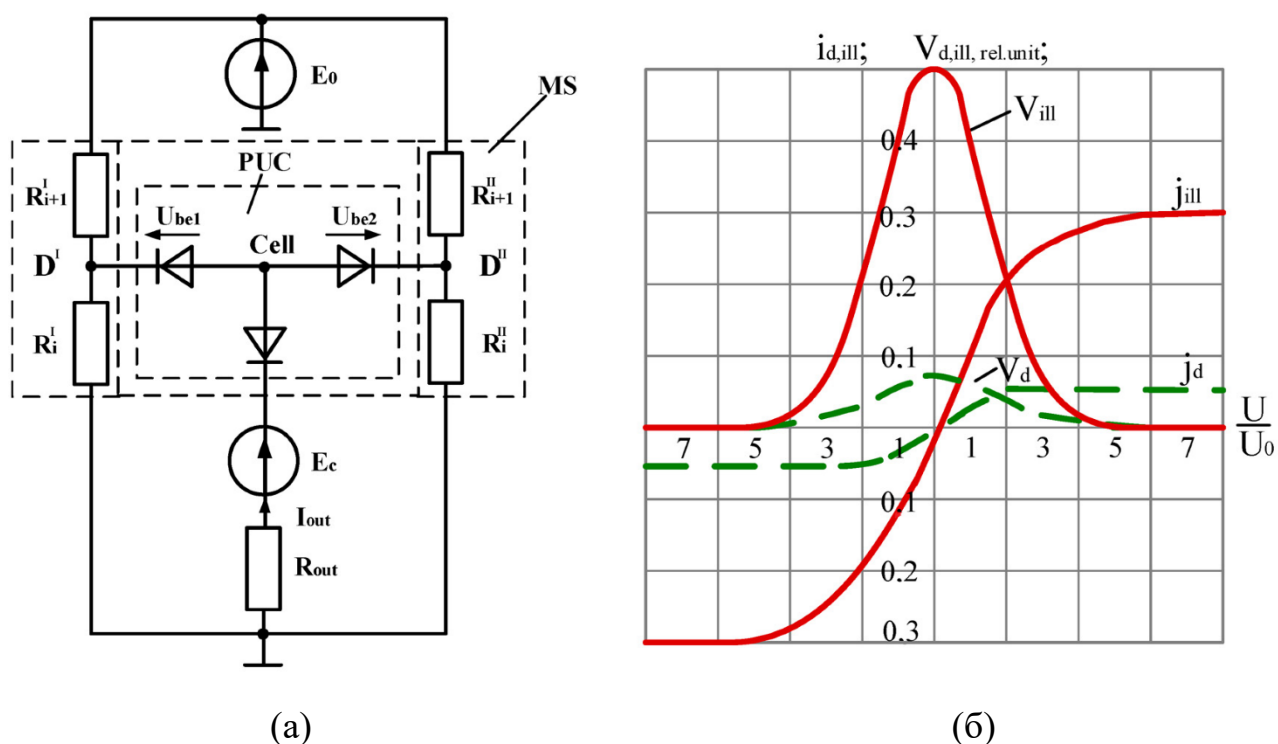


Рисунок 8 - Еквівалентна схема елементарної комірки мультисканового фотодіода в сканісторі (а); вольт-амперна характеристика та відеосигнал (у темряві – пунктирна лінія; при освітленні – суцільна) (б)

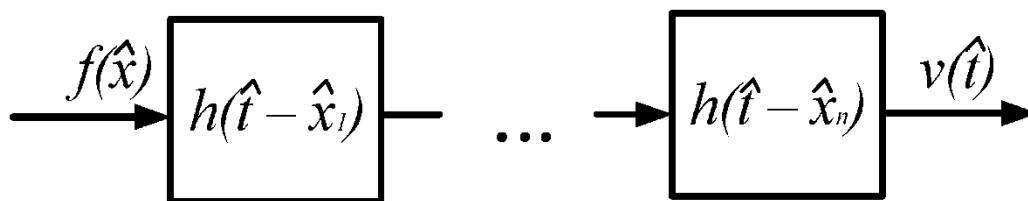


Рисунок 9 - Узагальнена математична модель оптико-електронного пристрою на основі мультискану

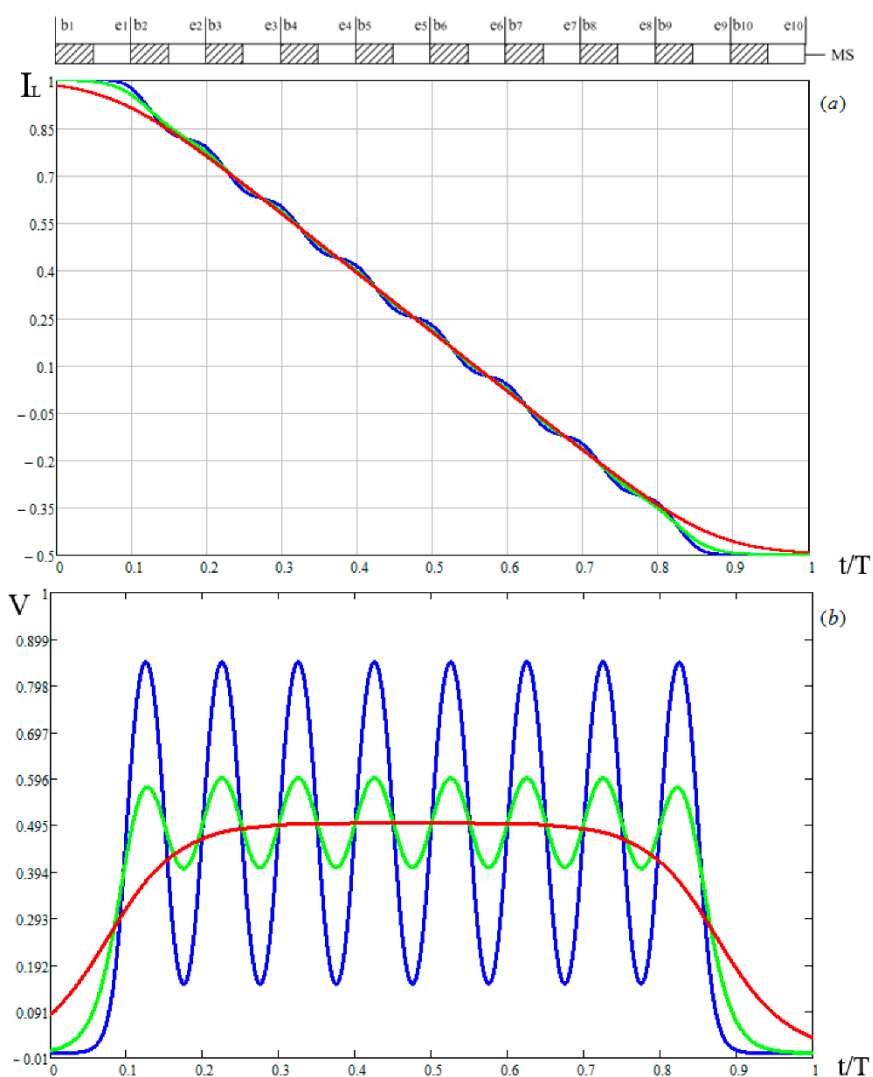
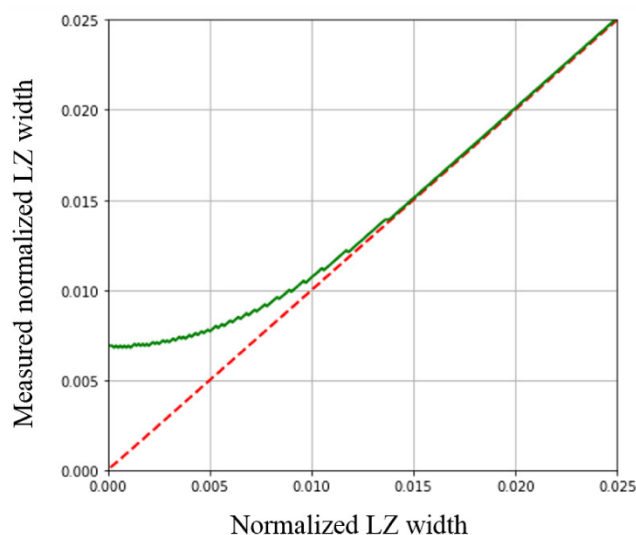
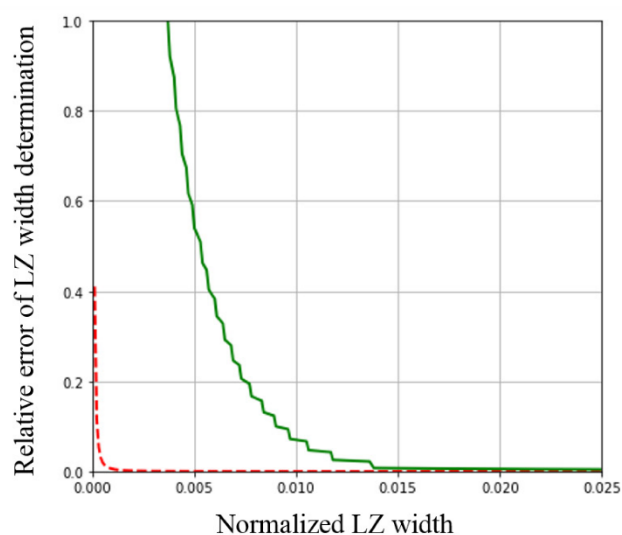


Рисунок 10 - Зміна вихідного струму та відеосигналу мультискана зі зменшенням напруги зміщення E_0 : (а) Залежність змінних $I_L - t$; (б) залежність

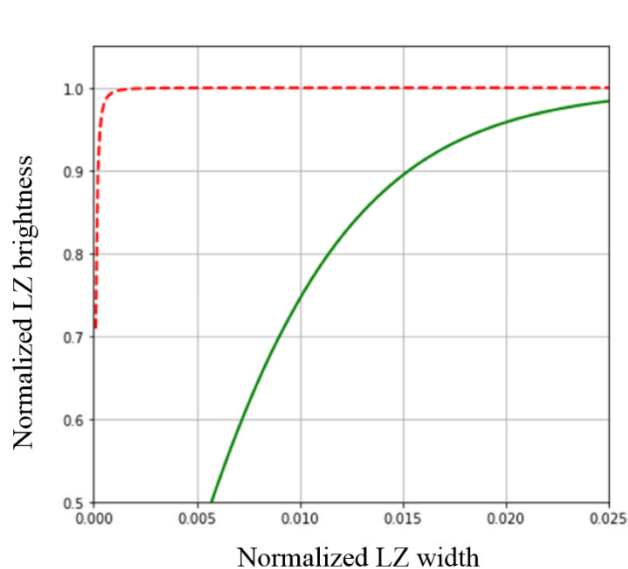


(a)

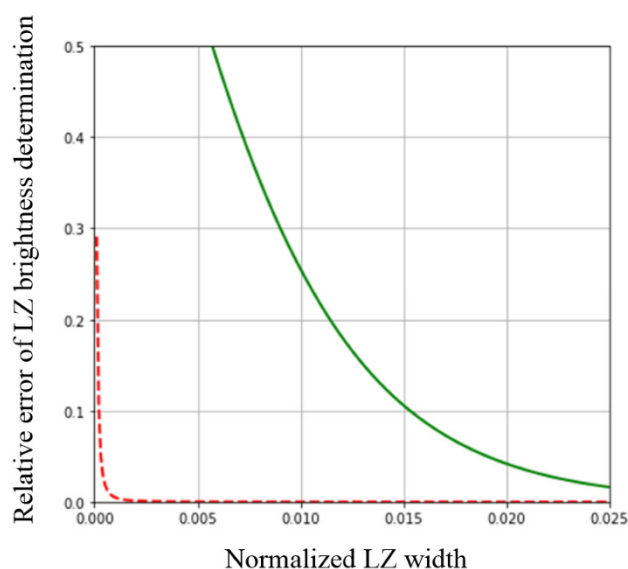


(б)

Рисунок 11 - Результати реконструкції ширини світлової зони за відеосигналом $v(t)$ (суцільна лінія — для традиційного методу реконструкції з використанням першої похідної відеосигналу $v(t)$; пунктирна лінія — для реконструкції з використанням ССП: залежність вимірюваних значень нормованої ширини ЛЗ від реальних значень ширини (а); відносна похибка визначення ширини ЛЗ залежно від її реального значення (б))



(a)



(б)

Рисунок 12 - Результати реконструкції яскравості світлової зони за відеосигналом $v(t)$ (суцільна лінія - традиційний спосіб реконструкції за сигналом $v(t)$; штрихова лінія - реконструкція з використанням ССП: залежність вимірюваних значень нормованої яскравості освітленої зони від реальних значень її нормованої ширини (а); відносна похибка визначення яскравості ЛЗ залежно від реального значення її нормованої ширини (б))

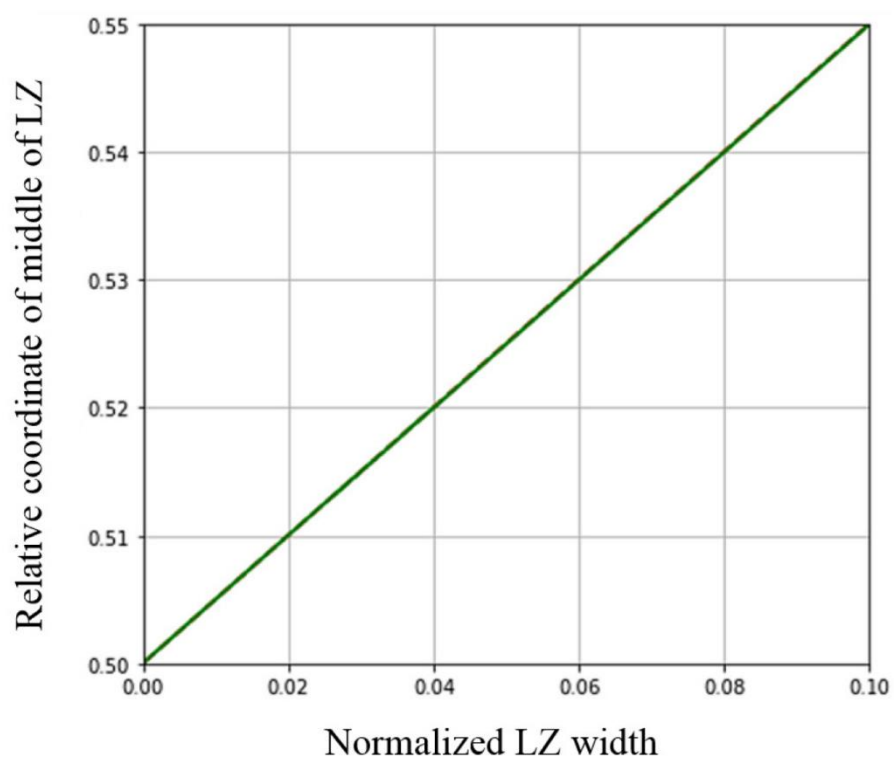


Рисунок 13 - Результати визначення координат середини світлової зони за відеосигналом $v(t)$

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ

**ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ
ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ СИСТЕМ
ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ**

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Оптико-електронний пристрій для вимірювання геометричних параметрів об'єктів для систем технічного зору»

Тип роботи: МКР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність 96,% Схожість 4,0%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку 
(підпис)

Андрій СЕМЕНОВ
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Turnitin щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Андрій РЯБОВ
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Андрій СЕМЕНОВ
(прізвище, ініціали)