

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації
(повна назва)

Кафедра медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)
(позначення документа)

Зменшення невизначеності та похибок в тривимірному вимірюванні
координат за принципом динамічної триангуляції
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи СТМм-20-1
Марчуков В.Ю.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 171 Електроніка
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Освітня програма Системи, технології і
комп'ютерні засоби мультимедіа
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Сергієнко О.Ю.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис)

Карташов В.М.
(прізвище, ініціали)

2021 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інформаційних радіотехнологій та технічного захисту інформації
Кафедра Медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 171 Електроніка
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма "Системи, технології і комп'ютерні засоби мультимедіа"

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« ____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові Марчукову Віталію Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Зменшення невизначеності та похибок в тривимірному вимірюванні координат за принципом динамічної триангуляції
затверджена наказом по університету від " 08 " 11 2021 р. № 1675

2. Термін подання студентом роботи 08.12.2021 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

1. Проаналізувати, спроектувати та реалізувати механізм включення осі β до системи лазерного сканування шляхом динамічної триангуляції

2. Розробити алгоритм на основі нейронної мережі з метою досягнення більшої швидкості роботи системи.

3. Виконати тестування точкового сканування з алгоритмом ANN та порівняти отримані результати з алгоритмом KNN .

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

ВСТУП

1. Аналіз існуючих методів вирішення проблем у системах технічного зору

2. Аналіз проблем вимірювання тривимірних поверхонь у системах технічного зору

3. Розробка алгоритму вимірювання координат за принципом динамічної триангуляції

4. Аналіз експериментальних даних

ВИСНОВОК

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

ДОДАТКИ

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням обов'язкових креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій:

1. Тема кваліфікаційної роботи

2. Принцип динамічної триангуляції

3. Включення вісі β

4. Реалізація вісі β

5. Приклад використання динамічної триангуляції для сканування об'єктів у реальному часі

6. Навчання штучних нейронних мереж

7. Поведінка прогнозованого значення щодо реального значення

8. Приклад використання TVS у автонномних роботах

9. Результати сканування реальних об'єктів

10. Висновки

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз існуючих методів вирішення проблем у системах технічного зору	08.11.21–15.11.20	
2.	Аналіз проблем вимірювання тривимірних поверхонь у системах технічного зору	15.11.21–20.11.21	
3.	Розробка алгоритму тривимірного вимірювання координат за принципом динамічної триангуляції	21.11.21–27.11.21	
4.	Аналіз експериментальних даних	28.11.21–02.12.21	
5.	Графічна частина роботи	25.11.21–02.12.21	
6.	Перевірка керівником	02.12.21-03.12.21	
7.	Перевірка на академічний плагіат	04.12.21	
8.	Перевірка завідувачем кафедри, рецензування	05.12.21–07.12.21	

Дата видачі завдання 8.11.2021 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

проф. Сергієнко О.Ю.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи має: 95 с., 56 рис., 6 табл., 2 додатки, 71 джерело.

ДИНАМІЧНА ТРИАНГУЛЯЦІЯ, СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ, НАЙРОННА МЕРЕЖА, АЛГОРИТМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ, АПЕРТУРА СКАНУВАННЯ, ЛАЗЕРНИЙ ПОЗИЦІОНУВАЧ, КОНТРОЛЕР PD

Об'єкт дослідження – вимірюванні координат за принципом динамічної триангуляції в системах технічного зору.

Предмет дослідження – задачі зменшення невизначеності та похибок в тривимірному вимірюванні координат.

Мета кваліфікаційної роботи – розробити систему зменшення невизначеності та похибок в тривимірному вимірюванні координат за принципом динамічної триангуляції.

Методи дослідження – теоретичний аналіз, числові розрахунки, математичне моделювання, статистична обробка даних, використання машинного навчання.

У даній роботі наведено класифікацію систем технічного зору, класифікацію алгоритмів машинного навчання, класифікацію двигунів редукторів, пояснюється робота та внутрішня архітектура програмно-програмованих логічних затворів, показана повна збірка осі β , розробка друкованих плат TVS, опис функціонування алгоритму на основі нейронної мережі, реалізація графічного інтерфейсу, створеного в середовищі програмування LabVIEW, що дозволила візуалізувати тривимірні хмари точок, створені скануючими об'єктами.

ABSTRACT

The explanatory note to the qualification work has: 95 pages, 56 figures, 6 tables, 2 appendices, 71 sources.

DYNAMIC TRIANGULATION, TECHNICAL VISION SYSTEMS, NARROW NETWORK, MACHINE LEARNING ALGORITHMS, SCANNING APERTURE, LASER POSITIONER

The object of study - systems of technical vision.

The subject of research - dynamic triangulation algorithms.

The purpose of the qualification work is to develop an algorithm to reduce uncertainty and errors in three-dimensional measurement of coordinates on the principle of dynamic triangulation.

Research methods - theoretical analysis, numerical calculations, mathematical modeling, statistical data processing, the use of machine learning.

This paper presents the classification of technical vision systems, classification of machine learning algorithms, classification of gear motors, explains the operation and internal architecture of programmable logic gates, shows the complete assembly of the β axis, development of TVS printed circuit boards, description of neural network algorithm operation, neural network algorithm interface created in the LabVIEW programming environment, which allowed you to visualize three-dimensional point clouds created by scanning objects.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

TVS – системи технічного зору;

KNN - k Nearest Neighbor або метод найближчих сусідів (алгоритм класифікації даних);

ANN – штучні нейронні мережі;

PL – лазерний позиціонер;

SA- апертура сканування;

PWM або ШІМ - імпульсна модуляція ширини;

PD- контролер пропорційної похідної;

FPGA – field-programmable gate array або програмовані логічні інтегральні схеми;

ПЛІС - програмовані логічні інтегральні схеми;

PR – фоторецептор;

Kp - коефіцієнт підсилення;

Vp - пропорційна смуга;

CW - за годинниковою стрілкою;

CCW - проти годинникової стрілки;

SRAM - статична оперативна пам'ять;

ПІД або PID - пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор;

RMSE - середня квадратична помилка;

FOV - поле зору;

ШІ – штучний інтелект.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	6
Вступ.....	10
1 Аналіз існуючих методів вирішення проблем у системах технічного зору	12
1.1 Аналіз методу динамічної триангуляції.....	12
1.2 Аналіз використання штучного інтелекту	15
1.3 Огляд та аналіз теорії управління.....	21
1.3.1 Аналіз використання пропорційного контролеру.....	23
1.3.2 Аналіз використання похідного контролеру.....	24
1.3.3 Аналіз використання вбудованого контролеру.....	25
1.3.4 Аналіз використання вбудованого пропорційного контролеру похідних.....	26
1.4 Огляд та аналіз типів двигунів -редукторів	28
1.4.1 Нескінченні редуктори швидкості.....	28
1.4.2 Планетарні редуктори швидкості	29
1.4.3 Редуктори зі скосом-спіраллю або групою швидкостей передач ...	29
1.4.4 Гвинтово-гвинтові редуктори	30
1.5 Огляд та аналіз принципів кодування	31
1.6 Огляд та аналіз ПЛІС	33
1.6.1. Загальна структура ПЛІС	34
1.6.2. Додатки FPGA.....	35
1.7 Висновки до розділу.....	36
2 Аналіз проблем вимірювання тривимірних поверхонь у системах технічного зору.....	37

	8
2.1 Аналіз методів вимірювання тривимірних поверхонь	37
2.2 Принцип триангуляції	39
2.3 Аналіз задач, які виникають при вимірюванні тривимірних поверхонь у системах технічного зору.....	41
2.4 Обґрунтування та використання СТЗ.....	43
2.5 Цілі та методи дослідження вирішення поставлених задач	45
2.5.1 Загальна мета дослідження	45
2.5.2 Послідовність вирішення поставлених задач.....	46
2.5.3 Методологія вирішення поставлених задач	46
3 Порядок досліджень для зменшення невизначеності та похибок в тривимірному вимірюванні координат за принципом динамічної триангуляції	48
3.1 Повна збірка осі β	48
3.1.1 Виробництво друкованої плати	49
3.1.2 Вирішення задачі підрахунку імпульсів.....	52
3.1.3 Аналіз вибору контролера для вирішення поставлених задач	54
3.1.5 Аналіз проблем живлення	58
3.2 Розробка та аналіз алгоритму вирішення задачі.....	59
3.2.1 Збір та накопичення інформації у базу даних.....	60
3.2.2 Навчання штучних нейромереж	61
3.2.3 Впровадження штучної нейронної мережі.....	64
3.3 Аналіз використання рівняння Z	66
3.4 Аналіз використання тривимірного інтерфейсу	67
3.5 Висновки до розділу.....	69
4 Аналіз отриманих в роботі результатів.....	71
4.1 Аналіз контролера PD	71

	9
4.2 Аналіз навчання нейронних мереж	73
4.3 Аналіз нейронної мережі.....	75
4.4 Двовимірний аналіз та порівняння хмар точок.....	77
4.5 Тривимірний аналіз хмар точок.....	80
Висновок.....	83
Перелік посилань	86
Додатки	100
Додаток А	101
Додаток Б.....	106

ВСТУП

В даний час системи технічного зору дозволили підвищити ефективність різних застосувань, оскільки вони забезпечують розташування та цифрову модель поверхонь об'єктів. Системи бачення базуються на різних методах, кожен з яких має переваги та недоліки, проте триангуляція дала хороші результати в точності та роздільній здатності. Системи триангуляції можна класифікувати на статичні системи триангуляції та динамічні системи триангуляції.

Статична триангуляція базується на приймачах (ПЗС-матрицях або фіксованих датчикових матрицях) для виконання принципу триангуляції та виявлення змін глибини, коли кути випромінювача та приймача змінюються, це відоме як динамічна триангуляція. В обох випадках вони можуть бути використані для вимірювання в реальному часі та створення хмари точок об'єктів, однак динамічна триангуляція дозволяє сканувати ширше поле.

Однак аналіз невизначеностей у трьох вимірах поки неможливий, оскільки немає третьої залежної осі, яка перешкоджає її застосуванню в таких системах, як: автономні роботи, структурна безпека чи біометрія. Тому ця дослідницька робота має на меті спроектувати та включити вісь β у TVS для виконання тривимірних вимірювань за принципом динамічної триангуляції.

Після того як вісь β буде включена, можна буде проаналізувати невизначеності, що виникають у тривимірних поверхнях, крім того, вона може бути функціональною у більш широкому діапазоні застосувань, де потрібно знати тривимірне середовище маршрутів, місця чи предмети.

Наприклад, в автономних роботах для розміщення поверхонь навколишнього середовища, з метою пошуку безпечних траєкторій, які

дозволяють роботам уникати зіткнень з об'єктами. Іншим важливим застосуванням, де можна використовувати TVS, є медичний сектор для сканування точних протезів, що дозволяє підвищити точність та ефективність сучасних методів протезування.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВИРШЕННЯ ПРОБЛЕМ У СИСТЕМАХ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ

1.1 Аналіз методу динамічної триангуляції

Принцип триангуляції був розроблений з метою представлення рішення для обчислення координат шляхом поділу та вимірювання площі трикутниками, які утворюють сітку, де кути та відстані обчислюються за допомогою тригонометричних функцій. Для реалізації методу триангуляції потрібні три основні змінні: кут апертури сканування, кут позиціонувача лазера та фіксована відстань між ними, відома як (а). Триангуляцію можна розділити на статичну та динамічну, коли кут апертури сканування та лазерний позиціонувач не змінюються, це вважається статичною триангуляцією, інакше це називається динамічною триангуляцією, що дозволяє проводити вимірювання у більш широкому полі ніж Лінднер та ін. [1-5].

Як показано на рис. 1.1 а), діафрагма сканування складається з двигуна постійного струму, кодера, дзеркала 45° , датчика нуля, пари двоопуклих лінз та фоторецептора. Операція відбувається, коли лазерний позиціонувач проектує лазерний промінь на поверхні, потім він відбивається у бік діафрагми сканування, коли лазерний промінь вирівнюється до дзеркала 45° , він спрямовує його ортогонально до пари двоопуклих лінз. у бік фоторецептора. Слід зазначити, що сигнал нульового датчика дозволяє виявити, коли дзеркало 45° робить один оберт, на додаток до створення опорного сигналу, який використовується для початку обчислення кута [7-9].

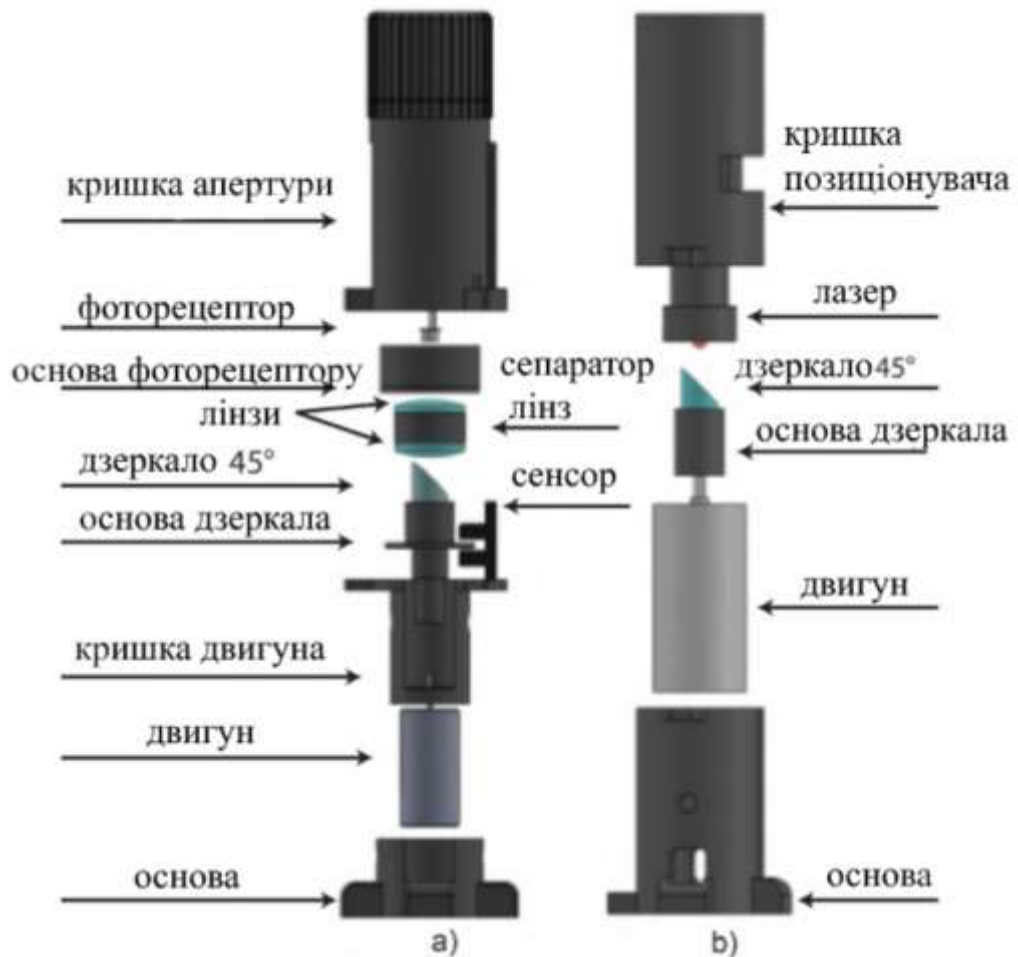


Рисунок 1.1- а) апертура сканування б) лазерний позиціонувач

Як показано на рис. 1.1 б), лазерний позиціонувач складається з двигуна постійного струму, кодера, дзеркала 45°, лазера та структури на основі PLA. Лазер розташований у верхній частині лазерного позиціонувача, спрямований у бік дзеркала 45 градусів, щоб проеціювати його на поверхні, які потрібно сканувати[1-7].

Щоб обчислити кут відкриття на поверхні, що підлягає скануванню, необхідно підрахувати імпульси датчика (канал А), який забезпечує постійну кількість імпульсів при кожному обороті двигуна. Також необхідно створити послідовність імпульсів і сигнал фоторецептора (PR), який виробляється шляхом виявлення лазерного променя. Нарешті, опорний сигнал, що генерується датчиком нуля, необхідний для запуску нового підрахунку імпульсів. Згадані вище сигнали показані на рис. 1.2.

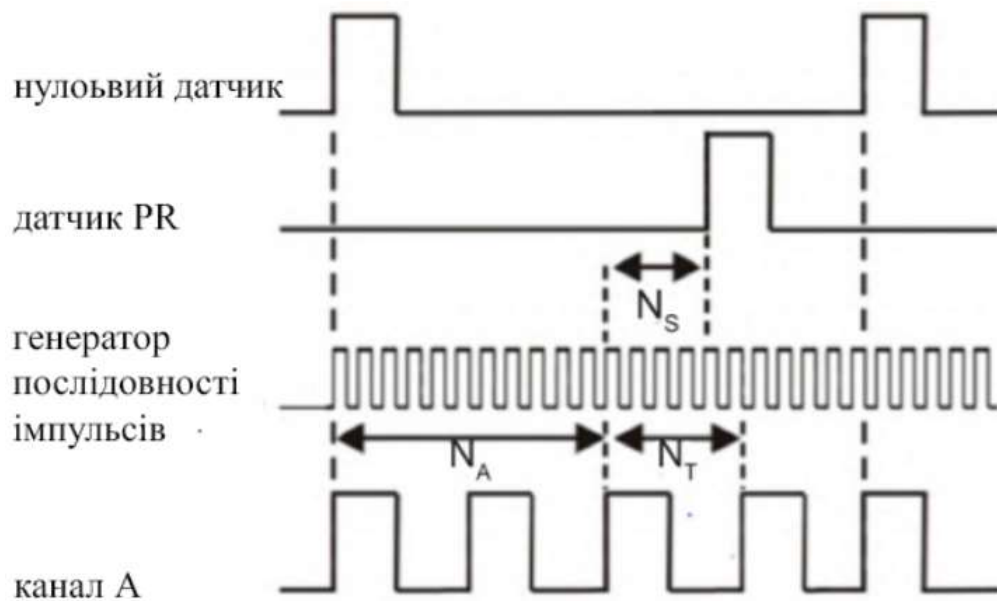


Рисунок 1.2 – Сигнали що використовуються для обчислення V_{ij}

Метод включає підрахунок імпульсів каналу А та генератора імпульсної лінії після отримання імпульсу від датчика нуля, якщо після чергових імпульсів каналу А лазерний промінь не був виявлений або, якщо лазер виявлено, кількість імпульсів, підрахованих від генератора імпульсних ланцюгів під час виявлення, та кількість імпульсів до наступного імпульсу каналу А використовуються для розрахунку V_{ij} у Real-Moreno et al. [8-11]. Кут V_{ij} можна обчислити, застосовуючи рівняння 1.1 та 1.2.

$$V_{ij} = P_A \left(N_A + \frac{N_s}{N_t} \right) \quad (1.1)$$

$$P_A = \frac{360^\circ}{P_{360}} \quad (1.2)$$

Де N_A представляє кількість імпульсів з каналу А до імпульсу датчика PR, N_s - кількість підрахованих імпульсів від генератора послідовності імпульсів N_A до імпульсу датчика PR, N_T - кількість імпульсів послідовності імпульсів від N_A до наступного імпульсу каналу А і P_A - це градуси на імпульс каналу А [15-20].

1.2 Аналіз використання штучного інтелекту

В останні роки штучний інтелект (ШІ) викликав інтерес, оскільки він дає можливість вивчати машини на основі досвіду, що дозволяє виконувати такі завдання, які потребують людських можливостей, а в іншому випадку вони намагаються імітувати за допомогою комп'ютерів, як працює мозок під час прийняття рішень. Гілкою штучного інтелекту є машинне навчання, яке застосовується для швидшої обробки даних або для того, щоб мати змогу виконувати статистичні моделі та майбутні прогнози даних Ponce et al. [26].

Протягом усієї історії не було можливості використати точне визначення ШІ, проте вчені визначили цей термін на основі своїх критеріїв. Ось деякі визначення:

а) наука про отримання машин, здатних робити те, що вимагало б інтелекту, якби це робили люди. Мінський [21];

б) нові захоплюючі зусилля, які змушують комп'ютер мислити як машини з розумом, у повному та буквальному сенсі. Haugeland [13-18]

в) дослідження обчислень, яке показує, що машина здатна сприймати, міркувати та діяти. Hirschhorn et al. [13-18]

г) інтелектуальна машина - це та, що виконує процес аналізу, організації та перетворення даних у знання, де знання про систему - це структурована інформація, отримана та застосована для зменшення незнання чи невпевненості щодо конкретного завдання, яке необхідно виконати. Пахарес і Сантос [1-5]

д) наука, яка прагне глибокого розуміння інтелекту. Смарандаче та Лейва-В'язкес [1-5].

Машинне навчання, також відоме як машини для машинного навчання, є галуззю інформатики та застосуванням штучного інтелекту, що дозволяє комп'ютерам набувати техніки за допомогою аналізу даних для отримання нових знань. Основними групами алгоритмів машинного навчання є:

- Навчання шляхом підсилення: функція алгоритмів полягає в оптимізації результату проблеми за допомогою постійної ітерації спроб і помилок, яка складається з агента та середовища. Агент має на меті навчання в навколишньому середовищі до досягнення визначеної продуктивності. З іншого боку, середовище реагує на дії агента за допомогою успіху чи помилки, чим більша впевненість, тим вища продуктивність алгоритму. Найбільш використовуваними алгоритмами в навчанні підкріплення є: навчання Q, критерій оптимальності, груба сила, метод Монте -Карло та метод різниці в часі.
- Контрольоване навчання: алгоритми працюють з позначеними даними, які намагаються знайти функцію, яка, враховуючи вхідні дані, оцінює адекватний результат, алгоритми навчаються за допомогою історичної бази даних, таким чином вони вчаться призначати відповідні мітки нове значення. Алгоритми можна використовувати для класифікації та регресії, класифікація намагається класифікувати за групами на основі вхідних даних, тоді як регресія передбачає числове значення. Найбільш використовувані алгоритми в навчанні під наглядом: дерева рішень, класифікація Найва Байєса, регресія найменших квадратів, близькі сусіди, машини векторної підтримки та нейромережі.
- Нагляд без контролю. Найбільш використовувані алгоритми в неконтрольованому навчанні: алгоритм кластеризації, k-середні, аналіз основних компонентів та аналіз незалежних компонентів.

Алгоритми машинного навчання використовуються в різних додатках, таких як: розпізнавання облич, розпізнавання голосу, класифікація, регресія, сегментація аудиторії, ігри, автономні автомобілі, охорона здоров'я, економіка та двигуни рекомендацій. Приклади застосування кожного з них наведені на рис. 1.3.

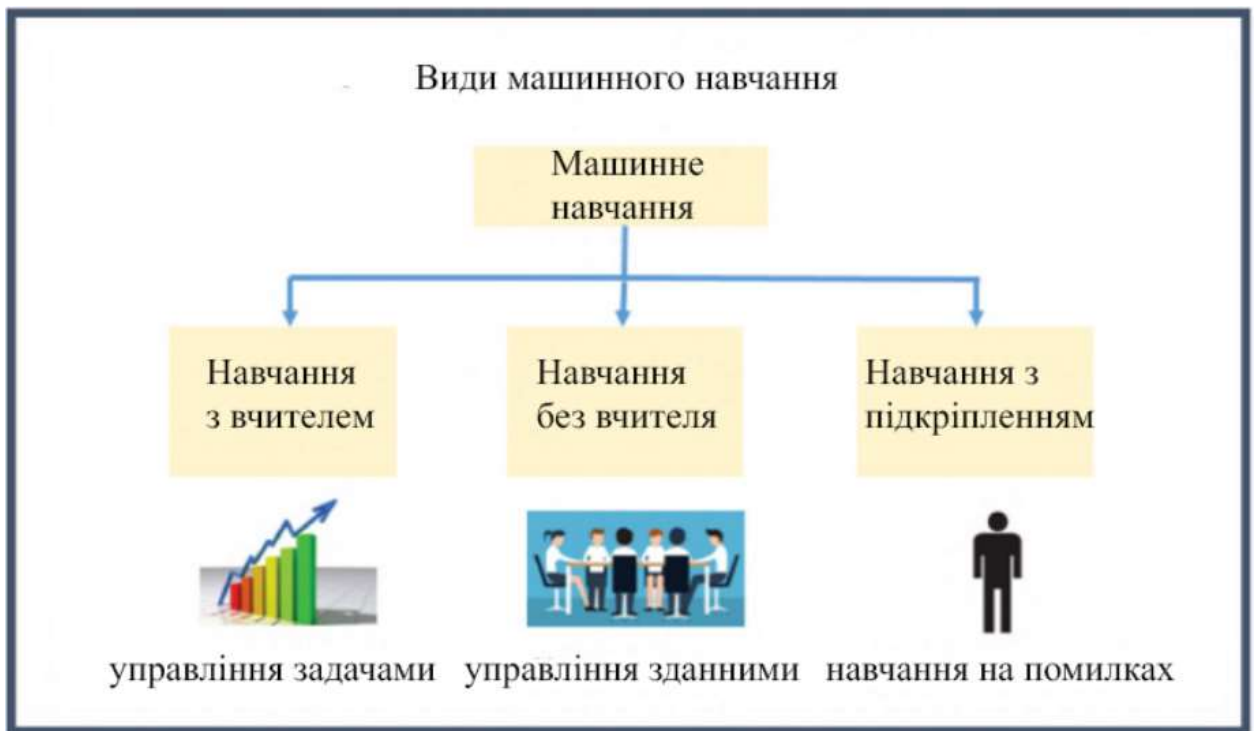


Рисунок 1.3 - Види машинного навчання

Серед підконтрольних та некерованих машин навчання є штучні нейронні мережі (ANN), їхня робота заснована на штучних нейронах (подібних до біологічних нейронів) для імітації способу, яким мозок обробляє інформацію. Серед основних переваг штучних нейронних мереж щодо інших інтелектуальних алгоритмів виділяється швидкість обробки, оскільки це функція, попередньо навчена в нашій базі даних.

Біологічний нейрон - це спеціалізована клітина, яка обробляє інформацію за допомогою подразників на основі електричних імпульсів. Рис. 1.4 показує частини, які складають біологічний нейрон, які визначаються як:

а) Дендрити: Волокна, які отримують імпульси від інших нейронів і посиляють їх до ядра.

б) Аксони: Волокна, які передають потенціал дії (збудження або гальмування) через один або кілька синапсів.

в) Синапс: Механізм між двома або більше нейронами.

г) Ядро: це інтегруючий компонент, який формує відповідь.

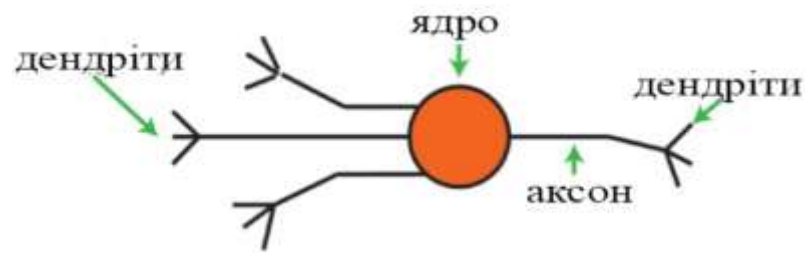


Рисунок 1.4 - Біологічний нейрон

Штучний нейрон - це процесор, аналогічний біологічному нейрону, який отримує різні вхідні дані, або зовнішні, або від іншого нейрона, коли вони об'єднані, вони виробляють один вихід. На рис. 1.5 показані частини, які складають штучний нейрон, і вони визначені як:

а) Ваги (W_n): вони певним чином модифіковані для адаптації похибки виводу таким чином, щоб вона зводила до мінімуму похибку щодо реального значення, цей принцип використовується для вивчення штучним нейроном.

б) Входи (X_n): їх можна класифікувати у дві групи, двійкові або безперервні. Двійкові нейрони допускають лише два можливих значення. Загалом, у цьому типі нейронів використовуються наступні два алфавіти (0,1) або (-1,1). З іншого боку, безперервні нейрони допускають значення в певному діапазоні, який зазвичай визначається як (-1, 1).

в) Функція активації (F_n): обчислює вихід нейрона зі значень X , а в деяких випадках і з попереднього виходу штучного нейрона.

г) Вихід (Y_p): забезпечує значення u_r нейрона на основі F_n нейрона.

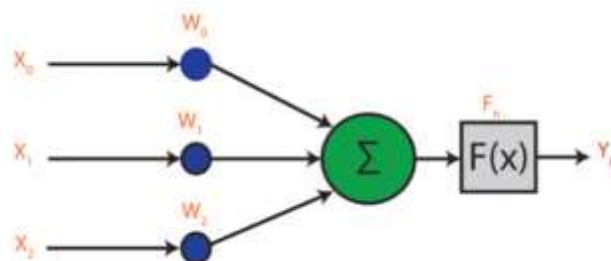


Рисунок 1.5 - Штучний нейрон

Структура та навчання ANN - це набір штучних нейронів, з'єднаних між собою, які знаходяться на різних рівнях (шарах), як показано на рис. 2.6. Шари можна розділити на три типи:

а) Вхідний рівень: на цьому рівні інформація надходить від зовнішніх джерел мережі.

б) Прихований шар: вони є внутрішніми мережами і не мають прямого контакту із зовнішнім середовищем. Вони можуть бути пов'язані між собою різними способами, що визначає разом з їх кількістю різні типи мереж.

в) Вихідний рівень: вони передають інформацію з мережі назовні

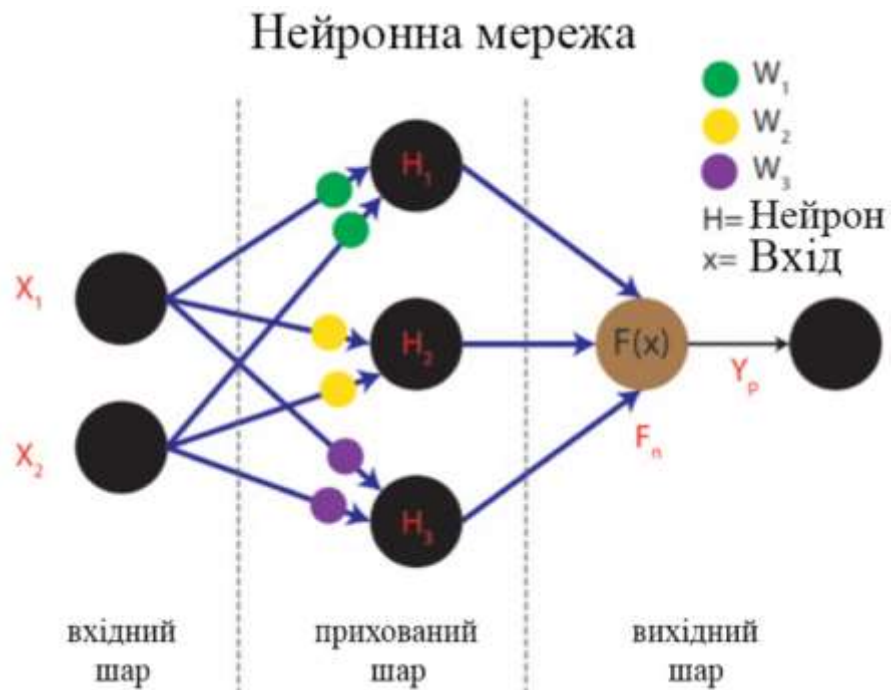


Рисунок 1.6 – Нейронна мережа

Вивчення ANN досягається за допомогою алгоритму прямого розповсюдження та алгоритму зворотного розповсюдження. Пряме поширення полягає в отриманні прогнозованого значення для порівняння його з реальним значенням, таким чином обчислюється помилка. Ваги (W_1 , W_2 і W_3) першої взаємодії випадково ініціалізуються, потім дані вхідного

шару множаться на W , щоб утворився прихований шар. Цей розрахунок здійснюється за допомогою рівнянь 1.3, 1.4 та 1.5

$$H_1 = (X_1 W_2) + (X_2 \cdot W_1) \quad (1.3)$$

$$H_2 = (X_1 W_2) + (X_2 \cdot W_1) \quad (1.4)$$

$$H_3 = (X_1 W_3) + (X_2 \cdot W_1) \quad (1.5)$$

Вихідні дані прихованого шару передаються через функцію активації F_n для формування Y_p , як показано у рівнянні 1.6.

$$Y_p = F_n(H_1, H_2, H_3) \quad (1.6)$$

З іншого боку, зворотне поширення полягає у мінімізації помилки шляхом знаходження її похідної щодо кожної W , а потім віднімання її від значення W . Цей розрахунок здійснюється шляхом застосування рівнянь 1.7, 1.8 та 1.9

$$W_1 = W_1 - \frac{\eta \cdot \partial \cdot e}{\partial \cdot W_1} \quad (1.7)$$

$$W_2 = W_2 - \frac{\eta \cdot \partial \cdot e}{\partial \cdot W_2} \quad (1.8)$$

$$W_3 = W_3 - \frac{\eta \cdot \partial \cdot e}{\partial \cdot W_3} \quad (1.9)$$

Де η являє собою кількість швидкості навчання [10-20].

1.3 Огляд та аналіз теорії управління

Системи управління революційно змінили спосіб роботи широкого спектру застосувань у промислових галузях, таких як нафтові, газові, хімічні, фармацевтичні та енергетичні мережі, серед інших, Perez et al. [7-9]. Метою системи управління є досягнення шляхом маніпулювання змінними управління області над вихідними змінними, щоб вона досягала заздалегідь заданих значень, іншими словами, системи управління регулюють поведінку системи з метою контролю її роботи. Системи управління можна розділити на відкритий і замкнутий контур.

У системах управління з відкритим контуром немає зворотного зв'язку вихідного сигналу, іншими словами, вихід не впливає на дію управління, оскільки ці системи не використовують сигнал. Кінцевий вихід для порівняння з входом, тому необхідно призначити фіксоване завдання кожній комбінації вхідних даних. У цих системах управління точність залежить від калібрування контролера Болтона та Рамрізера [5]. Процес відкритої системи управління показано на рис. 1.7.



Рисунок 1.7 – Управління з відкритим циклом

У замкнених системах управління, на відміну від систем з відкритим контуром, якщо є зворотний зв'язок, тобто вихід впливає на дію управління, тому він використовується як один із входів системи. Зворотній зв'язок подається за допомогою датчиків, оскільки вони надають інформацію про

поведінку системи (керований сигнал) для порівняння її з опорним сигналом, щоб визначити помилку та передати її контролеру. На рис. 1.8 показаний процес системи управління замкнутою петлею.

У межах основних визначень контролю ми маємо [30]:

а) опорний вхід: це очікуване значення, яке має бути отримано у вихідному сигналі;

б) контрольована змінна: Це кількість або умова, яка вимірюється та контролюється, зазвичай контрольована змінна є результатом роботи системи;

в) помилка (e): це різниця між вхідним входом і контрольованою змінною;

г) керуючий сигнал: це сигнал, що виробляється контролером для модифікації керованої змінної таким чином, щоб зменшити помилку;

д) процес: він зазвичай також відомий як установка, і це фізичний елемент, який призначений для управління (привід);

е) зворотній зв'язок: відноситься до операції, яка за наявності порушень має тенденцію зменшувати різницю між виходом системи та деяким опорним входом і продовжує це робити на основі цього посилення;

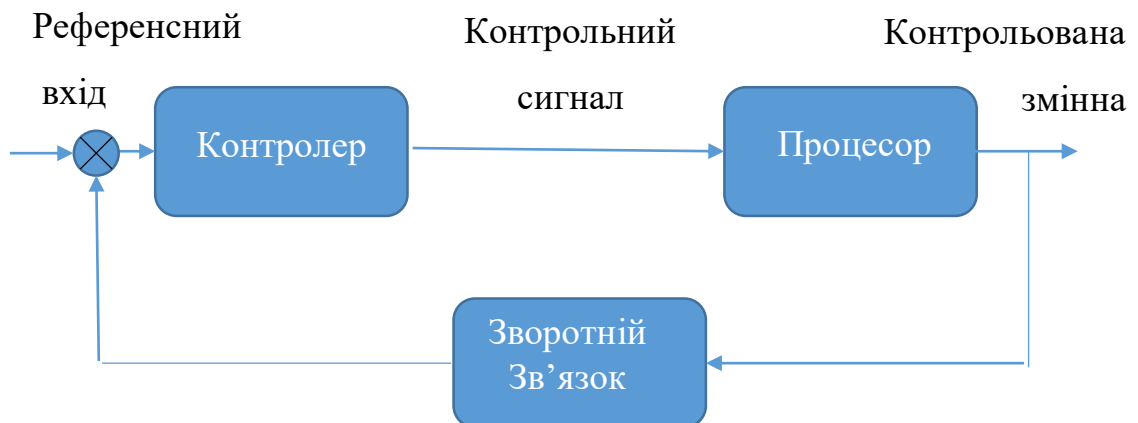


Рисунок 1.8 – Система управління замкнутою петлею

1.3.1 Аналіз використання пропорційного контролера

Дія пропорційного управління намагається мінімізувати системну помилку за допомогою підсилювача з регульованим підсиленням. Контрольована змінна (α) віднімається від еталонного входу (k) для обчислення системної помилки, як показано у рівнянні 1.10. Якщо в системі генерується велика помилка (e), вона також видасть великий сигнал керування, щоб мінімізувати помилку Sarasola [14-15].

$$e(t) = \alpha - k \quad (1.10)$$

Результат дії керування $u(t)$ складається з множення e на пропорційний коефіцієнт підсилення (K_p), як показано у рівнянні 1.11.

$$u(t) = K_p \cdot e(t) \quad (1.11)$$

Gain K_p - це регульована константа, яка використовується для збільшення швидкості відгуку системи та зменшення e , проте необхідно відрегулювати коефіцієнт посилення K_p , щоб мінімізувати нестабільність системи. Іноді параметр K_p замінюється іншим параметром, який називається пропорційною смугою (B_p), тобто областю, де ви контролюєте процес. Пропорційна смуга складається з відношення 100 між K_p , як показано у рівнянні 2.12.

$$u(t) = \frac{100}{K_p} \quad (1.12)$$

На рис. 2.9 можна побачити, що при збільшенні e системи вихідний коефіцієнт $u(t)$ буде лінійно збільшувати свою потужність.

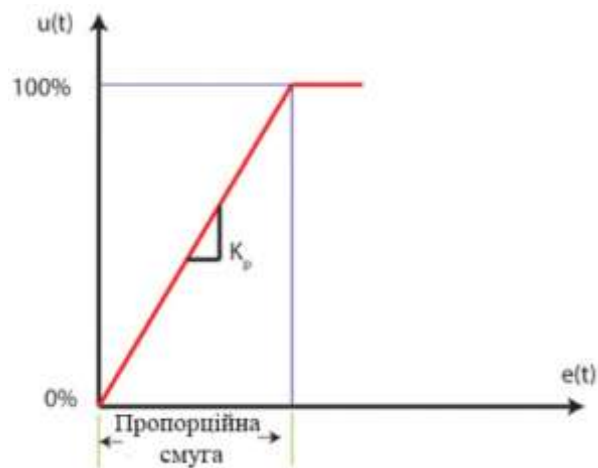


Рисунок 1.9 – Пропорційна смуга

Крім того, можна зробити висновок, що зі збільшенням коефіцієнта посилення K_p (нахил рами) смуга пропорційно зменшується тому реакція системи швидко зростає.

1.3.2 Аналіз використання похідного контролеру

Похідна дія полягає в обчисленні тангенсу на поточний час, щоб передбачити поведінку електронного сигналу нашого процесу в майбутньому. Передбачення є є наближенням на основі ряду Тейлора, як показано у рівнянні 1.13.

$$e(t + t_d) = e(t) + t_d \cdot \frac{de(t)}{dt} + \frac{t_d^2}{2!} \cdot \frac{d^2 \cdot e(t)}{dt^2} + \dots \quad (1.13)$$

Оскільки потрібно лише наближення дотичною, усі члени вищого порядку відкидаються, тому ряд Тейлора модифікується, як у рівнянні 1.14.

$$e(t + t_d) = e(t) + t_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (1.14)$$

На рис. 1.10 можна побачити поведінку e від t_0 до t_d , якщо тангенс точки P_1 визначається за допомогою ряду Тейлора, можна оцінити e точки P_2

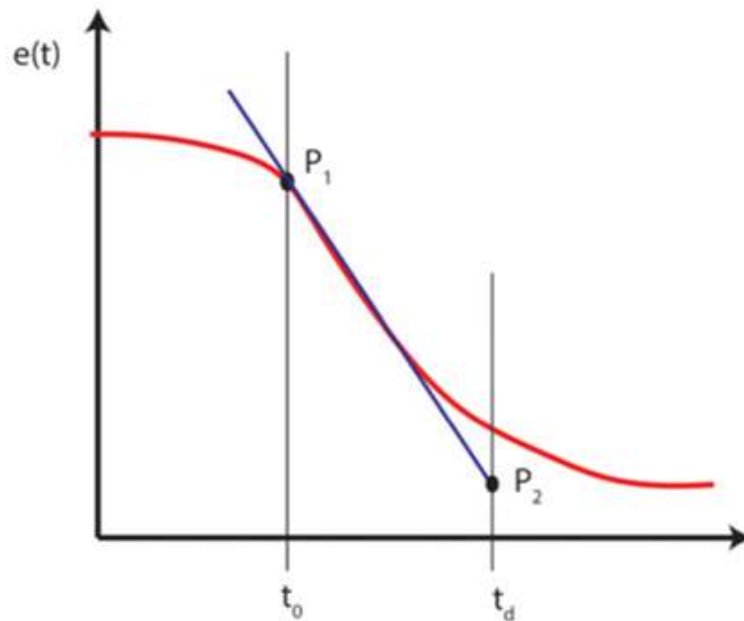


Рисунок 1.10 – Графік похідної

1.3.3 Аналіз використання вбудованого контролера

Інтегральна дія дозволяє нам знаходити площу під кривою (через процес інтеграції) з плином часу. На рис. 1.11 площа під кривою являє собою e , що накопичується від t_0 до кожного моменту часу (t_1, t_2, t_3). Кожного разу, коли e інтегрується, він наближається до нуля, внаслідок чого вихід контролера є стабільним $u(t) = C$. Однак цей процес може бути повільним, тому коефіцієнт посилення K_i використовується для прискорення або послаблення реакції системи контролера.

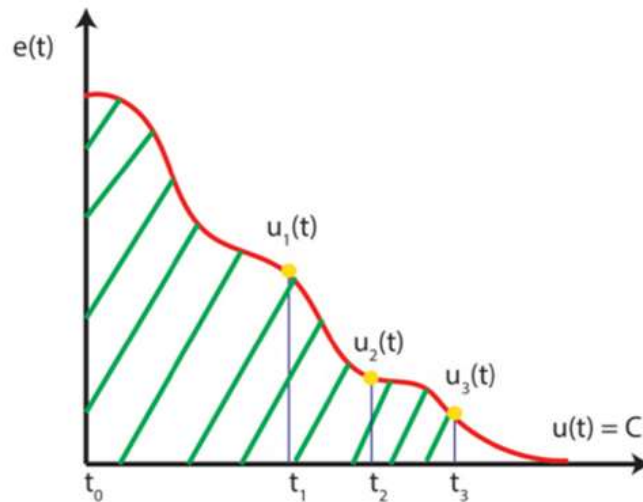


Рисунок 1.11 – Інтегральна дія

Інтегральна дія складається з добутку інтеграла e за нульовий час до будь-якого моменту часу, помноженого на K_i , як показано у рівнянні 1.15

$$u(t) = K_i \cdot \int_0^{t_i} e(t) \cdot dt \quad (1.15)$$

На закінчення, інтегральна дія послаблює значення e , тобто дозволяє стабілізувати систему в процесі інтеграції без необхідності регулювання параметра $Bias$ регулятора. Термін $Z_{сув}$ дозволяє кінцевому елементу управління досягти ненульового стану, коли його значення дорівнює (κ) [49]

1.3.4 Аналіз використання вбудованого пропорційного контролеру похідних

Контролер пропорційної похідної (PD) діє, коли відбувається зміна змінної, і вона пропорційна похідній від помилки. Однією з основних характеристик є те, що він зменшує овердрайв і час стабілізації, тому дозволяє збільшити стабільність системи, покращивши реакцію. З іншого

боку, такі типи систем виникають, коли величина виходу контролера пропорційна швидкості зміни сигналу помилки Рейеса [35-36].

Математичний вираз, що визначає цей контролер у часовій області, задається рівнянням 1.16.

$$u(t) = K_d \cdot \frac{de(t)}{dt} + K_p \cdot e(t) \quad (1.16)$$

На рис. 1.12 показано порівняння системи у відповідь на ступінчастий вхід, синя лінія відображає реакцію системи, а червона лінія - реакцію системи із застосуванням контролера PD. На основі графіку це можна зробити висновок, що контролер PD покращує амортизацію, послаблює перевищення та зменшує час стабілізації.

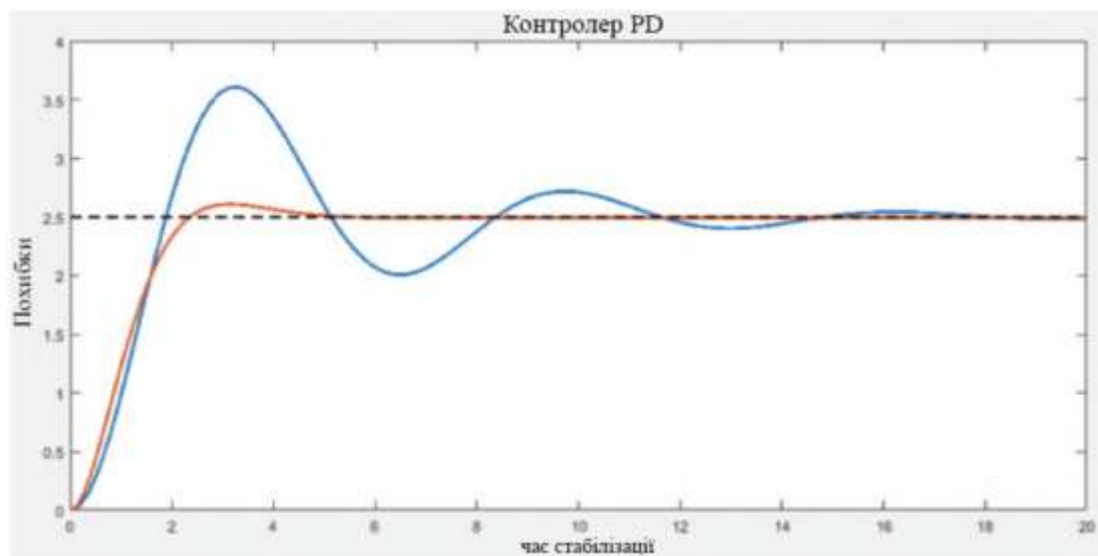


Рисунок 1.12 - Синя лінія відображає реакцію системи, а червона лінія - реакцію системи із застосуванням контролера PD

Однією з переваг контролера PD є збільшення швидкості відгуку системи управління, однак він втрачає точність у виведенні (під час роботи похідного управління).

1.4 Огляд та аналіз типів двигунів -редукторів

Функція редукторних двигунів полягає у зменшенні швидкості та збільшенні крутного моменту за допомогою декількох передач у їх внутрішній структурі. Усередині конструкції є вхідний вал, який обертається за допомогою двигуна, який працює на високих швидкостях. Рух вала двигуна передається на внутрішню зубчасту машину.

1.4.1 Нескінченні редуктори швидкості

У цьому типі редукторів електродвигун подає силу обертання на сталевий шпindel (у вигляді нескінченного), який при обертанні контактує з зубчастим кільцем (зазвичай з бронзи) для кожного повороту нескінченного гвинта. зуба коронки, а отже, і зменшення швидкості. Швидкість черв'ячної передачі обчислюється через добуток кількості зубців черв'ячної передачі та кількості введів черв'ячної передачі. Недоліком цих редукторних двигунів є те, що витрачається потужність, тому їх використання обмежено у багатьох додатках. 1.13 показаний внутрішній механізм черв'ячного редуктора Acosta та OVIEDO [1].



Рисунок 1.13 - Внутрішній механізм черв'ячного редуктора

1.4.2 Планетарні редуктори швидкості

У цьому типі редукторів використовується центральна шестерня (відома як сонце), яка має більший розмір і обертається навколо центральної осі. У свою чергу, є зовнішнє кільце (з зубцями на його внутрішній грані), яке поєднується з супутниками і огорожує весь планетарний поїзд. Однією з основних характеристик цього типу редуктора є те, що центральний вал може стати центром обертання зовнішнього кільця, що дозволяє легко змінювати напрямок. Серед переваг ми можемо знайти більшу точність, передбачуваність, довговічність та кращий рівень ефективності. На рис. 1.14 показаний внутрішній механізм планетарного редуктора швидкості Concli і Gorla [7].

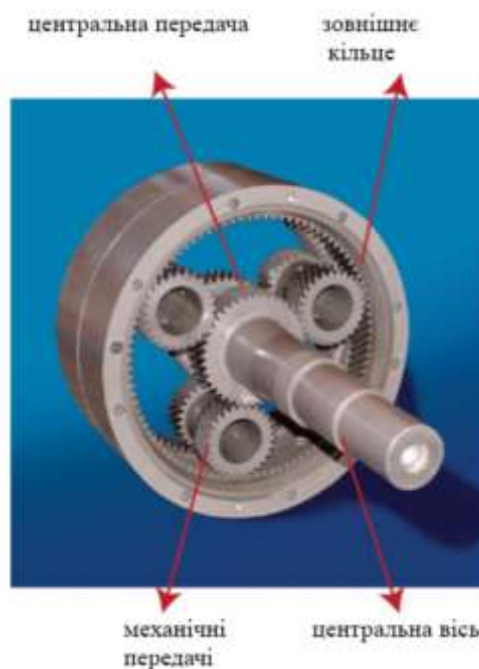


Рисунок 1.14 - Внутрішній механізм планетарного редуктора швидкості

1.4.3 Редуктори зі скосом-спіраллю або групою швидкостей передач

Цей тип редуктора складається з пари або більше зубчастих коліс, які розміщуються в положеннях, де кожна передача пов'язана з попередньою передачею, завдяки цьому зв'язку можлива передача рухів, яка дозволяє

зменшити швидкість, що створюється двигуном. Основною перевагою конічних редукторів є те, що вони дуже ефективні і не вимагають особливого обслуговування. 1.15 зображено внутрішній механізм редуктора з конічно-спіральною або швидкісною передачею групи Neura Dueñas [9].



Рисунок 1.15 - Внутрішній механізм редуктора з конічно-спіральною або швидкісною передачею

1.4.4 Гвинтово-гвинтові редуктори

Цей тип редуктора базується на гвинтових зубчастих передачах, вони характеризуються косими зубцями щодо осі обертання, і можуть бути паралельними або перехрещеними, зазвичай 90° . На відміну від зубчастих редукторів, гвинтові редуктори мають здатність передавати більшу потужність, швидкість і тихі. На рис. 1.16 показаний внутрішній механізм циліндрично-гвинтового редуктора Альвареса та Гірально [2].



Рисунок 1.16 - Внутрішній механізм циліндрично-гвинтового редуктора

1.5 Огляд та аналіз принципів кодування

Енкодери для електродвигунів мають функцію перетворення механічного обертання в цифрові імпульси або аналогові імпульси, які можна використовувати для визначення швидкості або позиціонування двигуна. Енкодер складається з диска, з'єднаного з обертним валом. Диск зі скла або пластику на його контурі має невеликі прозорі або непрозорі насічки, які дозволяють пропускати інфрачервоне світло, що генерується передавачем, до фотоприймача щоразу, коли світло надходить до приймача, генерується імпульс А, тобто щоразу, коли диск обертається, виробляється послідовність імпульсів, що дозволяє обчислити швидкість і положення приводу.

Енкодери використовуються в широкому спектрі застосувань, таких як: робототехніка, гірничодобувна промисловість, побутова техніка, транспорт та машини. За своєю основною конструкцією та функціональністю кодери поділяються на інкрементні, абсолютні, оптичні, квадратурні та лінійні.

Розглянемо роботу з квадратурним кодером. Квадратурні кодери зазвичай мають два канали під назвою А і В, які зміщені на 90° один відносно одного Рейсс [30], фазовий зсув двох сигналів показаний на рис. 1.17.

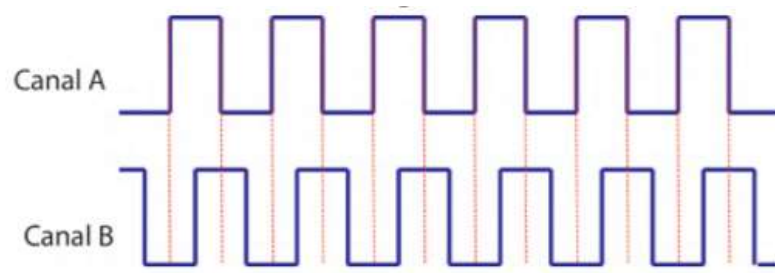


Рисунок 1.17 - Фазовий зсув двох сигналів

Окрім знання положення та швидкості приводу, зміщення між обома каналами дозволяє знати напрямок обертання. Для прикладу, вищезгаданого, візьмемо за довідку високі та низькі події каналу *A*, як показано на рис. 1.18, ми можемо побачити, що при повороті приводу за годинниковою стрілкою (відома його аббревіатура в англійській мові як *CW*) події (t_0, t_1, t_2, t_3). Якщо порівнювати з каналом *B*, події є зворотними.

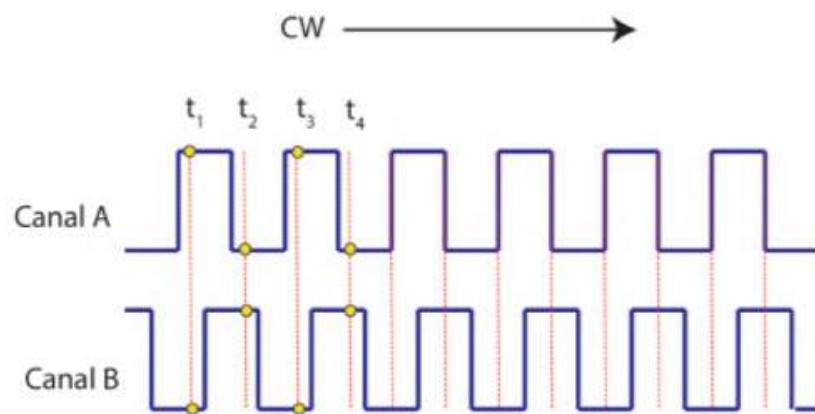


Рисунок 1.18 - Зміщення між обома каналами

Якщо напрямок обертання обернено проти годинникової стрілки (відоме під його аббревіатурою в англійській мові як *CCW*), а високі та низькі події каналу *A* взяти за еталон, ми можемо помітити, що обидва сигнали є ідентичними, як показано на рис. 1.19.

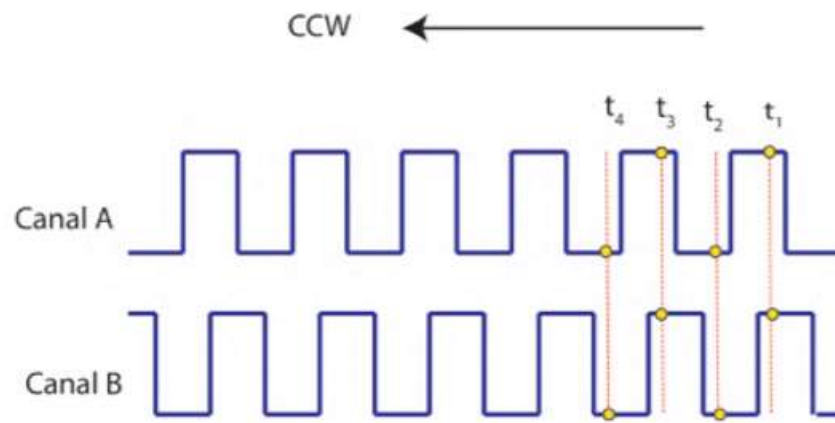


Рисунок 1.19 - Зміщення між обома каналами обернене проти годинникової стрілки

З іншого боку, для підрахунку імпульсів існують різні методи, які дозволяють регулювати точність квадратурного кодера відповідно до програми, над якою працюємо, серед них:

- а) Проста точність: використовується один канал і записується лише один стан (високий або низький).
- б) Подвійна точність: обидва стани (високий і низький) використовуються в одному каналі.
- в) Четверта точність: обидва стани (високий і низький) використовуються в обох каналах.

1.6 Огляд та аналіз ПЛІС

Програмована матриця логічних воріт, що програмується (відома під її аббревіатурою англійською мовою як FPGA), складається з двовимірної матриці блоків, що налаштовуються, які можуть бути з'єднані доріжками різної довжини та програмованими перемикачами для з'єднання блоків для відстеження або доріжок між Так. ПЛІС запрограмовані за допомогою перемикачів, які використовуються для створення зв'язків між різними блоками Wolf [4].

1.6.1. Загальна структура ПЛІС

Внутрішня архітектура ПЛІС залежить від виробника, тоді буде представлена загальна схема, наведена на рис. 1.20. Ця схема дозволяє нам зрозуміти роботу внутрішніх зв'язків і те, як вони взаємодіють між собою. Частинами, що складають внутрішню архітектуру ПЛІС, є:

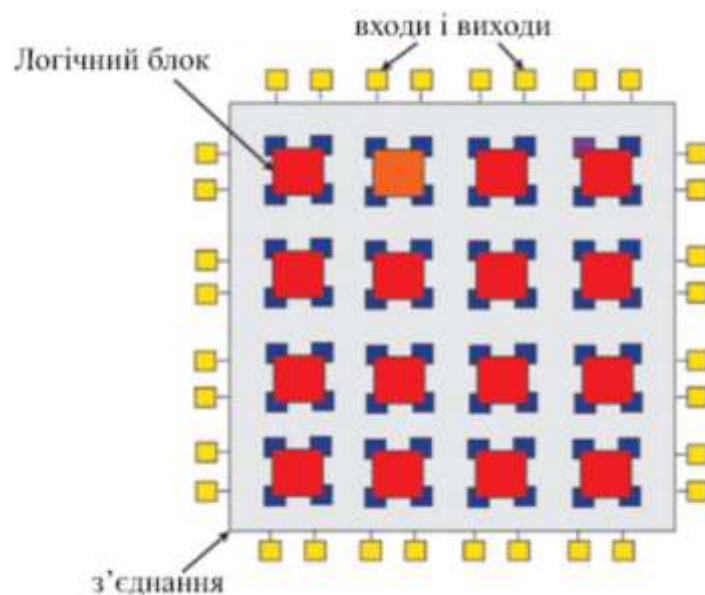


Рисунок 1.20 - Внутрішня архітектура ПЛІС

а) Настроювані логічні блоки: логічний блок складається з комбінаційного розділу, який дозволяє виконувати логічні функції логічного типу, такі як: І, АБО та НЕ. Він також має ще один послідовний розділ, який дозволяє синхронізувати вихід з сигналом зовнішнього тактового сигналу та реалізувати регістри. Комбінаційна частина може змінюватися залежно від виробника в: блок на основі LUT (таблиця пошуку) або логічний блок на основі мультиплексорів. Блок на основі LUT зберігає таблицю істинності, яка змінюється та зберігається у кожній комірці комбінацій введення. З іншого боку, логічний блок на основі мультиплексора вимагає меншої логіки, ніж блок на основі LUT, оскільки більша кількість логічних блоків може бути

реалізована в одному просторі або за такою ж кількістю. Блоки мають більше місця для збільшення з'єднань маршрутизації

б) Взаємозв'язок між програмованими блоками: технологія, яка використовується для створення з'єднань між каналами, - це антизахисник, SRAM та Flash. ПЛІС, що базується на технології автоматичного запобіжника, можна запрограмувати лише один раз. З іншого боку, для збереження конфігурації схем використовуються SRAM, які працюють як генератор функцій, контролер мультиплектора та для з'єднання між блоками. Нарешті, розмір флеш -осередків менший за розмір комірки SRAM, вони програмовані, але їх швидкість програмування повільна, і вони не летючі, тому їм не потрібен допоміжний пристрій для збереження внутрішньої конфігурації Mano [19-23] .

в) Блоки введення / виведення: їх основна функція - дозволити проходження сигналу всередині або поза пристроєм ПЛІС. Крім того, мати такі ресурси, як: настроювані виходи, програмовані підтягуючі або спадні входи, вихідні регістри та вхідні регістри.

1.6.2. Додатки FPGA

ПЛІС широко використовуються в додатках, де потрібно отримувати сигнали на високих робочих частотах. На відміну від пристроїв, запрограмованих для виконання послідовних команд, можна вважати, що ПЛІС працюють паралельно. Найчастіше вони використовуються: системи штучного зору, системи медичної візуалізації, програмне забезпечення радіо, кодування та шифрування, радіоастрономія, розпізнавання мовлення, повітроплавання або оборона[4-6].

1.7 Висновки до розділу

У цьому розділі були представлені теоретичні основи, необхідні для розробки цієї дослідницької роботи, дано вступ до динамічних систем триангуляції та роботу таких елементів, які складають СТЗ, таких як: діафрагма сканування, лазерний позиціонував та фіксована відстань між ними. Поняття, структура та застосування штучних нейронних мереж (алгоритм машин навчання) також визначаються для того, щоб застосовувати їх у TVS для підвищення точності системи. З іншого боку, згадуються основні типи регуляторів, такі як: пропорційний, інтегральний, похідний та PD, пізніше згадуються різні редуктори для зменшення частоти обертання та збільшення крутного моменту двигунів постійного струму, тоді визначається принцип поворотного кодера, що детально пояснює процес підрахунку імпульсів і напрямки витків квадратурних енкодерів. Нарешті, пояснюється робота та внутрішня архітектура програмно-програмованих логічних затворів.

2 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ВИМІРЮВАННЯ ТРИВИМІРНИХ ПОВЕРХОНЬ У СИСТЕМАХ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ

2.1 Аналіз методів вимірювання тривимірних поверхонь

Сьогодні системи технічного зору зробили можливим проведення безконтактного метрологічного обстеження, яке змінило спосіб захоплення хмар точок з поверхонь, збільшивши швидкість сканування, Точність, роздільна здатність та збір даних у режимі реального часу дозволили підвищити продуктивність таких додатків, як: структурне здоров'я, сканування протезів, автономні роботи, виробничі процеси та виявлення фізичних вад розвитку в організмі людини Реал-Морено та ін. [8-14], Парк та ін. [17-18], Herrera Gil et al. [3], Кім та Сентіс [8-14]. Усередині Системи бачення є Система технічного зору (відома під її аббревіатурою англійською TVS), TVS - це технологія, функція якої полягає у скануванні та визначенні координат (X , Y , Z) об'єктів у полі зору. В останніх публікаціях були розроблені такі методи для підвищення продуктивності системи, як: час польоту, вимірювання фаз та динамічна триангуляція.

Метод часу польоту застосовується при скануванні на великі відстані, його робота базується на лазерному промені, який проектується на поверхню, час від часу випромінювання лазера до його виявлення приймачем. Він використовується для обчислення координат поверхні об'єктів. У публікації Maddern et al. [17-18], пристрій Lidar, заснований на принципі часу польоту, встановлено на транспортний засіб для сканування міста під час певної траєкторії, щоб показати зміни, присутні в різні періоди часу, результати показують, що метод забезпечує хмара 3D-точок (тривимірна), що дозволяє в цифровому вигляді знати зміни архітектурних конструкцій та траєкторій щодо часу.

Метод фазового зсуву випромінює лазерний промінь на певній частоті, а відображення довжини хвилі зміщується під час його впливу на поверхню.

Зсув відбитої хвилі дозволяє точно обчислити відстань між точками удару та сканером (Данев та ін. [8-14]). На відміну від методу польоту, метод зсуву фаз може захопити більшу кількість точок за короткий час, тому він має кращу роздільну здатність та швидкість сканування, але має менший робочий діапазон. У публікації Feng et al. [34-35] запропоновано метод компенсації руху на основі профільометрії зсуву фаз, який реалізується для вимірювання жорстких об'єктів через фазові похибки, спричинені рухом, що спричиняють невизначеність вимірювань.

Метод триангуляції складається з лазерного променя, який проектується на поверхню, що, в свою чергу, відбивається у бік діафрагми сканування. Відомі параметри системи - це кут лазерного позиціонувача (C_{ij}), кут відкриття (B_{ij}) та фіксована відстань (a) між позиціонувачом і отвором. За допомогою тригонометричних функцій можна обчислити координати точки лазерного променя на поверхні об'єктів. Перевагою цього методу, на відміну від вищезгаданих, є точність і роздільна здатність. Однак основне обмеження цього методу полягає в тому, що він може працювати на відстанях менше одного метра. Blais et al. [36]. У публікації Auerswald et al. [11], метод триангуляції застосовується для сканування профілів циліндричних шестерень з метою підвищення ефективності процесів перевірки. Результати показують поліпшення точності та роздільної здатності, оскільки можна створити тривимірну хмару точок з 1280 точками та точністю ± 10 мкм.

Динамічні системи триангуляції, такі як TVS, були розроблені як опція, яка дозволяє підвищити точність класичних систем триангуляції, за допомогою посилення на підрахунок обертальних імпульсів, замість використання дискретних CDD (Charge Couple Device). Однак TVS все ще містить невизначеності, тому необхідно визначити фактори, які можуть вплинути на точність, такі як відстані вимірювань, розбіжність лазерного променя та освітлення навколишнього середовища. Для цього існують різні дослідження, які намагалися пом'якшити невизначеність за допомогою

алгоритмів на основі штучного інтелекту, досягаючи задовільних результатів у вимірах.

Наприклад, у публікації Trujillo-Hernández et al. [3], для підвищення продуктивності TVS, впроваджено алгоритм штучних нейронних мереж (відомий за його аббревіатурою в англійській мові «ANN»), який порівнюють з алгоритмом близьких сусідів (відомий за його аббревіатурою в англійській мові). "KNN"), однак застосування ANN показує кращі результати при скануванні поверхневих об'єктів, на додаток до значного покращення швидкості сканування системи, оскільки на відміну від KNN, яка залежить від бази даних для її виконання, ANN базується на навченій функції. З іншого боку, у публікації Rodriguez-Quinonez et al. [2013], метод триангуляції застосовується у лазерному сканері для вимірювання поверхонь людського тіла та анатомічних областей, однак сканер має нелінійні варіації, тому алгоритм ANN, заснований на навчанні «Левенберга-Маркарда», реалізований для відрегулювання варіації та підвищення точності системи.

Представлені результати показують, що метод на основі ANN є більш ефективним. Нарешті, у публікації Li et al. [14] представлено 3D-сканер, який представляє помилку вимірювання, тому для прогнозування похибки та зменшення дисперсії хмари точок застосовується ANN, результати показують, що ANN програма показує зменшення дисперсії та шуму у створеній тривимірній хмарі точок. [11-14]

2.2 Принцип триангуляції

Принцип динамічної триангуляції складається з лазерного позиціонувача (відомого під його аббревіатурою в англійській мові PL), який проектує лазерний промінь на поверхню об'єкта, пізніше він відбивається у напрямку до відкриття сканування (відомий під його аббревіатурою в англійській SA) , в результаті утворюється трикутник. За допомогою цієї інформації та застосування тригонометричних функцій можна обчислити

координати, де лазерний промінь контактує з поверхнею об'єкта. (RealMoreno et al. [27]). Принцип динамічної триангуляції формується за допомогою трьох основних елементів: PL, SA та β , на додаток до відомих змінних системи, таких як: 'angle C_{ij} , 'angle B_{ij} та відстань між SA та PL, відоме як a . На зображенні рис. 2.1 а) показаний принцип динамічної триангуляції.

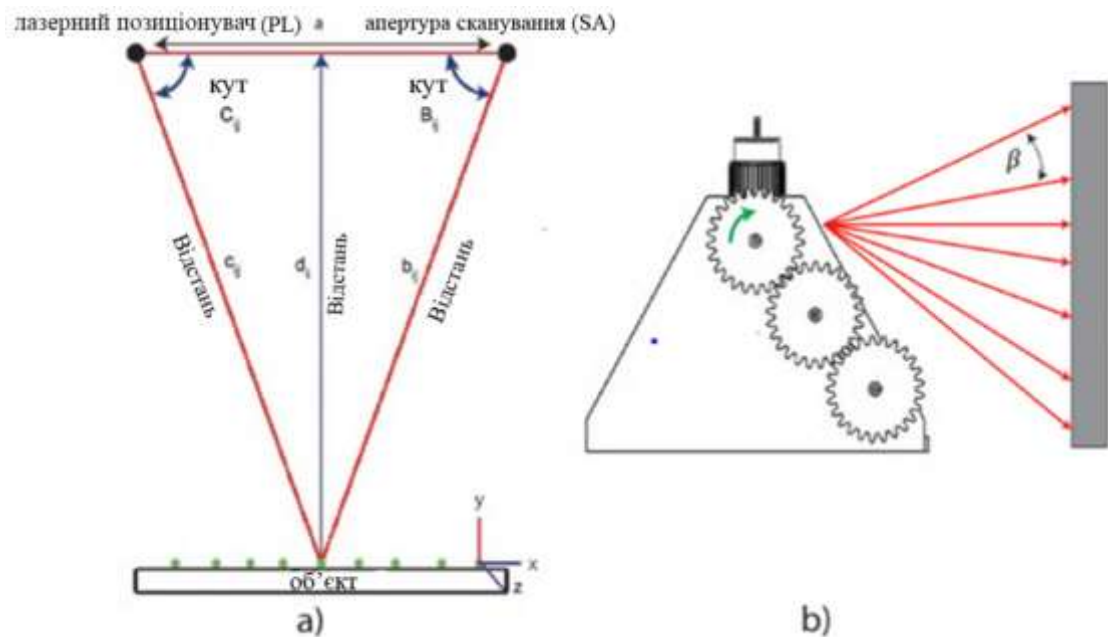


Рисунок 2.1: а) принцип триангуляції б) вертикальний кут β

Для обчислення координат (X, Y, Z) кожної точки на сканованому об'єкті необхідно застосувати рівняння (2.1), (2.2) і (2.3), реалізовані в попередніх роботах Лінднера та ін. [51], де кут β , показаний на рис. 2.1 б), використовується для обчислення координат висоти на осі Z .

$$X = (a) \cdot \frac{\sin(C) \cdot \sin(B)}{\sin(B+C)} \quad (2.1)$$

$$Y = (a) \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{\sin(C) \cdot \cos(B)}{\sin(B+C)} \right) \quad (2.2)$$

$$Z = (a) \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{\sin(C) \cdot \sin(B) \cdot \tan(\beta)}{\sin(B+C)} \right) \quad (2.3)$$

SA - це елемент, який має функцію прийому в системі динамічної триангуляції, коли PL подає лазерний промінь на об'єкт, який потрібно сканувати, тоді він відбивається у бік SA, де дзеркало під кутом 45° змінює напрямок свого кута до 90° , щоб пройти через пару конвергентних лінз, які мають функцію концентрації паралельних ліній в одній точці у напрямку фоторецептора.

PL - це елемент, який має функцію проєкції лазерного променя на об'єкт, який потрібно сканувати, лазер спрямований у бік дзеркала 45° , щоб змінити напрямок кута до 90° . Після зміни напрямку дзеркало на 45° повертається від 30° до 150° на осі X, щоб сканувати поверхню об'єкта згідно з Trujillo Hernandez et al. [35].

2.3 Аналіз задач, які виникають при вимірюванні тривимірних поверхонь у системах технічного зору

В даний час системи зору дозволили підвищити ефективність різних застосувань, оскільки вони забезпечують розташування та цифрову модель поверхонь об'єктів. Системи бачення базуються на різних методах, кожен з яких має переваги та недоліки, проте триангуляція дала хороші результати в точності та роздільній здатності. Системи триангуляції можна класифікувати на статичні системи триангуляції та динамічні системи триангуляції.

Статична триангуляція базується на приймачах (ПЗС -матрицях або фіксованих датчикових матрицях) для виконання принципу триангуляції та виявлення змін глибини, коли кути випромінювача та приймача змінюються, це відоме як динамічна триангуляція. В обох випадках вони можуть бути використані для вимірювання в реальному часі та створення хмари точок об'єктів, однак динамічна триангуляція дозволяє сканувати ширше поле. У попередніх дослідженнях Real-Moreno et al. [8-14], Trujillo-Hernández et al.

[3] TVS за принципом динамічної тріангуляції показав сприятливі результати на двовимірних поверхнях, проте він все ще має такі обмеження, як: невизначеність, низька швидкість сканування, неможливість сканування у місцях з високою інтенсивністю світла, а вісь не була належним чином реалізовано для отримання β -кута, тому неможливо виміряти тривимірні поверхні.

а) Невизначеності в системі динамічної тріангуляції представлені такими факторами: помилковими контактами між електронними компонентами та деформацією лазерного променя, тому необхідно створити друковану схему для заміни плати -прототипу, на додаток до встановлення методу знаходження енергетичного центру лазерного променя.

б) Низька швидкість сканування в TVS пояснюється повільною швидкістю розряду фотоприймача, що обмежує роботу двигуна апертури для сканування на його максимальну потужність. Іншою причиною низької швидкості сканування є той факт, що алгоритм KNN використовується для підвищення точності кута V_{ij} , проте додаток KNN використовує базу даних для оцінки співвідношення між двома змінними, недоліком цього алгоритму є те, що розрахунок відстаней, що використовуються для порівняння змінних, повільний.

в) Висока інтенсивність світла в TVS спричиняє насичення фоторецептора, оскільки він чутливий до навколишнього світла, тому необхідно встановити фільтр, що дозволяє пропускати світло з довжиною хвилі 650 нм (червоне світло), пригнічуючи або приглушуючи залишок світла.

д) Вісь β , така, як показано на рис. 1.2, не була реалізована, оскільки потрібна міцна конструкція, яка дозволяє встановлювати двовимірні TVS, тому необхідно вибрати двигун постійного струму з коробкою передач, що забезпечує достатній крутний момент для обертання валу, після вибору двигуна необхідно розробити регулятор положення, який гарантує точність $\pm 0,075^\circ$.

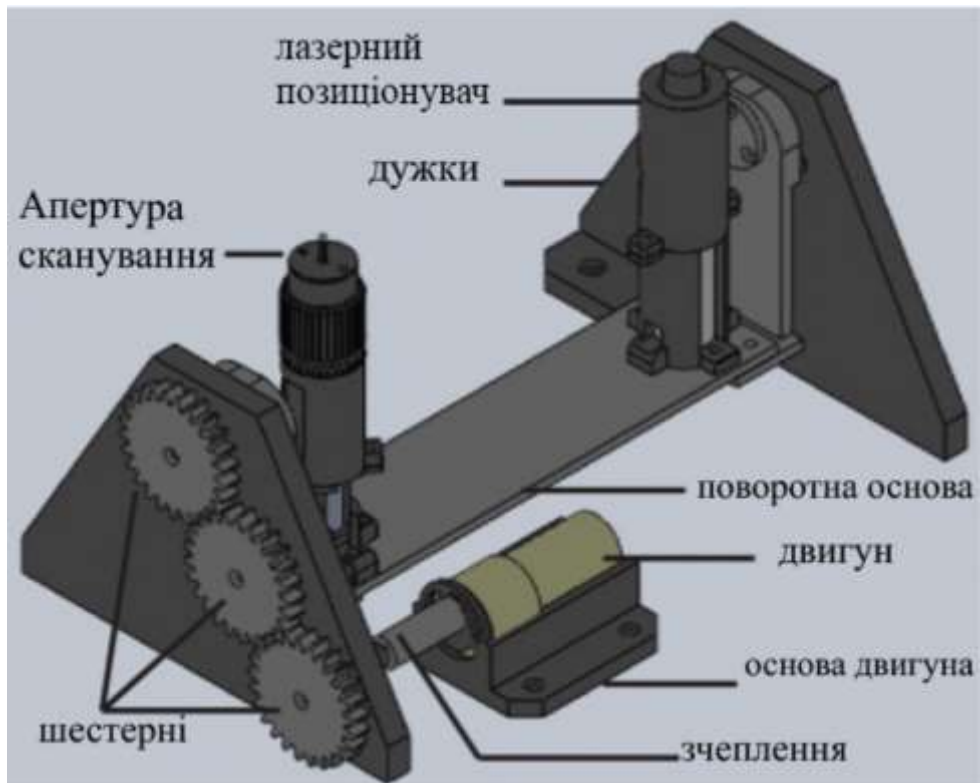


Рисунок 2.2 - Конструкція вісі β

Після того, як вісь β буде реалізована та проаналізовано можливості принципу динамічної триангуляції на TVS, ми можемо поставити собі таке питання: Як можна послабити невизначеності, представлені TVS, коли тривимірні поверхні скануються за принципом динамічної триангуляції?

2.4 Обґрунтування та використання СТЗ

Розвиток систем зору дозволив створити нові технології для підвищення продуктивності сучасних систем, існують різні системи зору, які можна розділити на різні категорії, такі як: Датчики зору, Інтелектуальні камери та Штучний зір. У середині датчиків зору TVS розташований за принципом динамічної триангуляції, що показало задовільні результати при вимірюванні двовимірних поверхонь. У попередніх публікаціях Лінднер та ін. [2015] були розроблені нові методи для підвищення точності, розрізняльної здатності та швидкості системного сканування. Однак аналіз

невизначеностей у трьох вимірах поки неможливий, оскільки немає третьої залежної осі, яка перешкоджає її застосуванню в таких системах, як: автономні роботи, структурна безпека чи біометрія. Тому ця дослідницька робота має на меті спроектувати та включити вісь β у ТВС для виконання тривимірних вимірювань за принципом динамічної тріангуляції. Після того як вісь β буде включена, можна буде проаналізувати невизначеності, що виникають у тривимірних поверхнях, крім того, вона може бути функціональною у більш широкому діапазоні застосувань, де потрібно знати тривимірне середовище маршрутів, місця чи предмети.

Наприклад, в автономних роботах для розміщення поверхонь навколишнього середовища, як показано на рис. 2.3, з метою пошуку безпечних траєкторій, які дозволяють роботам уникати зіткнень з об'єктами. Іншим важливим застосуванням, де можна використовувати TVS, є медичний сектор для сканування точних протезів, що дозволяє підвищити точність та ефективність сучасних методів Rosicky et al. [32].

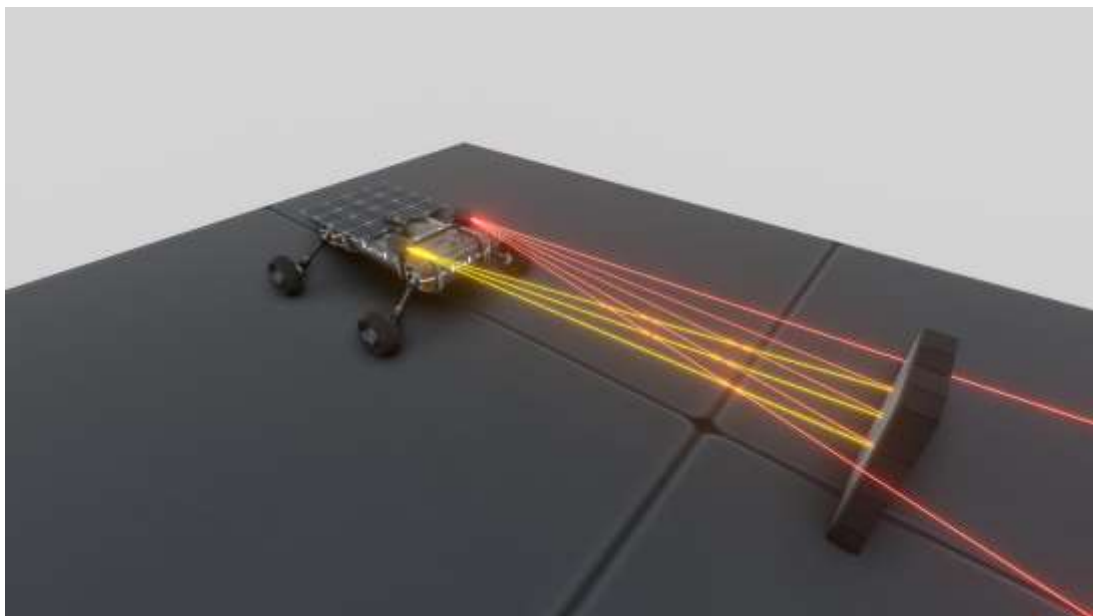


Рисунок 2.3 - Використання TVS у автономних роботах

Як згадувалося раніше, TVS за принципом динамічної тріангуляції викликає невизначеність вимірювань, тому для зменшення похибок

вимірювання необхідно застосувати алгоритм на основі ANN. У попередніх публікаціях Trujillo-Hernandez et al. [35], для покращення точності та швидкості обробки інформації в режимі реального часу було застосовано ANN, оскільки це попередньо навчена функція і на відміну від інших інтелектуальних алгоритмів вона не залежить від бази даних для порівняння та прогнозування. У попередніх публікаціях Real-Moreno et al. [8-14], новий метод був розроблений для підвищення точності кута V_{ij} за допомогою кодера SA, результати покращили точність, проте він все ще викликає невизначеності. Метою ANN є досягнення у навчанні коефіцієнта кореляції (R) у межах 0,90-0,94, як тільки буде отримано параметр R, ваги та зміщення нейронів будуть збережені для реалізації програми реального часу, що дозволяє виправити кут V_{ij} .

Інтерес цього дослідження полягає у застосуванні інтелектуальних алгоритмів, які дозволяють підвищити ефективність вже існуючих систем тривимірного зору, на додаток до позиціонування TVS у категорії систем штучного зору.

2.5 Цілі та методи дослідження вирішення поставлених задач

2.5.1 Загальна мета дослідження

Виконати тривимірне вимірювання поверхонь шляхом включення та електронного вимірювання третьої осі (β) до динамічної системи тріангуляції та узгодження програмного забезпечення з існуючою системою, а також аналізу та впровадження алгоритму на основі ANN, що дозволяє пом'якшити невизначеності, представлені в системі, для оцифрування тривимірних поверхонь.

2.5.2 Послідовність вирішення поставлених задач

- Проаналізувати, спроектувати та реалізувати механізм включення осі β до системи лазерного сканування шляхом динамічної триангуляції.
- Усунути хибні контакти, впровадивши друковану схему для заміни існуючої плати -прототипу.
- Застосувати контролер PD та PWM (імпульсна модуляція ширини) для позиціонування двигуна постійного струму, який буде обертати осі β .
- Запрограмувати рівняння Z в головній програмі для вимірювання тривимірних поверхонь.
- Реалізувати віртуальний інтерфейс, що дозволяє відобразити тривимірні хмари точок в кінці процесу сканування.
- Навчити алгоритм на основі ANN з метою досягнення R від 0,90 до 0,94, щоб уникнути надмірної підготовки мережі.
- Запрограмувати алгоритм ANN в режимі реального часу в середовищі програмування LabVIEW.
- Виконати тестування точкового сканування з алгоритмом ANN та порівняти отримані результати з алгоритмом KNN.

2.5.3 Методологія вирішення поставлених задач

Раніше для третього прототипу TVS була потрібна допоміжна вісь Z , така як на рис. 2.4, яка використовувалася для вимірювання тривимірних поверхонь. вздовж осі Z . Ця операція не вважається практичною або ефективною, оскільки її не можна використовувати в таких додатках, як: автономні роботи, структурна робота чи біометрія, тому і лінійна вісь буде виключена, а вісь β буде включена до TVS, що дозволить вимірювати тривимірні поверхні без потреби в допоміжній осі. Обертання осі β буде передаватися за допомогою двигуна постійного струму та набору шестерень, які обертають вал. Стрілка буде приєднана до квадратурного кодера, який

подаватиме імпульси (через канал А і В), еквівалентні положенню двигуна, з точністю $\pm 0,075^\circ$. Для підрахунку імпульсів, програма чотирикратної точності буде реалізована на рівні FPGA в cRIO-9063. Цей пристрій збору даних гарантує ефективний підрахунок імпульсів, оскільки працює при тактовому циклі 40 МГц. Згодом контролер PD буде запрограмований у режимі реального часу в середовищі програмування LabVIEW. Нарешті, буде впроваджена програма модуляції ширини імпульсу, де робочий цикл буде залежати від виходу контролера PD.



Рисунок 2.4 -Допоміжна вісь для вимірювання тривимірних поверхонь

Після інтеграції осі β в апаратне та програмне забезпечення будуть проведені перші випробування для аналізу роботи системи та невизначеностей, які вона представляє при вимірах на тривимірних поверхнях. Згодом буде створено базу даних основних атрибутів для навчання ANN з метою досягнення R від 0,90 до 0,94. Після того, як алгоритм буде побудований, він буде запрограмований у програмному забезпеченні та буде проведено тестування для отримання зразків, що дозволить нам проаналізувати користь, отриману шляхом застосування алгоритму, щодо вимірювань, які були спочатку зроблені без застосування алгоритму. Нарешті, буде проведено друге випробування, де порівнюються невизначеності у трьох вимірах TVS за допомогою алгоритму на основі KNN (реалізованого в третьому прототипі) та запропонованої ANN.

3 ПОРЯДОК ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА ПОХИБОК В ТРИВИМІРНМУ ВИМІРЮВАННІ КООРДИНАТ ЗА ПРИНЦИПОМ ДИНАМІЧНОЇ ТРИАНГУЛЯЦІЇ

3.1 Повна збірка осі β

На рис. 3.1 показана повна збірка осі β , де можна побачити діафрагму сканування та лазерний позиціонував, встановлені на обертовій основі.

Ви також можете побачити двигун з планетарним редуктором швидкості, який підключений до трансмісії з 3 передачами, які дозволяють рухатися осі β .

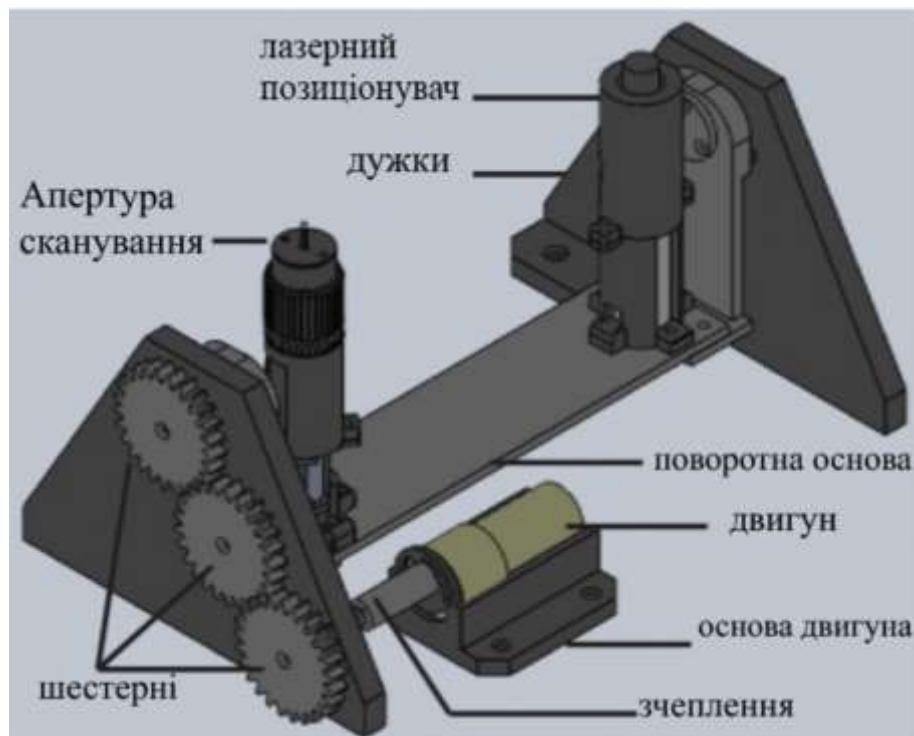


Рисунок 3.1 – Конструкція вісі β

Реалізація осі β здійснювалася з використанням таких матеріалів:

- а) 1 модель двигуна PITTMAN GM8712J015
- б) 1 квадратурний кодер HDER - 55 л2 - ВУ 09.

- в) 3 зубчасті передачі з 50 зубцями.
- г) 1 рулон чорного PLA.
- д) 4 підшипники з внутрішнім кільцем 3/8 дюйма та зовнішнім кільцем 7/8 дюйма.
- е) 1 3D -принтер Robo.

Конструкції деталей були створені в графічному середовищі SOLIDWORKS, після чого кожна з них була перетворена у формат STL для виготовлення на 3D-принтері з матеріалом PLA. Після виготовлення кожного фрагмента прототип осі β був зібраний, а отвір для сканування та лазерний позиціонував встановлені на обертовій основі. Згодом двигун підключається до трансмісії, щоб збільшити крутний момент і дозволити обертання осі обертання β , що генерує рух обертової основи, як показано на рис. 3.2. Нарешті, кодер збирається колінеарно до дзеркал 45° для визначення кутового положення осі β .

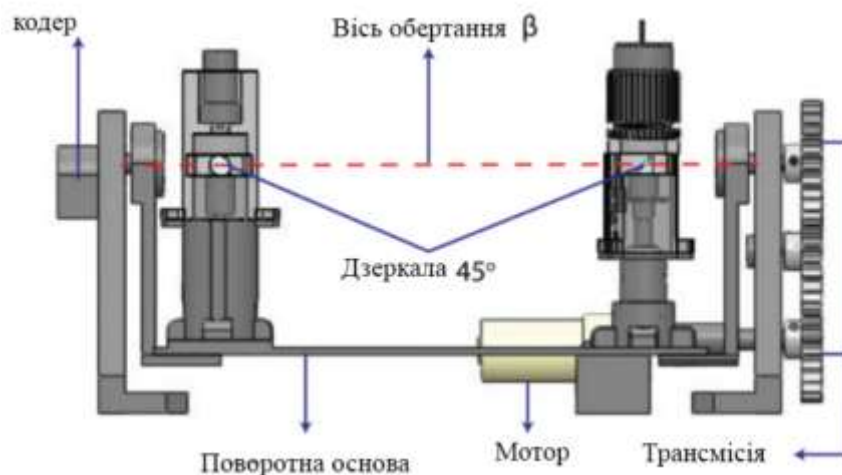


Рисунок 3.2 - Прототип осі β

3.1.1 Виробництво друкованої плати

Двостороння друкована схема була розроблена в програмному забезпеченні "Proteus", де кабелі були замінені мідними доріжками, які

покращують провідність між електронними з'єднаннями компонентів у двовимірному телевізорі, а також Друга друкована схема, яка керує розроблено кут β .

Для реалізації друкованої схеми, яка приймає імпульси від енкодера (з діафрагми сканування), датчика нуля та підсилює сигнал від двовимірного фотоприймача TVS, було розроблено дизайн та сформовано файл для надсилання на постачальника у форматі Gerber, який містить необхідну інформацію для виготовлення друкованої плати. Після виготовлення компоненти були встановлені на місце і припаяні оловом, як показано на рис.

Для цієї процедури необхідні такі компоненти та матеріали:

- а) 1 операційний підсилювач TL084;
- б) 1 інверторний затвор 74LS14;
- в) 2 резистори 220 Ом;
- г) 2 резистори по 4,7 кОм;
- д) 1 опір 1 кОм;
- є) 2 вбудованих 14-контактних тримача;
- ж) 6 штекерних роз'ємів для клемного входу;
- з) 6 гніздових роз'ємів для клем;
- і) 3 -контактний жіночий роз'єм з 7, 6 і 4 входами;

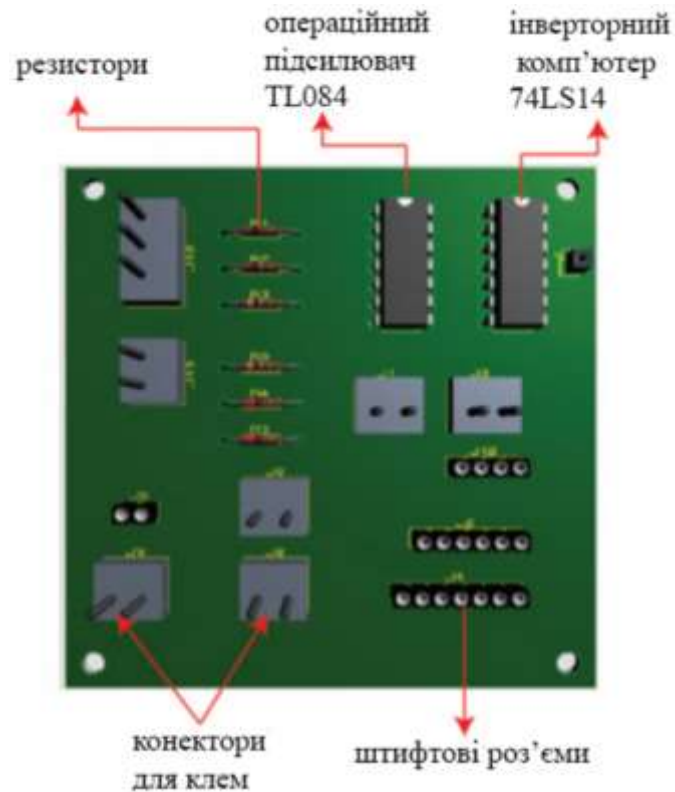


Рисунок 3.3 – Друкована схема TVS

Для реалізації друкованої схеми, яка живить кодер (осі β) 5 В і захищає його від коротких замикань, була розроблена одностороння друкована схема. Процедура виготовлення друкованої плати почалася з вирізання фенольної пластини розміром 5 см x 7 см, потім було налаштовано лазерний різак P rotoM atS63 і завантажено дизайн у форматі Gerber. Були також розміщені біти, необхідні для виконання отворів для компонентних клем. Потім покриття було додано для захисту друкованої плати від навколишнього середовища, такого як волога, вібрація або хімічні забруднення. Нарешті, як показано на рис. 3.4, були розміщені та зварені наступні компоненти:

- а) 2 конденсатора 4,7 пФ;
- б) 1 регулятор напруги на 5 В LM340T5;
- в) 2 запобіжника 0,25 А;
- г) 2 тримачі запобіжників;
- д) 3 блок -роз'єми (2 з трьох входів і 1 з 3 входів);
- є) 12 штифтів.

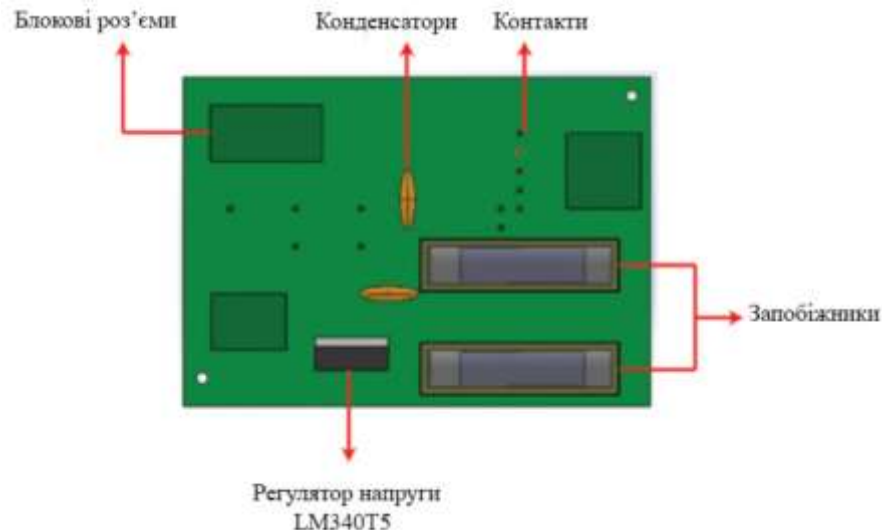


Рисунок 3.4 - Друкована схема, яка живить кодер осі β

3.1.2 Вирішення задачі підрахунку імпульсів

Квадратурний енкодер HDER-5512-BY 09 має два канали поза фазою 90° , які підключені до двох цифрових входів NI9403, кожен канал забезпечує 3600 імпульсів на обертання з простою точністю, однак у цій дослідницькій роботі була програма рівня FPGA призначена для використання чотирикратної точності, тобто для вимірювання станів 0 і 1 в обох каналах. Наприклад, на рис. 3.5, якщо взяти канал А за орієнтир, ми можемо побачити, що існують чотири стани від t_1 до t_4 (у квадратному циклі) щодо каналу В. Тому ми можемо побачити, що при порівнянні обох каналів, є чотири стани за цикл, що в чотири рази збільшує імпульси кодера до 14400 імпульсів за оборот.

З іншого боку, як згадувалося в теоретичних рамках, різниця фаз 90° між обома каналами дозволяє нам знати напрямок обертання двигуна. На рис. 3.5, якщо взяти канал А за орієнтир, ми можемо побачити, що при зміні стану від 0 до 1 канал В матиме значення 0, а коли станеться стан від 1 до 0, канал В буде мати значення 1, за цих умов двигун буде обертатися за годинниковою стрілкою

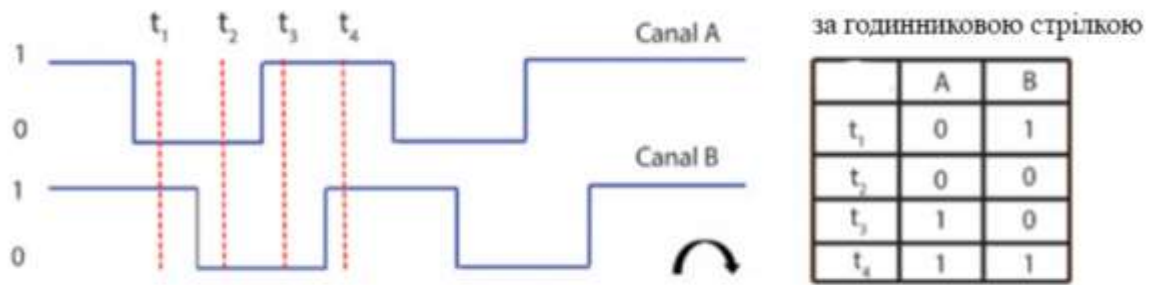


Рисунок 3.5 – Імпульси за годинниковою стрілкою

На рис. 3.6, якщо канал А знову взяти за орієнтир, ми можемо побачити, що при зміні стану від 0 до 1, канал В матиме значення 1, а коли стан від 1 до 0, канал В матиме значення 0, за цих умов двигун буде обертатися проти годинникової стрілки.

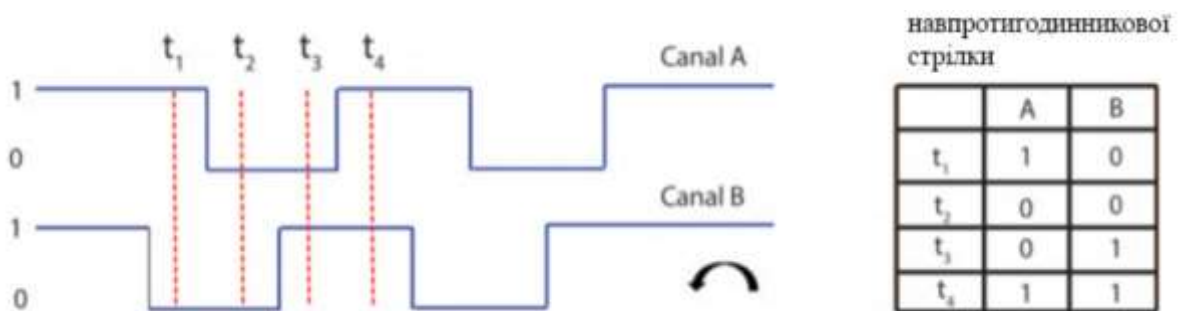


Рисунок 3.6 – Імпульси проти годинникової стрілки

В рамках розробки була створена програма підрахунку імпульсів на рівні FPGA для зчитування квадратних сигналів (ChannelA та ChannelB) кодера та знання напрямку обертання двигуна. При обертанні двигуна за годинниковою стрілкою збільшується кількість імпульсів, якщо двигун обертається проти годинникової стрілки, зменшується. При підрахунку 14400 імпульсів (тобто один повний оборот) лічильник скидається на 0° . Для розрахунку градусів на імпульс 360° ділиться на кількість загальних імпульсів за один оберт, як зазначено у рівнянні 2.2, розташованому в розділі теоретичної основи. Отже, для 14400 імпульсів, які забезпечує наш кодер, ми

отримуємо $P_A = 0,025^\circ$, це значення приймається за константу, яка множить імпульси, підраховані кодером, як показано у рівнянні 3.1. З іншого боку, варто згадати, що для реалізації перетворення від імпульсів до градусів була розроблена програма реального часу, оскільки ПЛІС призначена для збору та передачі сигналів.

$$Grad = Pulse \cdot P_A \quad (3.1)$$

3.1.3 Аналіз вибору контролера для вирішення поставлених задач

Для реалізації програми, яка управляє положенням β -кутового двигуна, був реалізований контролер PD з використанням пакета керування, наданого програмним забезпеченням LabVIEW, входні та вихідні параметри цієї функції такі ж, як у класичному ПІД-регулюванні, як 3.7 а) та 3.7 б). Для цієї дослідницької роботи еталон отримується за кількістю імпульсів, необхідних для досягнення бажаного кутового положення, тоді як змінною для обробки є зворотний зв'язок в імпульсах, що надається квадратурним кодером. Різниця, яка існує між посиленням та змінною, що підлягає обробці, призводить до помилки (ϵ) системи, як показано у рівнянні 2.10

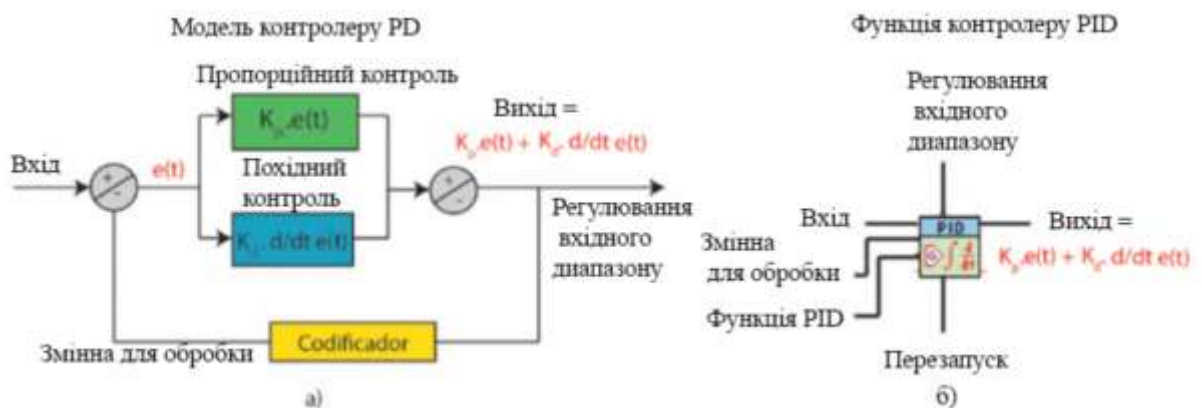


Рисунок 3.7: - а) Модель контролера PD б) входні та вихідні параметри функції ПІД-регулювання

Функція PID обчислює e і множить його на коефіцієнт посилення K_p для отримання пропорційного контролю, у свою чергу $(d / dt) * e(t)$ обчислюється і множиться на коефіцієнт підсилення K_d для отримання похідного контролю, тоді як коефіцієнт посилення K_i вимикається шляхом встановлення нуля, оскільки в контролері PD це не вимагає інтегральної дії. Додавання або віднімання виходів обох контролерів генерує вихід контролера PD, однак якщо коефіцієнти посилення не відрегульовані належним чином, в системі створюються перепади та демпфірування. Тому, щоб знайти коефіцієнти посилення, які дозволяють досягти точності $\pm 0,075^\circ$, були проведені випробування, що змінювали коефіцієнт підсилення контролера, де емпірично було визначено, що з $K_p = 10$, $K_i = 0$ і $K_d = 1$, отримує необхідну точність. З іншого боку, діапазони вихідних даних, що генеруються контролером PD, були відкалібровані від мінімальної та максимальної потужності двигуна (від моменту, коли він починає обертатися до максимальної швидкості), так що сигнал, що надається контролером PD, гарантує рух двигуна на його мінімальній потужності та уникає насичення, діапазони, встановлені в цій роботі, складають мінімальний діапазон 17500 та максимальний діапазон 65535, які вони вибираються залежно від роздільної здатності ширини імпульсу (відома під її аббревіатурою англійською мовою як ШІМ), що буде пояснено у наступному підрозділі. Для моделі двигуна PITTMAN GM8712J015 з напругою живлення 20 вольт функція PID була налаштована, як показано на рис. 3.8.

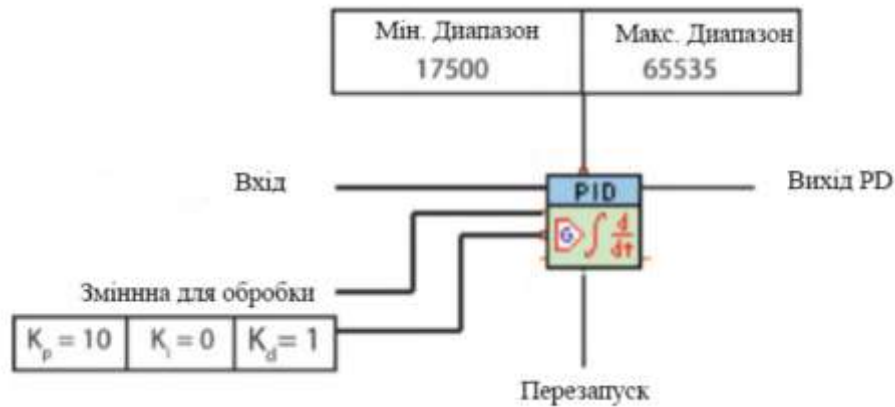


Рисунок 3.8 – Вхід = імпульси еквівалентні потрібній позиції

Змінна для обробки = імпульси кодера

$$\text{Вихід PD} = K_p \cdot e(t) + K_d \cdot \frac{d}{dt} \cdot e(t)$$

3.1.4 Широтно -імпульсна модуляція (ШІМ)

Для контролю прискорення та уповільнення двигуна дві ШІМ (16 біт) були запрограмовані на рівні FPGA за допомогою двох цифрових виходів модуля NI 9403, максимальна роздільна здатність ШІМ становить $2^{16} = 65535$. З цієї причини максимальний вихід Контролер PD був встановлений на 65535, а мінімальне значення - на 17500, оскільки при менших значеннях двигун не може подолати момент, що породжує вагу системи. Якщо перетворити мінімальну та максимальну роздільну здатність (R_c) ШІМ на робочі цикли, виражені у відсотках (P_c), застосувавши рівняння 3.2, ми можемо підтвердити, що наш двигун почне обертатися, коли $26,7\% \leq \text{робочий цикл} \leq 100\%$, як показано в Рис. 3.9.

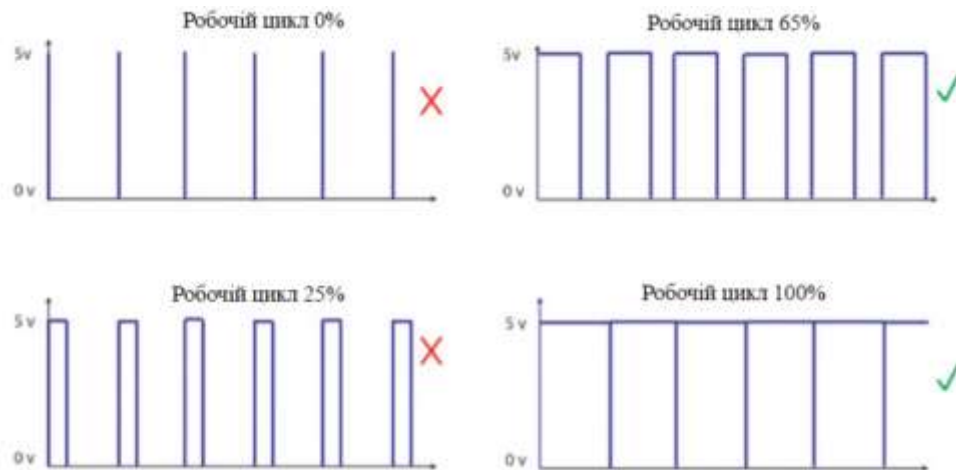


Рисунок 3.9 –Робочій цикл ШІМ

Рівняння 3.2 – Мінімальна та максимальна роздільна здатність (R_c) ШІМ, виражена у відсотках (P_c)

$$P_c = \frac{(R_c)(100)}{65535} \quad (3.2)$$

Як згадувалося на початку цього підрозділу, було створено два ШІМ - виходи: один для управління обертанням двигуна в ССW, а другий - для управління обертанням двигуна в СW. Управління виходами ШІМ ґрунтується на наступних трьох умовах:

- а) Якщо двигун знаходиться в межах гістерезису $-0,075 \leq e \leq 0,075$, він зупиниться, тобто ШІМ переходить на 0 у двох своїх каналах.
- б) Якщо $e \leq -0,075$, ШІМ 1 включається і обертає двигун у напрямку СW.
- в) Якщо $e \geq 0,075$, ШІМ 2 вмикається і обертає двигун у напрямку ССW.

P_c обох каналів залежить від величини e , наприклад, якщо ми хочемо розташувати наш двигун на 30° у напрямку СW, ШІМ 1 увімкнеться, щоб спробувати його розташувати. Припустимо, що двигун повернуто на 35° , тоді ШІМ 2 увімкнеться, щоб повернути двигун у напрямку ССW, двигун

зупиниться, поки він не досягне дозволеного h гістерезису. Нарешті, високий час ШІМ визначається як вихід PD, тоді як низький час як різниця виходу PD мінус 16-розрядна роздільна здатність. На рис. 3.10 показано роботу сигналів ШІМ на системі управління.

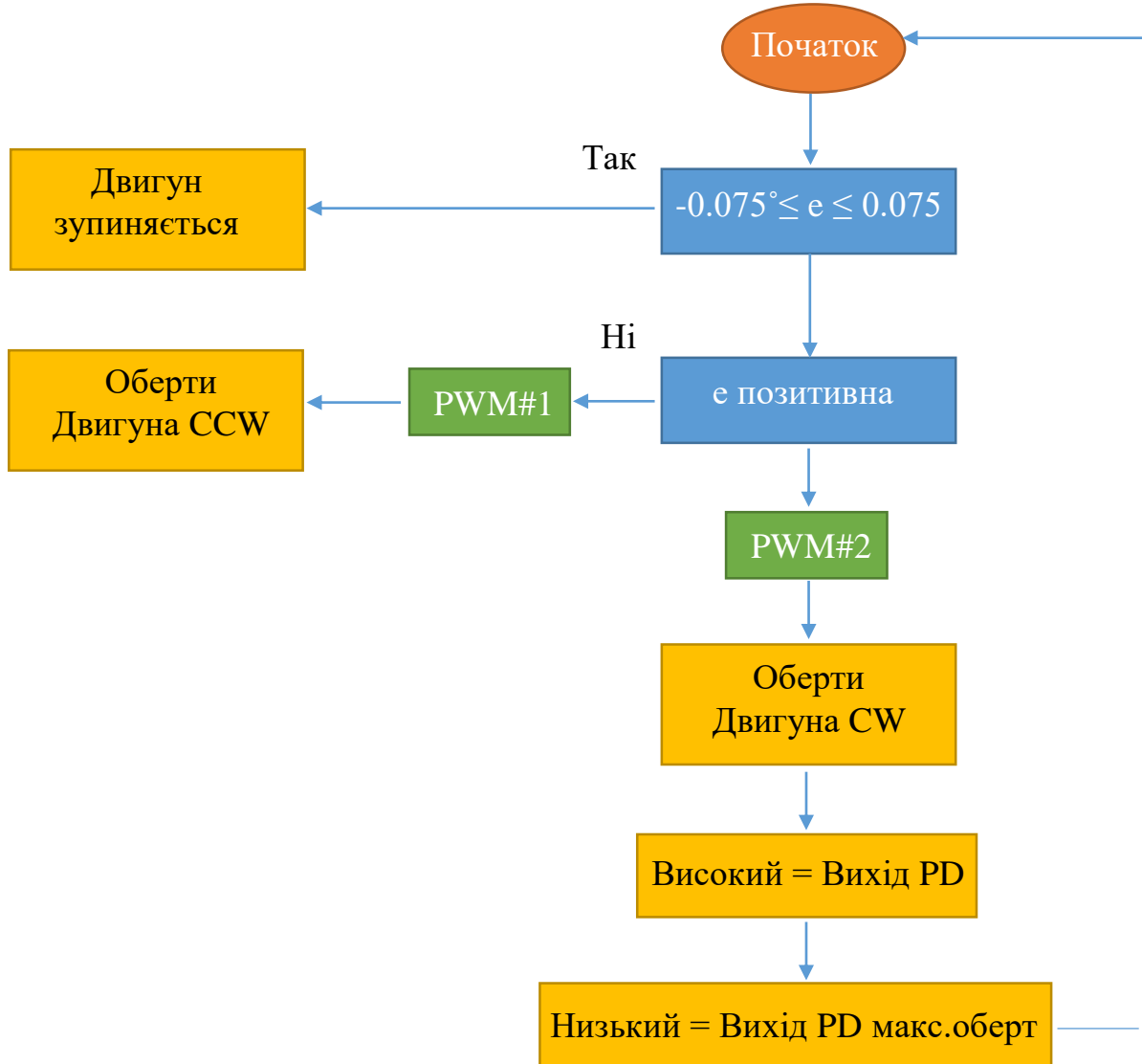


Рисунок 3.10 - Алгоритм сигналів PWM

3.1.5 Аналіз проблем живлення

Потужність, вироблена модулем NI 9403, генерує 5-вольтові ШІМ - виходи, при таких напругах неможливо повернути двигун GM8712J015, який працює від 7 до 30 В. Тому для збільшення напруги до 20 В та зміни напрямку обертання двигуна була використана модель H298. ШІМ 1 і ШІМ 2,

що генеруються NI 9403, підключаються спеціально до входів (IN1 та IN2) L298. Модуль має вхід для живлення компонентів, до яких підключено стаціонарне джерело 5 В, він також має вхід живлення, де підключено джерело змінної напруги 20 В, потім основи джерел 5 В і 20 В об'єднуються, утворюючи спільну землю. Нарешті, виходи (OUT1 та OUT2) підключаються до двигуна. 3.11 показані контакти живлення, входи та виходи L298.

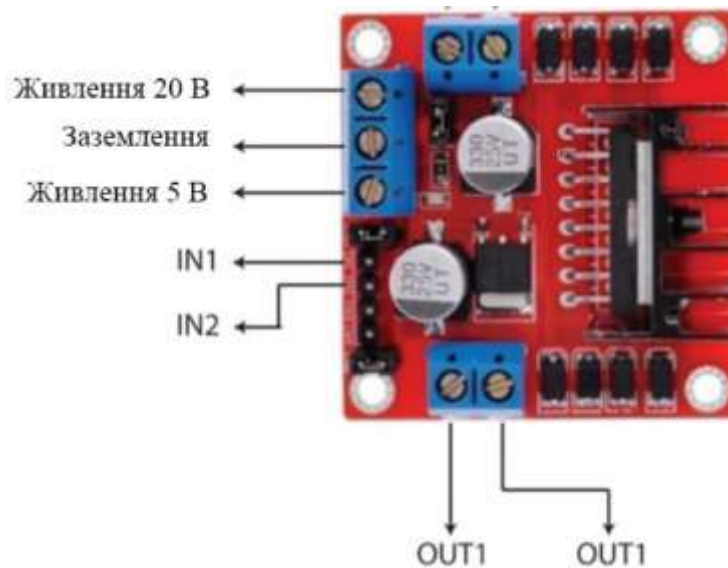


Рисунок 3.11 – Входи та виходи L298

3.2 Розробка та аналіз алгоритму вирішення задачі

У попередніх роботах Реал-Морено та ін. [9] двовимірні випробування були проведені з TVS із застосуванням алгоритму KNN для покращення точності системи, проте все ще існують невизначеності, тому в цьому дослідженні пропонується застосування нового алгоритму на основі ANN, що має на меті прогнозування помилки та введення в TVS для компенсації невизначеності. Для реалізації ANN необхідно було створити базу даних про основні атрибути системи, такі як: кут відкриття, кут позиціонувача лазера та галочки (імпульс годинника CompactRIO на частоті 40 МГц). Згодом ANN пройшов навчання за допомогою програмного забезпечення Matlab до

досягнення коефіцієнта кореляції (R). Згодом матриці ваги були взяті для програмування ANN у програмному забезпеченні LabVIEW.

3.2.1 Збір та накопичення інформації у базу даних

Основним кроком у навчанні алгоритму ANN є створення бази даних, яка структуровано та організовано зберігає основні характеристики системи. Для цієї дослідницької роботи була створена база даних із використанням сітки, як показано на рис. 3.12, де п'ять паралельних ліній позначені на відстані 5 см одна від одної, ці лінії знаходяться на відстанях від 15 см до 30 см щодо ортогональної відстані, що існує між діафрагмою сканування та лазерним позиціонувачом. Крім того, сітка має кутові лінії в діапазоні огляду від 50° до 130° щодо діафрагми сканування. Перетини, що існують між прямими, що вказують кути та паралельні відстані, є точками, які використовуються для навчання алгоритму.

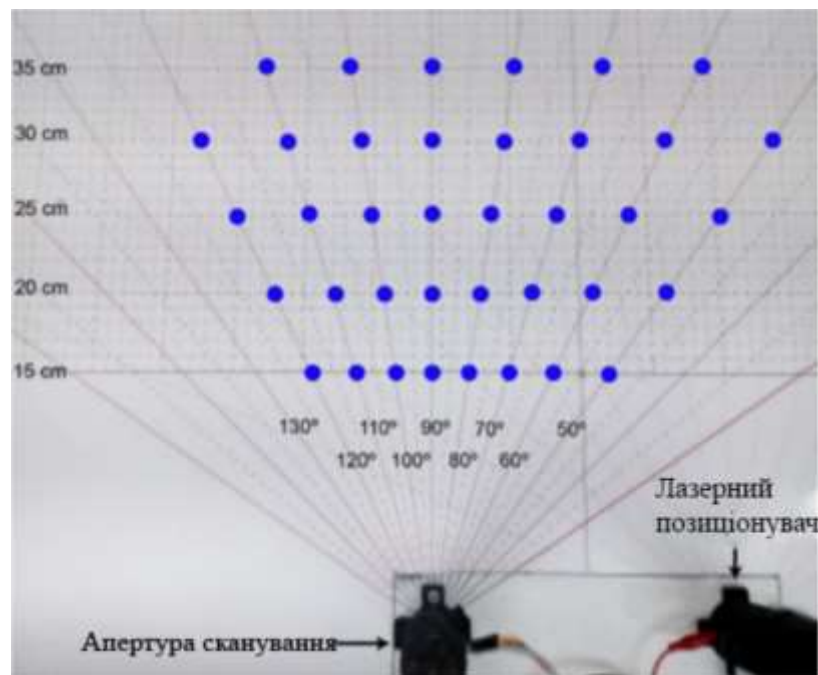


Рисунок 3.12 – Розподільна сітка для бази даних

Щоб створити базу даних, необхідно було розібрати двовимірний TVS з осі β та виміряти змінні: кут апертури сканування (B_{ij}), кут позиціонувача

лазера (C_{ij}) та мінімальне значення, яке може зчитувати наша система ($TICKS$). Щоб отримати вимірювання змінних, лазерний промінь розмістили на перетині. Після розташування лазера була використана програма, розроблена в LabVIEW, де змінні B_{ij} , C_{ij} та $TICKS$ вимірюються протягом 15 секунд, після закінчення часу вони зберігаються в матриці. Ця процедура використовується для вимірювання всіх перетинів і отримується матриця з 1000 вимірювань вибірки.

3.2.2 Навчання штучних неймереж

Розроблено ANN, що складається з входів (B_{ij}), (C_{ij}) та ($TICKS$) та виходу, званого компенсацією (помилка, передбачена ANN), який додається або віднімається від кута B_{ij} . Крім того, прихований шар складається з семи нейронів, семи упереджень і функції активації Tanh для кожного нейрона. Нарешті, вихідний шар складається з нейрона, біа та функції активації Руреліну. Конструкція ANN показана на рис. 3.13.

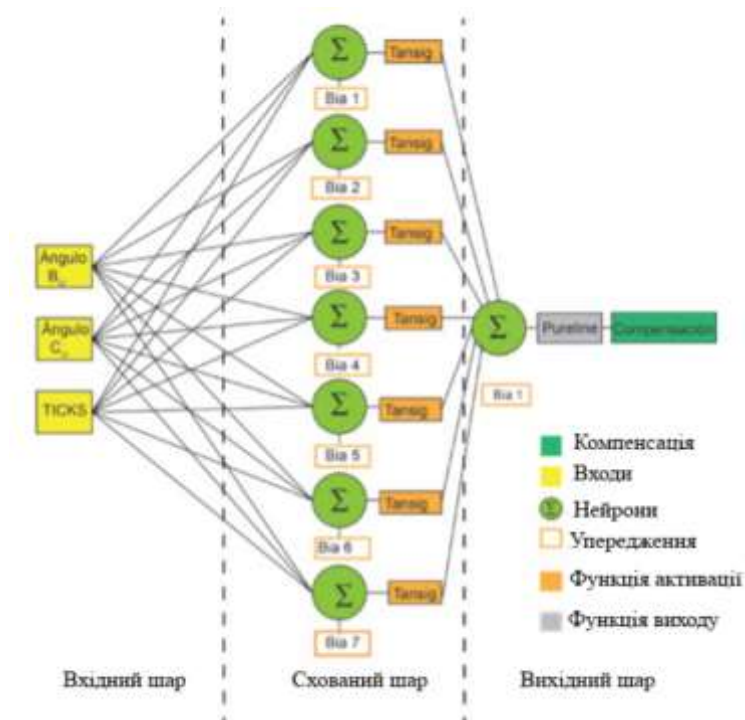


Рисунок 3.13 - Конструкція ANN

Для конфігурації та навчання ANN був використаний пакет програм Matlab, відомий як nntool, за допомогою якого отримуються необхідні матриці ваги та зміщення для реалізації ANN. Перший крок - імпортувати матрицю з бази даних у робочу область Matlab, потім вибрати тип мережевого зворотного розповсюдження та тип навчання на основі методу Левенберга - Маркварда, потім вибрати кількість шарів ANN (для цього випадок 2). У шарі 1 (прихований шар) призначається 7 нейронів і функція активації Tansig (також відома як функція активації TanH). З іншого боку, для шару 2 (вихідний шар) призначаються нейрон і функція активації Руреліну. Інтерфейс налаштування ANN показаний на рис. 3.14.

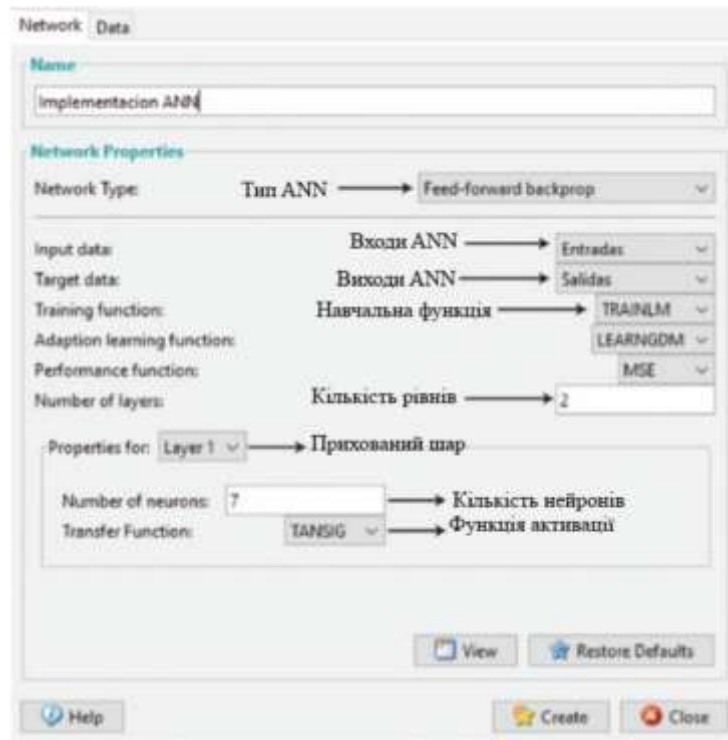


Рисунок 3.14 – Інтерфейс конфігурації ANN

Після того, як мережу налаштовано, натисніть кнопку створення, і вона з'явиться, як показано на рис. 3.15, де вхідні дані представляють входи, за допомогою яких буде навчатися наша мережа ANN, прихований шар - це прихований шар, який складається з ваг і зміщення, які додаються для обчислення функції активації Tansig. Згодом результат стає вагою вихідного

шару, який додається з ухилом для обчислення функції активації Руреліну та створення виходу ANN, який компенсує помилку в TVS.

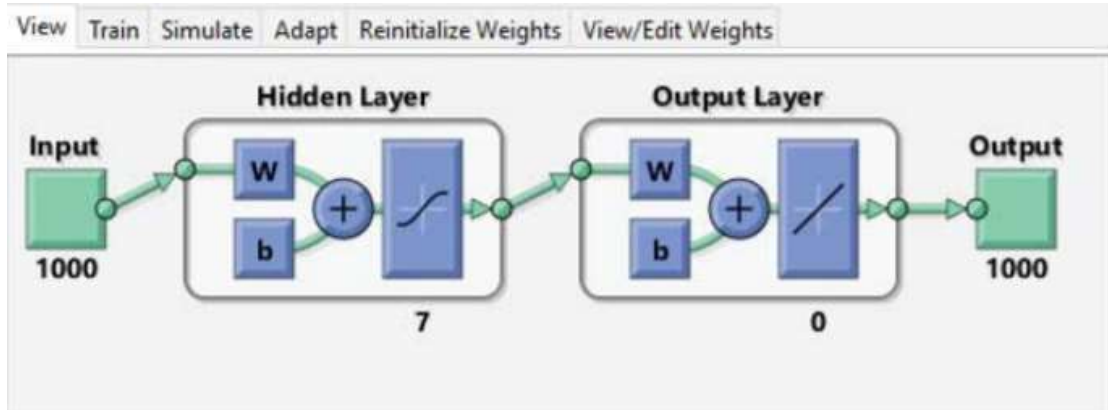


Рисунок 3.15 – Конфігурація нейромережі після створення у Matlab nntool

Для навчання алгоритму параметри були налаштовані так, як показано на рис. 3.16, де `epochs` - це кількість епох (в даному випадку 1000), в яких ANN буде навчатися до тих пір, поки не буде досягнуто мети (мети).

Параметр `mu` представляє параметр адаптації, який використовується у навчанні акварта Ленверга-М. `mu_dec` - це коефіцієнт зменшення, тоді як `mu_inc` - коефіцієнт приросту, нарешті `mu_max` - це максимальне значення, якого `mu` може досягти. З іншого боку, `max_fail` - це максимальна кількість збоїв у навчанні, а `min_grad` - мінімальна продуктивність градієнта.

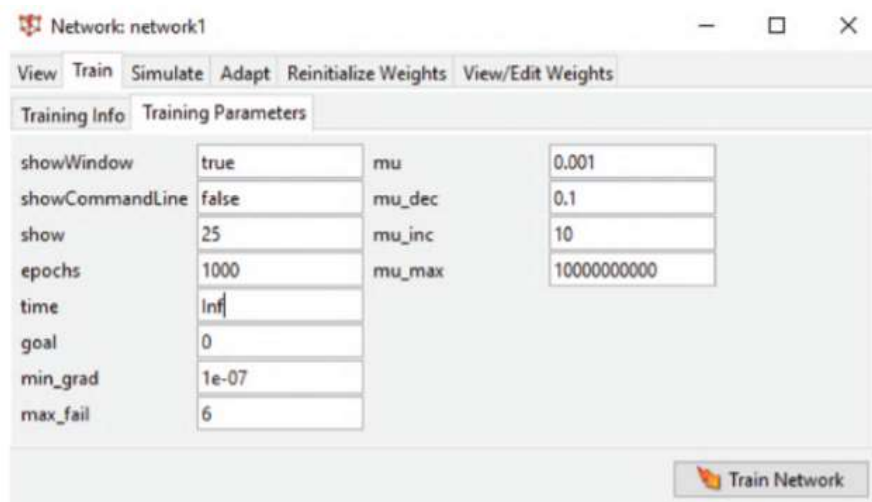


Рисунок 3.16 – Налаштування параметрів нейромережі

Алгоритм навчався, поки він не досяг $0,90 \leq R \leq 0,94$, щоб уникнути перетренованості, тобто запобігти вивченню ANN лише в окремих випадках, з якими він навчався, і не мав можливості пристосовуватися до інших випадків.

З іншого боку, для оцінки продуктивності алгоритму та гарантування того, що результати не залежать від навчального та тестового розділів, використовується функція перехресної перевірки, яка дозволяє розділити базу даних на 10 розділів. На рис. 3.17 показані розділи даних, де для кожної взаємодії призначається папка для тестування та дев'ять для навчання. Після поділу бази даних алгоритм навчається та перевіряється в кожній взаємодії, таким чином обчислюється середня квадратична помилка (відома за її аббревіатурою в англійській мові як RMSE). Нарешті, RMSE кожної взаємодії усереднюється для отримання перевіреного значення.

	Kfold									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
n=1	P	E	E	E	E	E	E	E	E	E
n=2	E	P	E	E	E	E	E	E	E	E
n=3	E	E	P	E	E	E	E	E	E	E
n=4	E	E	E	P	E	E	E	E	E	E
n=5	E	E	E	E	P	E	E	E	E	E
n=6	E	E	E	E	E	P	E	E	E	E
n=7	E	E	E	E	E	E	P	E	E	E
n=8	E	E	E	E	E	E	E	P	E	E
n=9	E	E	E	E	E	E	E	E	P	E
n=10	E	E	E	E	E	E	E	E	E	P

Рисунок 3.17 - Розділи даних, де для кожної взаємодії призначається папка для тестування та дев'ять для навчання

3.2.3 Впровадження штучної нейронної мережі

Наприкінці процесу навчання та валідації ANN беруться вагові матриці та зміщення кожного шару, згодом ANN програмується, враховуючи, що вхідне значення кута V_{ij} коливається від 40° до 120° . Крім того, вхідне значення кута C_{ij} коливається від 31° до 87° , а значення входу Ticks

змінюється від 7200 до 264479. З іншого боку, функція активації Tanh коливається в межах (-1,1). Отже, функцію не можна обчислити, оскільки значення входів ANN знаходяться поза діапазоном функції Tanh, тому необхідно нормалізувати входи до тієї ж шкали, що і функція активації Tanh. Для нормалізації даних необхідно застосувати рівняння 3.3.

$$X_t = \alpha + \frac{(X_i - m_i)(b_e - \alpha_e)}{M_i - m_i} \quad (3.3)$$

Де X_t являє собою нормовані значення записів ANN, X_i - ненормалізовані записи ANN, m_i - мінімальне значення кожного ненормалізованого запису, M_i - максимальне значення кожного ненормалізованого запису. Нарешті, значення α_e та b_e - це мінімальна та максимальна шкали відповідно, до яких входи будуть нормалізовані.

На рис. 3.18 показана програма, розроблена в LabVIEW, де вхідний вектор нормалізується для множення на вагову матрицю прихованого шару, потім додається вектор зміщення. Отриманий результат є вектором, який проходить через функцію активації Tanh, після розрахунку він помножується на вектор ваг вихідного шару і додається з ухилом вектора. Нарешті, необхідно денормалізувати значення, отримане з ANN, щоб отримати похибку в реальному діапазоні.

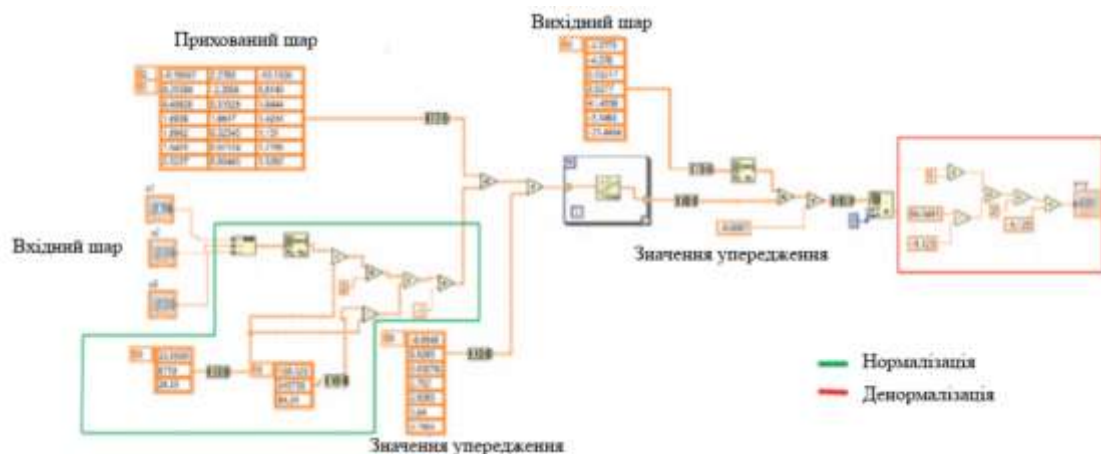


Рисунок 3.18 - Програма, розроблена в LabVIEW

Рівняння 3.4 використовується для денормалізації даних отриманих з ANN

$$X_i = \frac{(X_t - \alpha_e)(M_i - m_i)}{b_e - \alpha_e} + m_i \quad (3.4)$$

3.3 Аналіз використання рівняння Z

Реалізація осі обертання β у Системі технічного зору (відома під її аббревіатурою англійською мовою як TVS) дозволяє сканувати тривимірні поверхні, застосовуючи рівняння 3.5.

$$Z_i = (\alpha) \frac{(\sin C)(\sin B)(\tan \beta)}{\sin(B+C)} \quad (3.5)$$

Де

α - являє собою фіксовану відстань між діафрагмою сканування та лазерним позиціонувачом,

C - кут лазерного позиціонувача,

B - кут діафрагми сканування,

β - кут осі обертання.

Рівняння Z запрограмовано в рамках SubVI, де програмуються рівняння 1.1 та 1.2, які дозволяють сканувати двовимірні поверхні по осях X і Y. Для вимірювання тривимірних поверхонь необхідно було включити до програми рівняння Z, як показано на рис. 3.19.

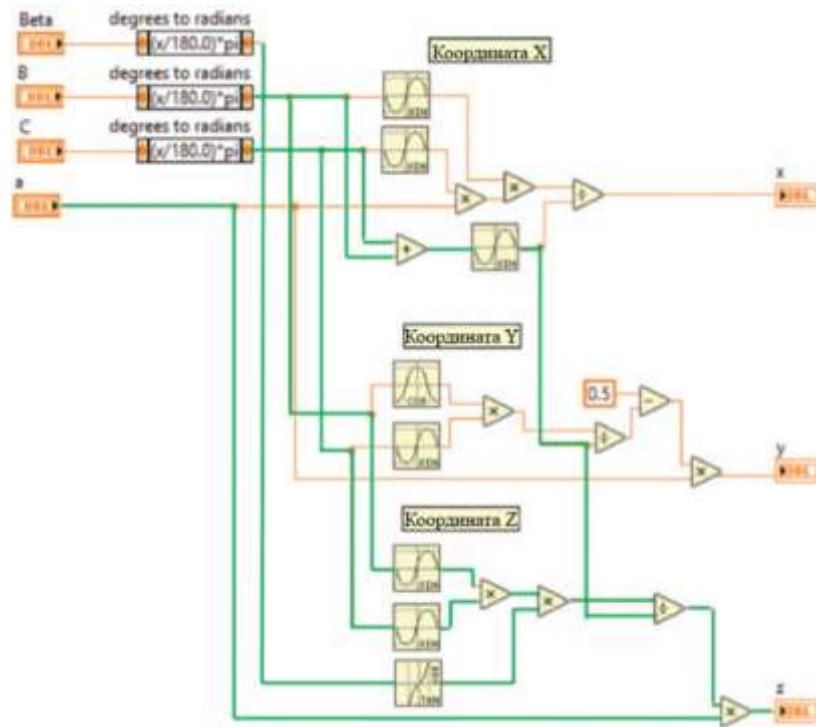


Рисунок 3.19 - Зелені лінії позначають зв'язки рівняння Z

3.4 Аналіз використання тривимірного інтерфейсу

Однією з основних проблем, що виникають, є реалізація графічного інтерфейсу, що дозволяє візуалізувати тривимірні поверхні, оскільки Comract-RIO не має доступу до функцій графічного середовища, тому програма на рівні комп'ютера за допомогою спільних змінних, що передаються від пристрою до комп'ютера, дає змогу накреслити графіки координат X, Y та Z в кінці процесу поверхневого сканування. Для створення програми необхідно було створити загальну змінну в головній програмі та додати розділ коду, показаний на рис. 3.20.

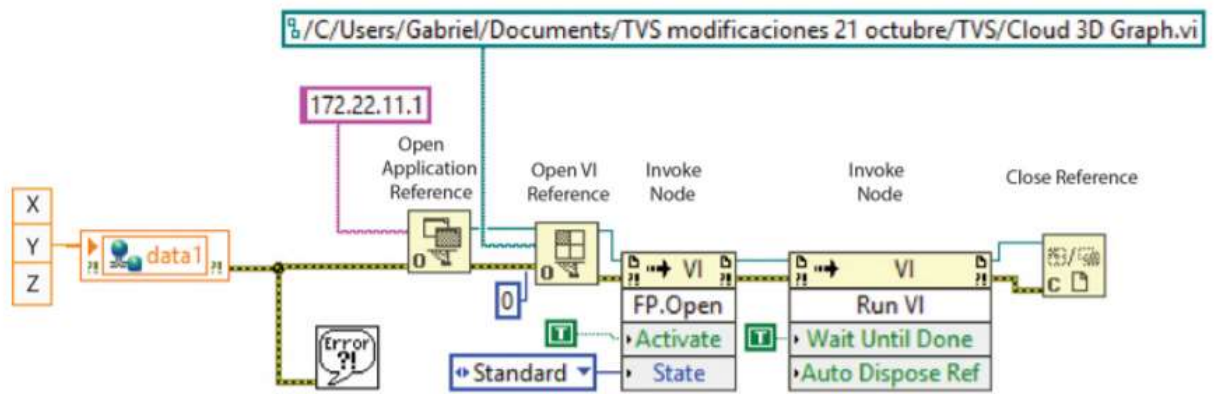


Рисунок 3.20 – Секція програми що обмінюється з інтерфейсом на комп'ютерному рівні

Де *data1* - це спільна змінна, що дозволяє передавати координати *X*, *Y* і *Z* на комп'ютер. *Open Application Reference* створює посилання для доступу до інформації Compact-RIO, використовуючи адресу пристрою для цього випадку 172.22.11.1, пізніше *Open Reference Reference* дозволяє відкрити посилання VI, вказуючи розташування папки, після чого *Invoke Node* відкриває та виконує програма, знайдена на рівні комп'ютера. Нарешті, *Закрити посилання* використовується для закриття посилань, пов'язаних з VI.

З іншого боку, програма VI, яка працює на рівні комп'ютера та використовується для побудови графіку тривимірних координат, показана на рис. 3.21. Якщо спільна змінна надає координати *X*, *Y* і *Z*, які обчислюються в Compact-RIO в одному векторі, тому вони розділені функціями *ArraySubset* для надсилання до функції 3D-розсіювання у вигляді трьох незалежних векторів. Згодом двовимірні або тривимірні хмари точок показані в інтерфейсі хмари 3D-розсіювання, показаному на рис. 3.22. З іншого боку, всередині циклу *while* є структура випадку на основі подій, яка має функцію збереження хмари точок або закриття без збереження після закінчення часу сканування.

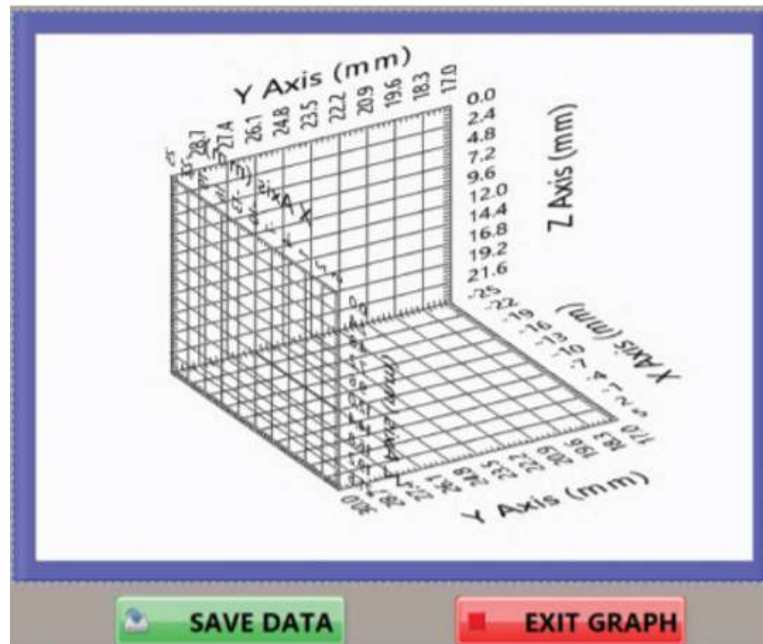


Рисунок 3.22 - Інтерфейс хмари 3D-розсіювання

3.5 Висновки до розділу

У цьому розділі описувалася процедура виконання цієї дослідницької роботи, пояснювалося проектування, виготовлення та збирання системи, а також вісь обертання β . Згодом були вказані процедура та матеріали, необхідні для виготовлення друкованих плат ТВС. Пізніше був описаний метод підрахунку імпульсів з чотирикратною точністю, який полягає у зчитуванні високого та нижнього країв каналу A та каналу B квадратурного кодера. Він також розповідає про конструкцію та конфігурацію контролера PD, який використовується для позиціонування осі β , і як він відноситься до ШІМ для маніпулювання робочим циклом від 0% до 100%. Ступінь потужності, що використовується для збільшення напруги ШІМ до 20 В і дозволяє двигуну постійного струму рухатися. З іншого боку, пояснюється детальна процедура створення бази даних з 1000 зразків, що використовуються для навчання раніше сконфігурованої ANN, беруться вагові матриці та зміщення для розробки ANN у програмному забезпеченні LabVIEW. Нарешті, розроблено графічний інтерфейс із використанням

загальних змінних, що дозволяє передавати інформацію з Compact-Rio на комп'ютер для перегляду двовимірних та тривимірних хмар точок.

Реалізація осі обертання β шляхом підрахунку імпульсів, генерованих квадратурним кодером, контролером PD, широтно -імпульсною модуляцією та ступенем потужності дозволила контрольований поворот кута. В з точністю $\pm 0,075$. Цей прогрес зробив можливим сканування тривимірних поверхонь. З іншого боку, з виробництвом електронних схем вдалося зменшити невизначеності, викликані хибними контактами між компонентами. Однак все ще існували невизначеності у розрахунку кута скануючої апертури та деформації енергетичного центру лазерного променя.

Тому застосування алгоритму на основі ANN дозволило передбачити помилку та компенсувати її. Нарешті, реалізація графічного інтерфейсу, створеного в середовищі програмування LabVIEW, дозволила візуалізувати тривимірні хмари точок, створені скануючими об'єктами. У главі 4 будуть пояснені результати, отримані на основі процедури, виконаної у цьому розділі.

4 АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ В РОБОТІ РЕЗУЛЬТАТІВ

4.1 Аналіз контролера PD

Для настроювання системи контролю PD були проведені випробування, де були змінені константи K_p і K_d , поки помилка не була послаблена в діапазоні $-0,075^\circ \leq e \leq 0,075^\circ$. На рисунку 4.1 показана поведінка системи керування при застосуванні входу ступеня типу 7 одиниць (червона лінія) з використанням різних коефіцієнтів посилення.

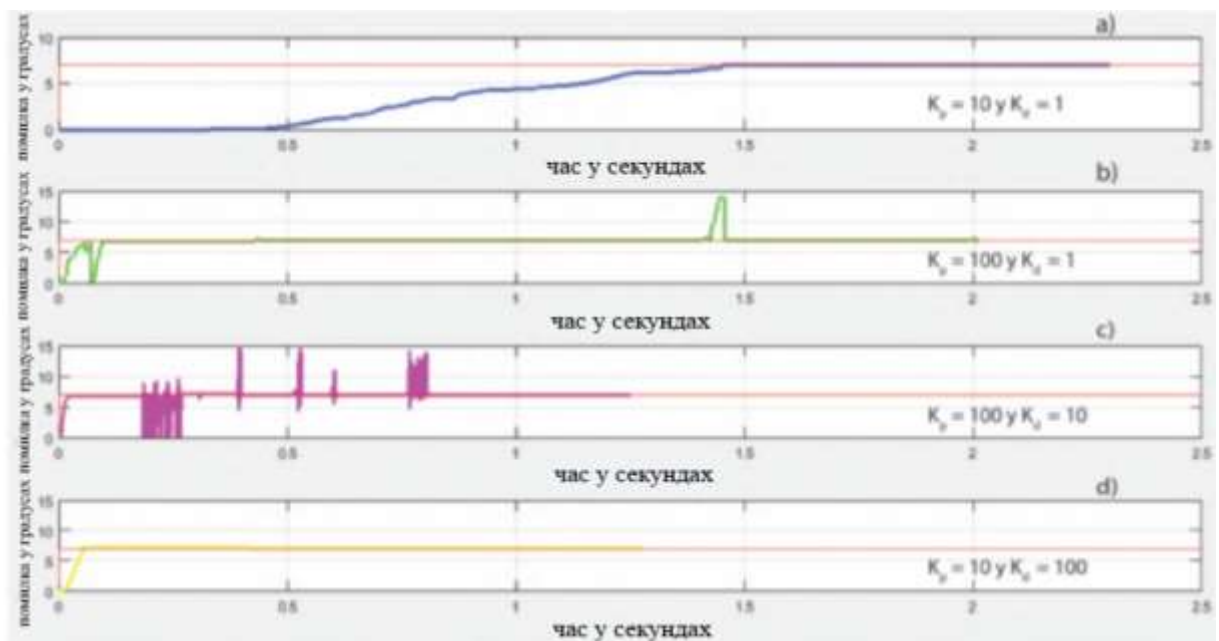


Рисунок 4.1 – а) Система відповідає повільно але точно. б) Система відповідає швидко але коливається протягом тривалого періоду
в) Система відповідає швидко швидко, але коливається.
г) Система відповідає швидко і немає коливань.

Для системи технічного зору (відома під її аббревіатурою в англійській мові як TVS) можна використовувати опції рис. 4.1 а) та рис. 4.1 г), оскільки обидві моделі є точними і хоча перша модель повільніша за другу, обидва мають необхідну швидкість відгуку, щоб TVS могла позиціонуватися у прийнятний час під кутом β . Однак у цьому дослідженні була використана

модель на рис. 4.1 а), оскільки модель на рис. 4.1 г) демонструє швидке гальмування, і оскільки це механізм, виготовлений з матеріалу PLA, він спричиняє збільшення зносу валів, підшипників та муфт. коливання в системі. Після впровадження контролера проводили вимірювання від -3° до 3° і аналізували точність осі обертання β в полі зору (відомого під його аббревіатурою в англійській мові як FOV) від -15° до 15° . Слід зазначити, що вісь обертання може охоплювати ширший діапазон FOV, якщо двигун коробки передач замінити на двигун, що генерує більшу потужність, і змінити муфту, що з'єднує вал шестерні та вал. Двигун, оскільки вони виготовлені з матеріалу PLA і він має тенденцію до змідання. Таблиця 4.1 показує фактичне значення та значення, отримане за допомогою контролера

Таблиця 4.1 – Фактичне значення та значення, отримане за допомогою контролера

Фактичне значення	-15.00°	-12.00°	-9.00°	-6.00°	-3.00°	0.00°	3.00°	6.00°	9.00°	12.00°	15.00°
Значення контролера	-15.00°	-12.07°	-8.97°	-6.10°	-3.05°	0.05°	3.02°	6.05°	9.10°	12.00°	15.05°

Було зроблено кореляційний графік для аналізу лінійності реального значення з контрольованим значенням. На рис. 4.2 показано, що контрольовані значення адекватно адаптовані до реальних значень, досягаючи коефіцієнта кореляції (R) 0,99

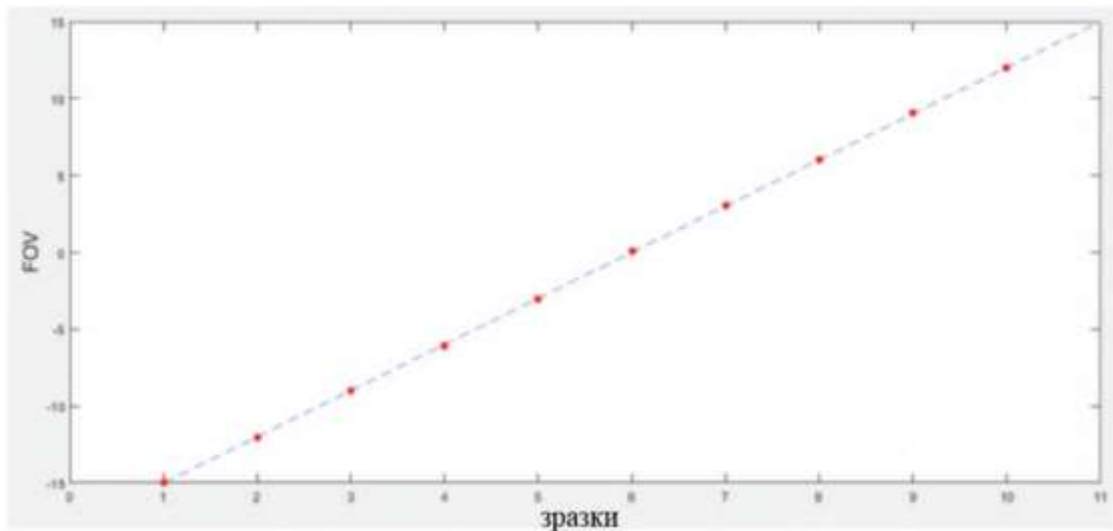


Рисунок 4.2 – Синя лінія показує реальні значення, червоні точки показують контрольовані значення

Нарешті, була розрахована середня квадратична помилка (відома за її аббревіатурою в англійській мові як RMSE), де отримане значення $0,0578^\circ$. З цим результатом можна зробити висновок про відносно низьку похибку між реальним та контрольованим значенням.

4.2 Аналіз навчання нейронних мереж

У попередніх дослідженнях Real-Moreno et al. [9], TVS використовує алгоритм близького сусіда (відомий під його аббревіатурою в англійській мові як KNN), який передбачає помилку і вводить її в систему, щоб компенсувати її. Однак алгоритм містить середню квадратичну помилку (відому за її аббревіатурою в англійській мові як RMSE) $0,5638^\circ$, на додаток до повільності при обробці інформації через необхідність завантаження бази даних. Тому в цьому дослідженні ми намагаємось знайти швидку та адаптовану функцію до зовнішніх подій, яка покращує RMSE. Тому алгоритм на основі ANN навчався до досягнення коефіцієнта кореляції (R) між $0,90$ і $0,94$. Результати R, отримані при навчанні алгоритму в пакеті програм Matlab, наведені на рис. 4.3.

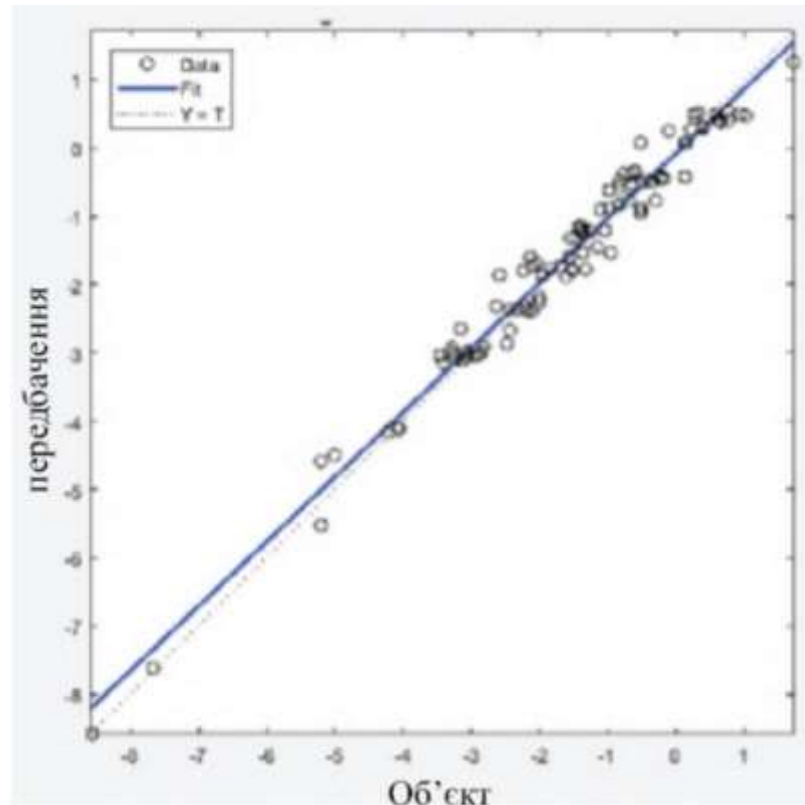


Рисунок 4.3 – Отримане значення $R = 0.932687$ адекватно адаптоване під значення реальне

Для навчання та перевірки алгоритму була використана функція перехресної перевірки, яка дозволяє розділити базу даних на десять папок (папки можуть змінюватись) для навчання та тестування алгоритмів десять разів з різними папками даних. Наприклад, у першій взаємодії перша папка даних була використана для перевірки алгоритму, і алгоритм навчався на основі даних у другій папці. У другій взаємодії дані з другої папки були використані для перевірки алгоритму, і всі папки, крім папки два, були навчені, і так далі до тестування та навчання алгоритмів з усіма папками в базі даних. Варто згадати, що для кожної взаємодії алгоритму KNN та ANN розраховували RMSE, результати наведені відповідно до таблиць 4.2 та 4.3.

Таблиця 4.2 – RMSE розрахований за допомогою алгоритма KNN

interactions	RMSE	interactions	RMSE
1	0.6362	6	0.7489
2	0.5205	7	0.4998
3	0.5313	8	0.4489
4	0.5656	9	0.6074
5	0.5086	10	0.5708

Таблиця 4.3 - RMSE розрахований за допомогою алгоритма ANN

interactions	RMSE	interactions	RMSE
1	0.4002	6	0.2925
2	0.3293	7	0.3085
3	0.2790	8	0.4028
4	0.3369	9	0.3483
5	0.6614	10	0.3267

Середнім значенням RMSE десяти взаємодій для алгоритму KNN було отримано $RMSE = 0,5638$, тоді як для алгоритму ANN $RMSE = 0,3686$. Тому ми можемо стверджувати, що застосування алгоритму, заснованого на ANN, передбачає помилку з більшою точністю, ніж алгоритм KNN, також це швидше, оскільки це не залежить від функції прогнозування.

4.3 Аналіз нейронної мережі

В роботі було зроблено 100 вимірювань на сітці в площині X і Y за допомогою програми на основі KNN (попередній метод), реалізованої в TVS.

Рис. 4.4 показує поведінку прогнозованого значення щодо реального значення.

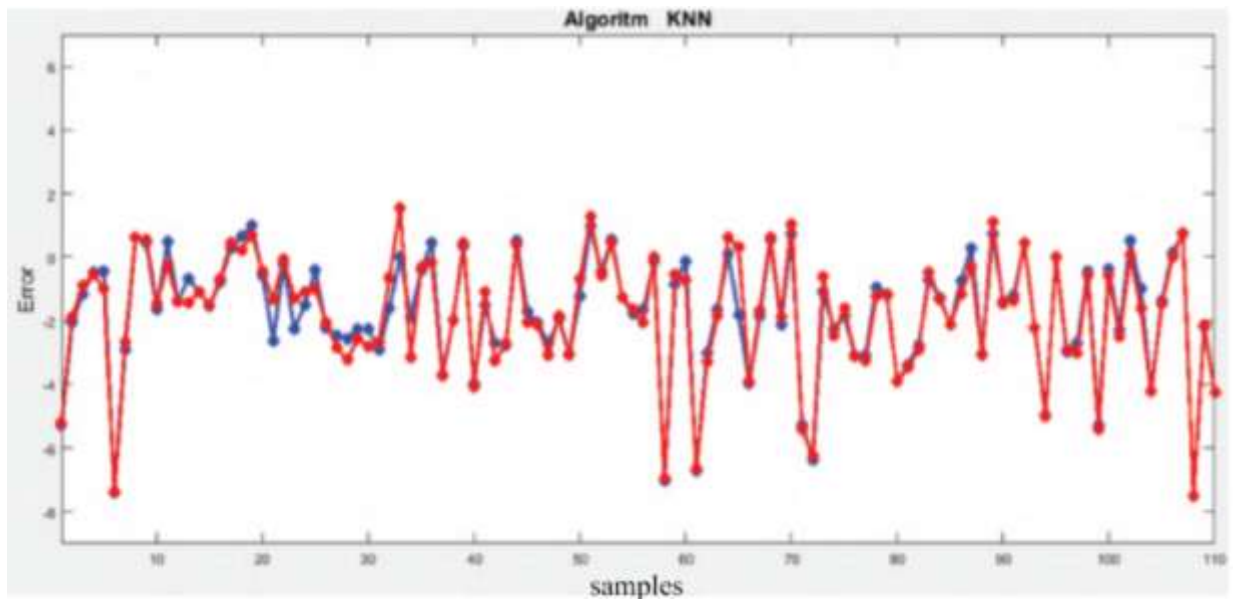


Рисунок 4.4 – Порівняння реальних значень та згенерованих алгоритмом KNN

З іншого боку, такі ж вимірювання були зроблені з TVS за допомогою алгоритму ANN (розроблений метод). Рис. 4.5 показує поведінку прогнозованого значення та фактичного значення.

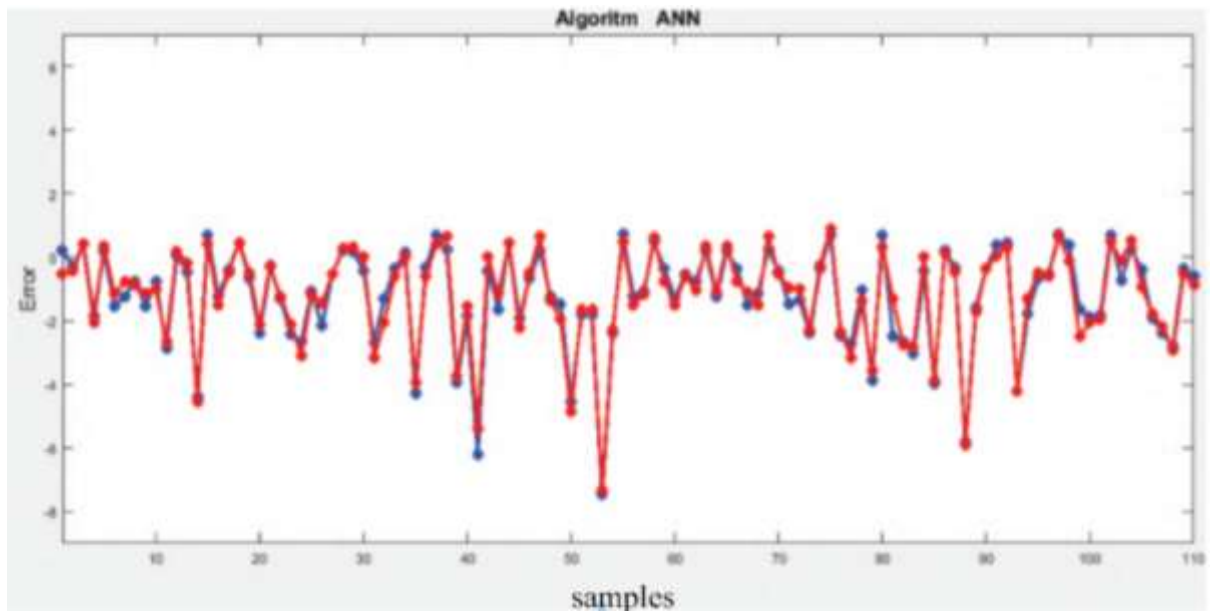


Рисунок 4.5 - Порівняння реальних значень та згенерованих алгоритмом ANN

Порівняння графіків 4.4 та 4.5 показує, що застосування розробленого методу краще передбачає похибку системи, оскільки прогнозоване значення має кращий відсік щодо реального значення.

4.4 Двовимірний аналіз та порівняння хмар точок

Вимірювання лазерним скануванням проводились із застосуванням попереднього методу на двовимірних поверхнях на відстанях 15 см, 20 см, 25 см та 30 см по осі Y, тоді як по осі X від -5 см до 25 см. Рис. 4.6 а) показує хмари точок, отримані на кожній відстані із застосуванням попереднього методу. З іншого боку, ті самі вимірювання були зроблені знову, але цього разу за допомогою розробленого методу результати хмар точок кожної відстані показані на рис. 4.6 б).

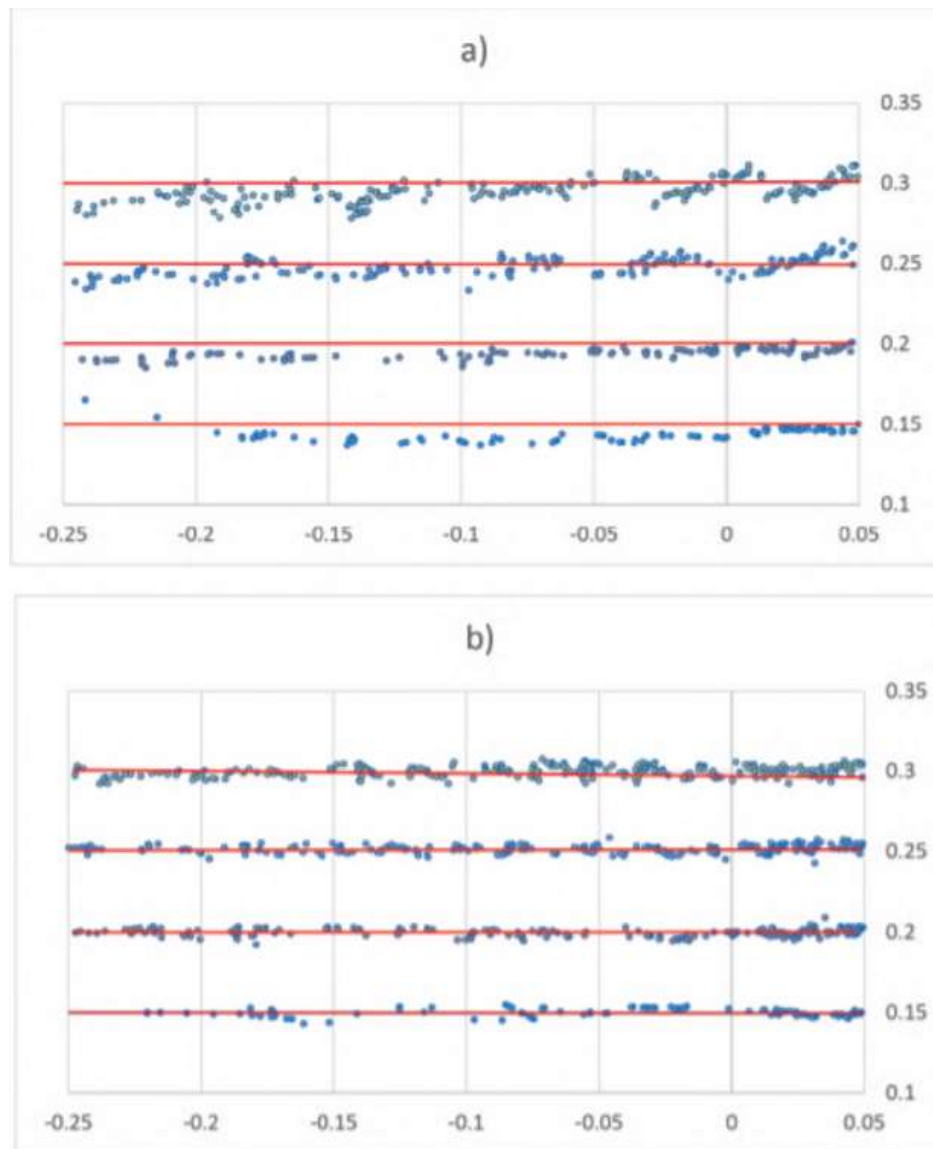


Рисунок 4.6 – Хмари точок а) хмари точок отримані із застосуванням попереднього методу. б) хмари точок отримані із застосуванням розробленого методу

При порівнянні графіків 4.6 а) та 4.6 б) спостерігається, що при застосуванні розробленого методу спостерігається менша дисперсія та відставання точок щодо кожної відстані. Для перевірки цього твердження було розраховано стандартне відхилення хмар точок попереднього методу та розробленого методу. У таблиці 4.4 наведено стандартне відхилення для кожної відстані, і можна помітити, що результати, отримані на 20 см, 25 см та 30 см, є подібними. Однак на 15 см це вище, ніж інші відстані сканування.

Таблиця 4.4 – Вимірювання лазерного сканування за допомогою алгоритму KNN

Дистанція	Кількість вимірювань	Стандартне відхилення
15см	101	0.0080
20см	125	0.0066
25см	173	0.0061
30см	204	0.0053

З іншого боку, у таблиці 4.5 показано стандартне відхилення хмар точок за допомогою розробленого методу, де кращі наближення та зменшення дисперсії точок можна побачити в результатах щодо кожної відстані.

Таблиця 4.5 - Вимірювання лазерного сканування за допомогою алгоритму ANN

Дистанція	Кількість вимірювань	Стандартне відхилення
15см	103	0.0034
20см	337	0.0055
25см	498	0.0056
30см	447	0.0053

Нарешті, у таблиці 4.6 наведено відсотки покращення стандартного відхилення попереднього методу щодо методу, розробленого на відстанях 15 см, 20 см, 25 см та 30 см.

Таблиця 4.6 - Відсоткове покращення стандартного відхилення алгоритму ANN відносно KNN.

Дистанція	Попередній метод	Розроблений метод	Відсоток покращення %
15см	0.0080	0.0034	57.5%
20см	0.0066	0.0055	16.6%
25см	0.0061	0.0056	8.19%
30см	0.0069	0.0053	23.18%

4.5 Тривимірний аналіз хмар точок

Для сканування тривимірних поверхонь використовувався такий об'єкт, виготовлений на 3D-принтері, як той, що показаний на рис. 4.7.



Рисунок 4.7 – Тривимірний об'єкт трапецієподібної форми.

Об'єкт з тривимірними поверхнями був відсканований із застосуванням попереднього методу, використовуючи швидкість руху лазерного променя 5 кроків / секунду, частоту в діафрагмі сканування 20 Гц та просування по 2 кроки в кожному розгортці. Під кутом β . Отримана тривимірна хмара точок показана у фронтальному та ізометричному вигляді відповідно на рис. 4.8 а) та на рис. 4.8 б), де деформація, спричинена через низьку точність, вказана червоними кружками, на яких кут відкриття V_{ij} і передбачається деформація енергетичного центру лазерного променя, що виникає через ефект триангуляції.

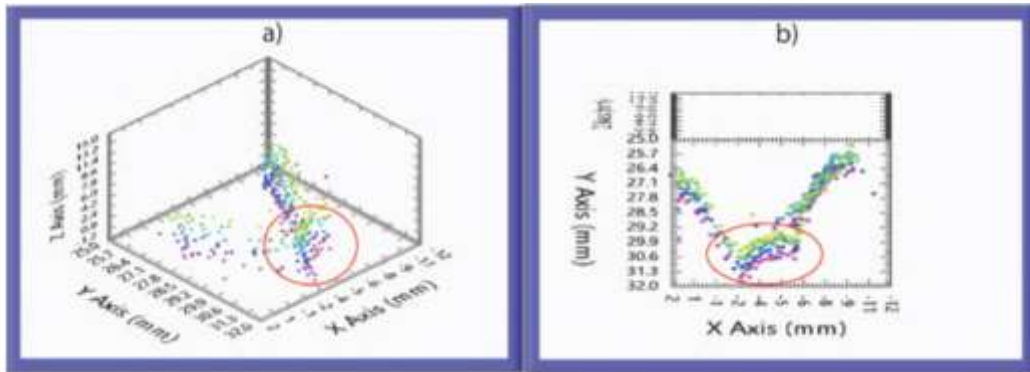


Рисунок 4.8 - Хмара точок, отримана при скануванні трапецієподібної частини за допомогою попереднього методу

Друге вимірювання було зроблено з використанням тих самих параметрів швидкості та подачі, але цього разу із застосуванням розробленого методу. На рис. 4.9 а) та на рис. 4.9 б) показані фронтальний та ізометричний вигляд відповідно, де покращення вимірювання шматка можна побачити у червоних колах через збільшення точності кута V_{ij} , однак ефект триангуляції все ще викликає незначні деформації.

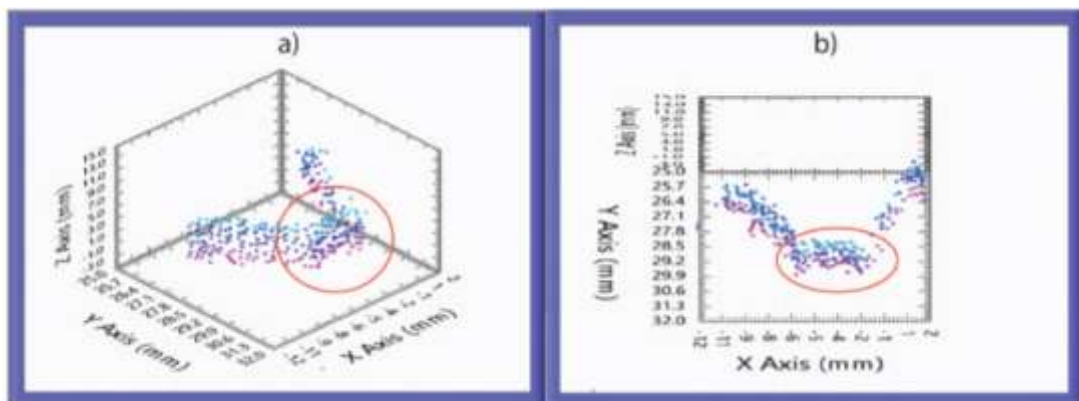


Рисунок 4.9 - Хмара точок, отримана при скануванні трапецієвидного шматка за розробленим методом

Нарешті, застосувавши розроблений метод, були зроблені тривимірні вимірювання прототипу людської руки, виготовленої на 3D-принтері з використанням швидкості руху лазерного променя 0,78 кроків щосекунди, частоти сканування 20 Гц та відведення під кутом β 0,5 °. На рис. 4.10 а) та на

мал. 4.10 б) показані фронтальний та ізометричний види хмари точок прототипу людської руки відповідно.

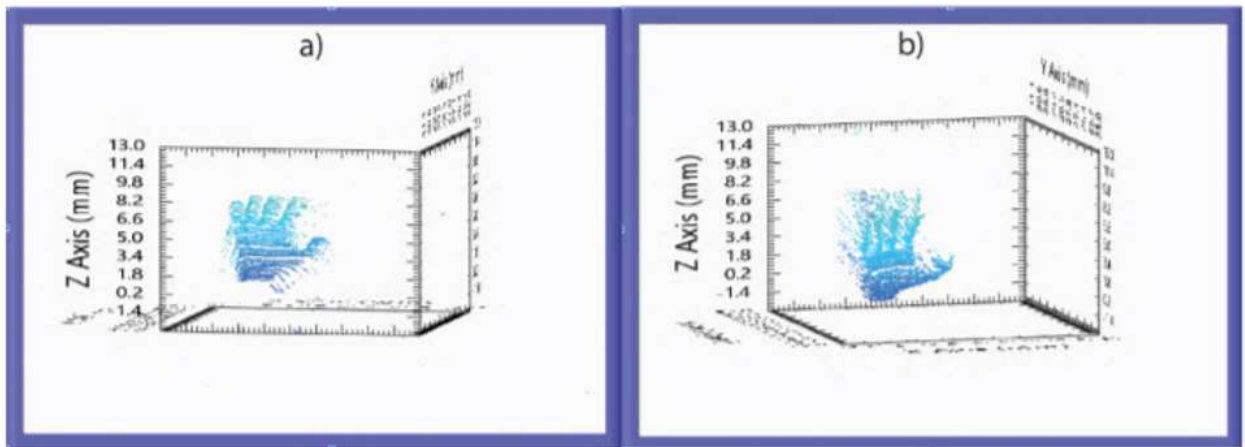


Рисунок 4.10 - Хмара точок прототипу людської руки

Результати хмари точок прототипу людської руки показують, що за допомогою розробленого методу можна охарактеризувати поверхні частин людського тіла, однак все ж необхідно знайти алгоритм, який усуває шуми, що генеруються навколо нього. Наприклад, у моделі людської руки в частині пальців був представлений шум через деформацію енергетичного центру лазерного променя за рахунок ефекту триангуляції.

ВИСНОВОК

У цій роботі було представлено проектування та управління осі обертання β для TVS, що дозволило вимірювати тривимірні поверхні за принципом динамічної триангуляції. Крім того, для підвищення точності було проаналізовано та впроваджено швидкий та ефективний алгоритм, заснований на штучних нейронних мережах (відомий під його аббревіатурою в англійській мові як ANN), що дозволяє пом'якшити невизначеності у скануванні деталей у дво- та тривимірному вимірі. Для досягнення вищезазначеного необхідно було зробити наступне:

1. Вісь обертання β була розроблена та виготовлена за допомогою 3D-принтера з матеріалом PLA для складання двовимірного телевізора. В експерименті була виявлена адекватна робота механізму повороту. Підшипники, вбудовані в кожен планку, зменшували тертя валів, однак передача продовжує демонструвати знос через те, що вони виготовляються з PLA.
2. Для заміни існуючої плати-прототипу було виготовлено дві електронні схеми (двовимірний TVS та вісь обертання β), що дозволило усунути помилкові контакти в електронній системі та гарантувало сканування без зупинок через відключення.
3. На рівні ПЛІС була реалізована програма, що базується на методі чотирикратної точності для підрахунку зростаючого та спадаючого країв каналу А та каналу В, що дозволило збільшити роздільну здатність на $0,025^\circ$ за кожен імпульс. Для управління положенням була розроблена програма контролера PD в режимі реального часу, яка, у свою чергу, керує ШІМ для збільшення та зменшення швидкості обертання двигуна. Виходячи з методології, яка використовується для контролю позиціонування осі обертання β , можна зробити висновок, що можна було послабити похибку між $-0,075^\circ$ та $0,075^\circ$ в межах поля зору (відомого під його аббревіатурою в англійській мові як FOV) з -15°

до 15° . Однак можна розширити діапазон ОПЗ, замінивши двигун коробки передач на більш потужний.

4. TVS не зміг виміряти координату Z , оскільки не мав значення кута β , з методологією, яка використовувалася для одержання кута β , а програмування рівняння Z було можливим, що новий прототип виконає три -вимірні вимірювання.
5. Алгоритм, заснований на штучних нейронних мережах (ANN), навчався до досягнення коефіцієнта кореляції $0,932687$, використовуючи програмний пакет Matlab. Після того, як матриці ваги ANN були навчені та отримані, у програмному забезпеченні LabVIEW була розроблена програма реального часу. Під час програмування виникли проблеми з вхідними змінними (кут B_{ij} , кут C_{ij} та TICKS), оскільки процес попередньої обробки не використовувався (нормалізація та денормалізація), що схилило ANN для передбачення значень за межами діапазону, оскільки функція активації прихований шар \tanh , який діє між значеннями від -1 до 1 . При застосуванні попередньої обробки було передбачено системну помилку в межах діапазонів.
6. Було зроблено 100 вимірювань у двох вимірах у межах робочого поля TVS із застосуванням алгоритму KNN (попередній метод) та алгоритму ANN (розроблений метод), де середня квадратична помилка (RMSE) становить $0,5638^\circ$ та $0,3686^\circ$ відповідно. Застосування розробленого методу дозволяє системі працювати швидше, оскільки воно базується на попередньо навченій функції передбачення помилки, на відміну від попереднього методу, який вимагає завантаження бази даних для прогнозування найближчої помилки, внаслідок чого система буде повільнішою. З іншого боку, лазерні розгортки проводили на 15 см, 20 см, 25 см та 30 см із застосуванням попереднього методу та методу, розробленого на рис. 4.6. а) та рис. 4.6 б) двовимірні хмари точок показані відповідно. Крім того, можна зробити висновок, що

застосування розробленого методу зменшило дисперсію точок щодо кожної відстані, також можна відзначити, що з мірою збільшення відстані сканування більша дисперсія та менша точність.

7. Тривимірні вимірювання були зроблені на фрагменті, відомому як трапеція, із застосуванням попереднього методу та методу, розробленого відповідно до пунктів 4.8 та методу 4.9 відповідно. На основі хмар точок можна побачити, що застосування розробленого методу дозволило краще охарактеризувати поверхню. Крім того, оскільки це була попередньо навчена функція, сканування робилося на 8 кроків швидше кожну секунду, на відміну від попереднього методу, який потрібно було сканувати зі швидкістю 2 кроки щосекунди.
8. Був відсканований прототип людської руки, де можна оцінити характеристику його внутрішньої поверхні, крім того, можна помітити поверхні пальців і проміжки між ними.
9. Була створена симуляція за допомогою 3D графіки, на якій показано як алгоритм буде працювати у реальних умовах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Application of Fast Frequency Shift Measurement Method for INS in Navigation of Drones / D. Avalos-Gonzalez, D.H. Balbuena, V. Tyrsa, V.M. Kartashov, M. Kolendovska, S. Sheiko, O. Sergiyenko, V. Melnyk, F.N. Murrieta-Rico // IECON 2018 – 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. – P. 3159–3164.
2. Avalos-Gonzalez, D., Sergiyenko, O., Hernandez-Balbuena, D., Tyrsa, V., Kartashov V.M., V., Rivas-Lopes, M., Murrieta-Rico, F.N. Constraints definition and application optimization based on geometric analysis of the frequency measurement method by pulse coincidence // Measurement: Journal of the International Measurement Confederation (USA). 2018, V.126. P. 184-193.
3. Control and Signal Processing Applications for Mobile and Aerial Robotic Systems”, Hardback - Advances in Computational Intelligence and Robotics English. Edited by Oleg Sergiyenko, Moises Rivas-Lopez, Wendy Flores-Fuentes, Julio Cesar Rodríguez-Quñonez, Lars Lindner. Editorial IGI Global, Hershey, United States, January 2020, 340 páginas. ISBN10 152259924X, ISBN13 9781522599241
4. Cesar Sepulveda-Valdez ; Oleg Sergiyenko ; Vera Tyrsa ; Wendy Flores-Fuentes ; Julio César Rodríguez-Quñonez ; Fabian Natanael Murrieta-Rico ; Jesús Elías Miranda-Vega ; Paolo Mercorelli ; Marina Kolendovska. "Geometric analysis of a laser scanner functioning based on dynamic triangulation," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 1398-1403, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152268.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152268>
5. O.Yu.Sergiyenko. Un medidor automático de la presión arterial (un sfigmomanómetro). En el libro “Medicina hoy y mañana”, bajo la edición del Acad. N.G.Sergiyenko, Kharkov, 1996, P.14-15.

6. O.Yu.Sergienko, V.E.Tyrsa. La discriminación de los impulsos de las contracciones cordiales, transformadas en la señal proporcional eléctrica. En el libro “Medicina hoy y mañana”, bajo la edición del Acad. N.G.Serguienko, Kharkov, 1996, P.19-20.
7. O.Yu.Sergienko Registro del pulso arterial en los aparatos automáticos de medición. En el libro “Medicina hoy y mañana”, bajo la edición del Acad. N.G.Serguienko, Kharkov, P.32-33.
8. O.Yu.Sergienko. Control automático de los parámetros fisiológicos del hombre-operador. 1996, 3 P. Registrado en Biblioteca Central de Ciencia, Técnica u Economía de Ucrania 10.12.96. No. 206 – Uk96. Publicado en la revista del Instituto Ucrainiano de la Información Científica y Técnica “Nauka, technika – vyrobnitstvu”, No.2, Kiev, 1997.
9. O.Yu.Sergienko. Elección del modelo matemático de la cuantificación de un impulso de la señal del sistema impulso de barrido. Universidad Técnica de Automóviles y Carreteras, Kharkov, 6 P., 1996. Registrado en la Biblioteca Estatal de Ciencia y Técnica de Ucrania, 10.12.96, No.207 – Uk96. Publicado en la revista del Instituto Ucrainiano de la Información Científica y Técnica “Nauka, technika – vyrobnitstvu”, No.2, Kiev, 1997.
10. O.Yu.Sergienko, S.P.Pavlov. La estabilidad funcional y la disminución del desgaste de las pares de fricción en la arma de fusileros moderna. “*Pridneprovskiy naukovyi vestnik*”, No.72(139), agosto, 1998, P.26-29.
11. O.Yu.Sergienko, S.P.Pavlov. Mecanismos del desgaste por un abrasivo libre y estabilidad funcional de los tribosistemas. En el libro conmemorativo “Problemas de seguridad de incendio”, Parte 2, Kharkov, 1998, P.49-55.
12. O.Yu.Sergienko, V.V.Tyrsa, V.N.Kondratenko. Empleo del láser para la navegación del transporte móvil. “*Transporte automovilístico*”, Edición de la Universidad Técnica de Automóviles y Carreteras, Kharkov, 1998, V.1, p. 86-91.

- 13.O.Yu.Sergienko, V.V.Tyrsa. Distanciómetro laser de fase-impulso. “*Vestnik JGADTU*”, Edición de la Universidad Técnica de Automóviles y Carreteras, Kharkov, V.27, 2000, P.20-24.
- 14.O.Yu.Sergienko, M.A.Podrigalo, S.P.Pavlov, V.V.Duschenko. Subida del periodo del funcionamiento de los propulsores de tracción sobre orugas por la disminución del desgaste abrasivo en pares de fricción. “*Mejánica ta maschinobuduvannia*”, Edición de la Universidad Técnica Nacional, Ucrania, 2002, No.2, pp.175-179.
- 15.O.Yu.Sergienko, S.P.Pavlov. Análisis de la naturaleza de la interacción átomo-molecular de las superficies de fricción. “*Vestnik Natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta: Kharkovskiy Politechnitscheskiy Institut*”. Edición de la Universidad Técnica Nacional”, No.6, V.1, 2002, pp.39-43.
- 16.Daniel Hernández Balbuena, Oleg Sergiyenko, Vera Tyrsa, Larysa Burtseva, Moisés Rivas López. Signal frequency measurement by rational approximations. Elsevier, “*Measurement*”, Volume 42, Issue 1, January 2009, Pages 136-144. ISSN: 0263-2241 - doi:10.1016/j.measurement.2008.04.009
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224108000754>
- 17.O. Sergiyenko, W. Hernandez, V. Tyrsa, L. Devia Cruz, O.Starostenko, M.Pena-Cabrera. Remote Sensor for Spatial Measurements by Using Optical Scanning. MDPI, *Sensors*, 9(7), 2009, Basel, Switzerland, pp. 5477-5492. ISSN 1424-8220, doi:10.3390/s90705477
<http://www.mdpi.com/1424-8220/9/7/5477>
- 18.Oleg Starostenko, Vicente Alarcon-Aquino, Wilmar Hernandez, Oleg Sergiyenko, and Vera Tyrsa. Algorithmic Error Correction of Impedance Measuring Sensors. MDPI, *Sensors*, 2009, 9(12), Basel, Switzerland, pp. 10341-10355; ISSN 1424-8220 / doi:10.3390/s91210341
<http://www.mdpi.com/1424-8220/9/12/10341/>
- 19.Wilmar Hernandez, Jesús de Vicente, Oleg Sergiyenko, and Eduardo Fernández. Improving the Response of Accelerometers for Automotive

Applications by Using LMS Adaptive Filters. MDPI, *Sensors*, 2010, 10(1), Basel, Switzerland, pp. 313-329; ISSN 1424-8220 / doi:10.3390/s100100313

<http://www.mdpi.com/1424-8220/10/1/313/>

20. Wilmar Hernandez, Jesús de Vicente, Oleg Sergiyenko, and Eduardo Fernández. Improving the Response of Accelerometers for Automotive Applications by Using LMS Adaptive Filters: Part II. MDPI, *Sensors*, 2010, 10(1), Basel, Switzerland, pp. 952-962; ISSN 1424-8220 / doi: 10.3390/s100100952

<http://www.mdpi.com/1424-8220/10/1/952/>

21. Oleg Starostenko, Vicente Alarcon-Aquino, Humberto Lobato M., Oleg Sergiyenko. Computational approach to support image-based language learning within mobile environment. *International Journal of Mobile learning and Organization*, 2010, Vol. 4, No. 2, INDERSCIENCE, United Kingdom-Switzerland, pp.150-171, **ISSN (Online): 1746-7268**

<http://inderscience.metapress.com/app/home/contribution.asp?referrer=parent&backto=issue,3,6;journal,4,17;linkingpublicationresults,1:120376,1>

22. Moisés Rivas López, Oleg Sergiyenko, Vera Tyrsa, Wilmar Hernandez Perdomo, Daniel Hernández Balbuena, Luis Devia Cruz, Larisa Burtseva, Juan Iván Nieto Hipólito. Optoelectronic method for structural health monitoring. SAGE Publications, “*Structural Health Monitoring: an International Journal*”, Vol.9, No.2, March, 2010, pp.105-120. Issue Online, September, 24, 2009, ISSN 1475-9217 / doi: 10.1177/1475921709340975

<http://shm.sagepub.com/content/9/2/105.short>

23. O. Yu. Sergiyenko. Optoelectronic System for Mobile Robot Navigation. Springer/Allerton Press, Inc., *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, Vol. 46, No. 5, October, 2010, pp.414-428 – ISSN 8756-6990, (Original Russian Text : O. Yu. Sergiyenko, 2010, published in *Avtometriya*, 2010, Vol. 46, No. 5, pp. 18–36)

<http://www.springerlink.com/content/v04l6723263h2601/>

24.L.Burtseva, O.Sergiyenko, B.Flores. Una nueva matemática. Revista UABC, N72, octubre-diciembre de 2010 (divulgare), pp.16-30.

25.O. Sergiyenko, D. Hernandez Balbuena, V. Tyrsa, P.L.A. Rosas Méndez, M. Rivas Lopez, W. Hernandez, M. Podrygalo, A. Gurko. Analysis of jitter influence in fast frequency measurements. Elsevier, “*Measurement*”, Volume 44, Issue 7, August 2011, Pages 1229-1242. ISSN: 0263-2241 - doi:10.1016/j.measurement.2011.04.001.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224111001254>

26. Sergiyenko, O.Y., Hernandez Balbuena, D.; Tyrsa, V.V.; Rosas Mendez, P.L.A.; Hernandez, W.; Nieto Hipolito, J.I.; Starostenko, O.; Rivas Lopez, M. Automotive FDS Resolution Improvement by Using the Principle of Rational Approximation. IEEE Sensors Journal, **Volume:** 12, Issue: 5, May, 2012, **pp.** 1112 - 1121. ISSN 1530-437X

http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5999687&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5999687

27.Julio C. Rodriguez-Quiñones, Oleg Sergiyenko, Felix F. González-Navarro, Luis Basaca-Preciado, Vera Tyrsa. Surface recognition improvement in 3D medical laser scanner using Levenberg–Marquardt method, *Signal Processing* by Elsevier, Vol. 93, issue 2, February 2013, pp. 378–386, ISSN 0165-1684

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165168412002150>

28.Molina M., Murrieta F., Sergiyenko O. Yu., Petranovskii V., Hernandez-Balbuena D., Tyrsa V., Rivas-Lopez M., Garcia-Cruz X.M. Frequency Measurement by Principle of Rational Approximation for Aerospace Frequency Domain Mechanical Parameter Sensors. Journal of Aeronautics and Aerospace Engineering, OMICS Group, Volume 2, Issue 3, 2013, 2:111. 4p. - doi: 10.4172/2168-9792.1000111

<http://www.omicsgroup.org/journals/2168-9792/2168-9792-2-111.php?aid=14965>

29.Garcia-Cruz X.M., Sergiyenko O.Yu., Tyrsa V., Rivas-Lopez M., Hernandez-Balbuena D., Podrygalo M., and Gurko A. Fast Obstacle

Detection by Variable Step of 3D Laser Scanning for Robot Navigation on Unknown Planet. OMICS Group, Journal of Applied Mechanical Engineering, 2013, Volume 2, Issue 2. ISSN 2168-9873. doi: 10.4172/2168-9873.1000124

<http://omicsgroup.org/journals/fast-obstacle-detection-by-variable-step-of-d-laser-scanning-for-robot-navigation-on-unknown-planet-2168-9873.1000124.php?aid=18690>

30.X.M. Garcia-Cruz, O. Yu. Sergiyenko, Vera Tyrsa, M. Rivas-Lopez, D. Hernandez-Balbuena, J.C. Rodriguez-Quiñonez, L.C. Basaca-Preciado, P. Mercorelli. Optimization of 3D laser scanning speed by use of combined variable step. *Optics and Lasers in Engineering* by Elsevier, Vol. 54, 2014, pp. 141–151, ISSN 0143-8166

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143816613002546>

31.Luis C. Básaca-Preciado, Oleg Yu. Sergiyenko, Julio C. Rodríguez-Quinonez, Xochitl García, Vera V. Tyrsa, Moises Rivas-Lopez, Daniel Hernandez-Balbuena, Paolo Mercorelli, Mikhail Podrygalo, Alexander Gurko, Irina Tabakova, Oleg Starostenko. Optical 3D Laser Measurement System for Navigation of Autonomous Mobile Robot *Optics and Lasers in Engineering* by Elsevier, Vol. 54, 2014, pp. 159–169, ISSN 0143-8166 doi.org/10.1016/j.optlaseng.2013.08.005

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143816613002480>

32.Julio C. Rodriguez-Quiñones, Oleg Sergiyenko, Luis C. Basaca Preciado, Vera V. Tyrsa, Alexander G. Gurko, Mikhail A. Podrygalo, Moises Rivas Lopez, Daniel Hernandez Balbuena. Optical Monitoring of Scoliosis by 3D Medical Laser Scanner. *Optics and Lasers in Engineering* by Elsevier, Vol. 54, 2014, pp. 175–186, ISSN 0143-8166

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014381661300242X>

33.W. Flores-Fuentes, M. Rivas-Lopez, O. Sergiyenko, Rivera-Castillo, and D. Hernandez-Balbuena. Combined Application of Power Spectrum Centroid and Support Vector Machines for Measurement Improvement in Optical

Scanning Systems. *Signal Processing* by Elsevier, Vol. 98(2014), pp. 37–51,
ISSN 0165-1684

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165168413004337>

34. Norberto Cañas, Wilmar Hernandez, Gabriel González, Oleg Sergiyenko. Controladores multivariables para un vehiculo autonomo terrestre: Comparación basada en la fiabilidad de software, *RIAI-Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, Elsevier Doyma, Volume 11, Issue 2, April-July 2014, pp.179-190, ISSN: 1697-7912 .

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1697791214000089>

35. W. Flores-Fuentes, Rivas-Lopez, M.; Sergiyenko, O. ; Rodriguez-Quiñonez, J. ; Hernandez-Balbuena, D. ; Rivera-Castillo, J. Energy Centre Detection in Light Scanning Sensors for Structural Health Monitoring Accuracy Enhancement. *IEEE Sensors Journal*, Volume:14, Issue: 7, July 2014, pp. 2355-2361. ISSN: 1530-437X, Digital Object Identifier: 10.1109/JSEN.2014.2310224

http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6758341&tag=1

36. J.C. Rodriguez-Quiñonez, Oleg Sergiyenko, D. Hernandez-Balbuena, Rivas-Lopez, M., W. Flores-Fuentes, Luis C. Basaca Preciado. Improve 3D Laser scanner measurements accuracy using a FFBP neural network with Widrow-Hoff weight/bias learning function. *Opto-Electronic Review by Springer*, Vol.22, Issue 4, December 2014, pp.224-235, DOI: 10.2478/s11772-014-0203-

<http://link.springer.com/article/10.2478%2Fs11772-014-0203-1>

37. Murrieta-Rico, F.N.; Mercorelli P., Sergiyenko, Oleg; Petranovskii, V.; Hernandez-Balbuena, D.; Tyrsa, V. Mathematical Modelling of molecular adsorption in zeolite coated frequency domain sensors. *IFAC-PapersOnLine*, Volume 48, Issue 1, 2015, Elsevier. Pages: 41 – 46. ISSN: 2405-8963, ISBN: 2405-8963; doi 10.1016/j.ifacol.2015.05.060.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896315000610>

38. Paolo Mercorelli, Sergiyenko, Oleg; Hernandez-Balbuena, D.; Rodriguez-Quiñonez, J.C.; Flores-Fuentes, W.; Basaca-Preciado, L.C. Some Model Properties to Control a Permanent Magnet Machine Using a Controlled Invariant Subspace. *IFAC-PapersOnLine*, Volume 48, Issue 1, 2015, Elsevier. Pages: 366 – 371. ISSN: 2405-8963, ISBN: 2405-8963; doi 10.1016/j.ifacol.2015.05.063.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896315000646>
39. Daniel Straßberger, Paolo Mercorelli, Oleg Sergiyenko. A Geometric Approach to Decouple Robotino Motions and its Functional Controllability. IOP Publishing, *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 659 (2015), pp.1-13. Doi 10.1088/1742-6596/659/1/012027 Online ISSN: 1742-6596, Print ISSN: 1742-6588
<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/659/1/012027/pdf>
40. O. Sergiyenko. The mediant-method for fast mass/concentration detection for nanotechnologies. *Inderscience, International Journal of Nanotechnology*, Vol. 13, No. 1-3, 2016, pp. 236-246. ISSN: 1741-8151 (online), 1475-7435
<http://www.inderscience.com/offer.php?id=74537>
41. Murrieta-Rico, F.N.; Sergiyenko, Oleg; Petranovskii, V.; Hernandez-Balbuena, D.; Lars Lindner; Tyrsa, V; Moises Rivas-Lopez; Juan I. Nieto-Hipolito; and V.M. Karthashov. Pulse width influence in fast frequency measurements using rational approximations. Elsevier, “*Measurement*”, Volume 86, May 2016, Pages 67-78. ISSN: 0263-2241 - doi:10.1016/j.measurement.2016.02.032.
42. Accuracy improvement by artificial neural networks in technical vision system. In *IECON 2019-45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, volume 1, pages 5572–5577. IEEE. Wolf, W. (2004).
43. FPGA-based system design. Pearson education. A Comparative Example Between The Use Of Pca And Mds For Image Classification / Hernandez, W., Mendez, A., Flor-Unda, O., Camejo, I.M., Kolendovska, M. // *IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, 29th IEEE International

- Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2020; Delft; Netherlands; 17 June 2020 до 19 June 2020; Volume 2020-June, June 2020, № 9152565, Pages 1353-1358
44. Algorithm For Generating Refined Frequency Estimates In Atmospheric Radio Sounding Systems / Kartashov V., Hernandez W., Hernandez-Balbuena D., M. Kolendovska, Konovalenko O., Melnyk V. // IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 29th IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2020; Delft; Netherlands; 17 June 2020 до 19 June 2020; Volume 2020-June, June 2020, № 9152562, Pages 79-82
45. Cuauhtémoc Mariscal-García; Wendy Flores-Fuentes; Daniel Hernández-Balbuena; Julio C. Rodríguez-Quiñonez ; Oleg Sergiyenko. "Classification of Vehicle Images through Deep Neural Networks for Camera View Position Selection," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 1376-1380, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152440.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152440>
46. Developing and Applying Optoelectronics in Machine Vision/ O. Sergiyenko, J.C. Rodriguez-Quiñonez, IGI Global, 2016; 341p.
47. Experimental estimation of direction finding to unmanned air vehicles algorithms efficiency by their acoustic emission, /Oleynikov, V., Zubkov, O., Kartashov, V., ...Sheiko, S., Babkin, S. // 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference: Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2019 - Proceedings, 2019, стр. 175-178, 9061337
48. Features of acoustic noise of small unmanned aerial vehicles / Semenets, V.V., Kartashov, V.M., Leonidov, V.I. // Telecommunications and Radio Engineering (English translation of *Elektrosvyaz and Radiotekhnika*), 2020, 79(11), стр. 985-995

49. Geometric Analysis Of A Laser Scanner Functioning Based On Dynamic Triangulation / Sepulveda-Valdez, C., Sergiyenko, O., Tyrsa, V, Mercorelli, P., Kolendovska, M. // IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 29th IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE 2020; Delft; Netherlands; 17 June 2020 до 19 June 2020; Volume 2020-June, June 2020, № 9152268, Pages 1398-1403
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152255>
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9161870>
50. I. Y. A. Corpus, L. Lindner, O. Sergiyenko. "Transimpedance Amplifier for Laser Scanning System Range Extension," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 1421-1426, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152487.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152487>
51. Ivanov, M., Sergiyenko, O., Mercorelli, P., Hernandez, W.c, Rodriguez Quinonez, J.C.d, Katashov V., Kolendovska, M., Iryna, T. Effective informational entropy reduction in multi-robot systems based on real-time TVS. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2019-June, 8781209, c. 1162-1167.
52. Jonathan J. Sanchez-Castro ; Julio C. Rodríguez-Quiñonez ; Luis R. Ramírez-Hernández ; Guillermo Galaviz ; Daniel Hernández-Balbuena ; Gabriel Trujillo-Hernández ; Wendy Flores-Fuentes ; Paolo Mercorelli ; Wilmar Hernández-Perdomo ; Oleg Sergiyenko ; Félix Fernando González-Navarro. "A Lean Convolutional Neural Network for Vehicle Classification," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 1365-1369, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152274.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152274>
53. Lindner, L., Sergiyenko, O., Rivas-López, M., (...), Gurko, A., Kartashov, V.M. Machine vision system for UAV navigation; IEEE, 2016 International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and

- Road Vehicles and International Transportation Electrification Conference, ESARS-ITEC, 2016; pp.1–6. DOI: 10.1109/ESARS-ITEC.2016.7841356.
- 54.M. Ivanov, O. Sergiyenko, V. Tyrsa, P. Mercorelli, V. Kartashov, W. Hernandez, S. Sheiko, M. Kolendovska. Individual scans fusion in virtual knowledge base for navigation of mobile robotic group with 3D TVS // Proceedings of 44th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society (IECON).. -2018. – Washington DC, USA. -S. 3187-3192. . ISBN 978-1-5090-6683-4/18/.
- 55.Murrieta-Rico, F.N., Petranovskii, V., Galvan, D.H., Sergiyenko, O., Yocupicio-Gaxiola, R.I., De Dios Sanchez-Lopez, J. Phase effect in frequency measurements of a quartz crystal using the pulse coincidence principle. 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 185-190, 9152255, DOI: 10.1109/ISIE45063.2020.9152255
- 56.Oleksandr Sotnikov, Vladimir Kartashov, Oleksandr Tymochko, Oleg Sergiyenko, Vera Tyrsa, Paolo Mercorelli, Wendy Flores-Fuentes. Methods for Ensuring the Accuracy of Radiometric and Optoelectronic Navigation Systems of Flying Robots in a Developed Infrastructure. Chapter 16// Machine Vision and Navigation; Springer, Cham. pp.537–578. Editors: Sergiyenko, Oleg, Flores-Fuentes, Wendy, Mercorelli, Paolo. DOI: 10.1007/978-3-030-22587-2_16.
- 57.Optical detection of unmanned air vehicles on a video stream in a real-time/Kartashov, V., Oleynikov, V., Zubkov, O., Sheiko, S.// 2019 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019 - Proceedings, 2019, 9165362/
- 58.Principles Of Construction And Assessment Of Technical Characteristics Of Multi-Frequency Atmospheric Sodar In The Humidity Measurement Mode / Kartashov, V.M., Sidorov, G.I., Sheiko, S.A., Kolendovskaya, M.M., Sergienko, O.Yu. // Telecommunications And Radio Engineering

- (English Translation Of Elektrosvyaz And Radiotekhnika), 2020, ISSN Print: 0040-2508, ISSN Online: 1943-6009, DOI: 10.1615/TelecomRadEng.v79.i4.50, p. 323-333/
59. Research Of The Uncertainty Of Measurement Frequencies And Definitions Of The Frequency Signal In The Waveguide With Respect To Power / Semenets, V. Zakharov, I. Serhienko, M., Kartashov, V.M., Kolendovska, M., Hernandez, W., Hipolito, J.I.N., Tyrsa, V. // 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, IECON 2019; Lisbon Congress Center Lisbon; Portugal; 14 October 2019 до 17 October 2019; CFP19IEC-ART; Код 155980, Volume 2019-October, October 2019, № 8927203, Pages 4674-4679
60. Spatial-Temporal Processing Of Acoustic Signals Of Unmanned Aerial Vehicles / Kartashov V.M., Oleinikov V.N., Zubkov O.V., Sheiko S.A., Kolendovska M.M. // Telecommunications And Radio Engineering (English Translation Of Elektrosvyaz And Radiotekhnika), 2020, ISSN Print: 0040-2508, ISSN Online: 1943-6009, DOI: 10.1615/Telecomradeng.v79.i9.40, p. 769-780
61. Stereoscopic Vision Systems In Machine Vision, Models, And Applications (Book Chapter) / Ramírez-Hernández, L.R., Rodríguez-Quiñonez, J.C., Castro-Toscano, M.J., Kolendovska, M., Murrieta-Rico, F.N. // Machine Vision And Navigation, 2019 Machine Vision and Navigation 30 September 2019, Pages 241-265
62. Strelkova T., Kartashov V., Lytyuga A., Strelkov A. Theoretical Methods of Images Processing in Optoelectronic Systems. Chapter 16. // Biometrics: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications; Oleg Sergiyenko and Julio C. Rodriguez-Quiñonez. (341p.), IGI Global, 2017; pp. 361-381. DOI: 10.4018/978-1-5225-0983-7.ch016.
63. Sytnik O., Kartashov V. Methods and Algorithms for Technical Vision in Radar Introspection. Chapter 13 // Optoelectronics in Machine Vision-Based Theories and Applications. IGI Global, 2019; pp. 373-391.

64. The Use of Factorization and Multimode Parametric Spectra in Estimating Frequency and Spectral Parameters of Signal/Semenets, V., Kartashov, V., Sergiyenko, O., ...Rodriguez-Quinonez, J.C., Flores-Fuentes, W.//IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2020, 2020-June, p. 215-219
65. Unda, O.F., Hernandez, W., Vargas, O., Mendez, A., Sergiyenko, O., Tyrsa, V. Construction of a robotic platform of differential type for first-year students of electronic engineering, 2020 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, SPEEDAM 2020, 24-26 de junio de 2020, Sorrento, Italia, pp. 538-543, 9161870, DOI: 10.1109/SPEEDAM48782.2020.9161870
66. Use of Acoustic Signature for Detection, Recognition and Direction Finding of Small Unmanned Aerial Vehicles/Kartashov, V., Oleynikov, V., Koryttsev, I., ...Babkin, S., Selieznov, I.//Proceedings - 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2020, 2020, p. 377-380/
67. V. Semenets; Vladimir Kartashov ; Oleg Sergiyenko; Vyacheslav Tikhonov; Paolo Mercorelli ; Sergiy Sheiko ; Nataliya Chmelarova. "The Use of Factorization and Multimode Parametric Spectra in Estimating Frequency and Spectral Parameters of Signal," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 215-219, doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152238.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152238>
68. Wilmar Hernandez ; Alfredo Mendez ; Omar Flor-Unda ; Vicente Gonzalez-Posada ; Jose Luis Jimenez ; Oleg Sergiyenko ; Julio C. Rodriguez-Quinonez ; Mykhailo Ivanov ; Ivan Menes Camejo ; Marina Kolendovska. "A comparative example between the use of PCA and MDS for image classification," 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Delft, Netherlands, 17-19 of June 2020, pp. 1353-1358,

doi: 10.1109/ISIE45063.2020.9152565.

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9152565>

- 69.Карташов В.М. и др. Обработка сигналов в радиоэлектронных системах дистанционного мониторинга атмосферы; Харьков: ХНУРЭ, 2014. 312 с.
- 70.Карташов В.М., Олейников В.Н., Колендовская М.М., Тимошенко Л.П., Капуста А.И., Рыбников Н.В. Комплексирование изображений при обнаружении беспилотных летательных аппаратов// Радиотехника. (Харьков). 2020. Вып. 201; С.120-129.
- 71.Карташов В.М., Посошенко В.А., Цехмистро Р.И., Тимошенко Л.П., Колендовская М.М. Методы ориентации, навигации и контроля мобильных робототехнических платформ// Радиотехника. (Харьков). 2019. Вып. 199. С. 38-44.