Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та систем
(повна назва)
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації, робототехніки та безпекової інженерії
(повна назва)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
# Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Розроблення системи технічного зору кругового огляду робота-дослідника
(тема)

Виконав:
здобувач 4 року навчання,
групи АКТАКІТ-22-2
Денис ХАСАНОВ
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)
Тип програми освітньо-професійна
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
( повна назва освітньої програми)

Керівник доцент Наталія ДЕМСЬКА
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту
Завідувач кафедри КІТАРБІ _____ Ігор НЕВЛЮДОВ

2026 р.

Я, Хасанов Денис Сергійович, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Я не використовував штучний інтелект для підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

"01" липня 2026 р.  Денис ХАСАНОВ

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет АКІТС
Кафедра КІТАРБІ
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва)
Тип програми освітньо-професійна
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри _____
(підпис)
« 28 » квітня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ**
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Здобувачеві Хасанову Денису Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення системи технічного зору кругового огляду робота-дослідника
затверджена наказом університету від 04.06.2026 р. № 472 Ст
2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 11.06.2026 р.
3. Вихідні дані до роботи
3.1 Платформа: мікроконтролер ATmega32, ПК, серводвигуни Hitec HS-311, інтерфейс RS-232, веб-камера Logitech
3.2 Середовище розробки: CodeVisionAVR, Delphi 7, Proteus Professional, SolidWorks
3.3 Мова програмування: C (для мікроконтролера), Object Pascal (Delphi)
3.4 Можливість апаратної реалізації
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі
4.1 Вступ
4.2 Дослідження систем технічного зору кругового огляду
4.3 Моделі та методи побудови моделі навколишнього простору
4.4 Програмно-апаратна реалізація СТЗпозиціонування та пристрою керування на базі ATmega32
4.5 Розробка програмного забезпечення для мікроконтролера та керуючої програми для ПК
4.6 Експериментальні дослідження розробленого макета СТЗ та висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) Демонстраційний матеріал у форматі (*.ppt) – 11 сторінок формату А4.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

| Найменування розділу | Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові) | Позначка консультанта про виконання розділу | |
|---|---|---|---|
| | | підпис | дата |
| | | | |

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № | Назва етапів роботи | Строк / терміни виконання етапів роботи | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1 | Актуальність роботи, постановка задачі | 28.04.26 – 30.04.26 | викон. |
| 2 | Визначення мети об'єкту і предмету розробки | 01.05.26 – 08.05.26 | викон. |
| 3 | Аналіз систем технічного зору кругового огляду та методів 3D-реконструкції | 09.05.26 – 13.05.26 | викон. |
| 4 | Розробка структурної схеми системи та вибір апаратних компонентів | 14.05.26 – 19.05.26 | викон. |
| 5 | Розробка програмного забезпечення для мікроконтролера та ПК для управління системою орієнтації камери | 20.05.26 – 03.06.26 | викон. |
| 6 | Оформлення пояснювальної записки | 04.06.26 | викон. |
| 7 | Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом StrikePlagiarism | 06.06.26 | викон. |
| 8 | Подання роботи на рецензію | 07.06.26 | викон. |
| 9 | Подання роботи на підпис зав. кафедри | 08.06.26 | викон. |
| 10 | Подання кваліфікаційної роботи в ЕК | 10.06.26 | викон. |

Дата видачі завдання 28.04.2026 р.

Здобувач _____ Денис ХАСАНОВ
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ доцент Наталія ДЕМСЬКА
(підпис) (посада, власне ім'я, прізвище)

# РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 96 с., 9 табл., 37 рис., 5 дод., 25 джерел.

СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ, КРУГОВИЙ ОГЛЯД, СИСТЕМА ОРІЄНТАЦІЇ, ПАНОРАМУВАННЯ, МІКРОКОНТРОЛЕР, СЕРВОДВИГУН, ATMEGA32, 3D-РЕКОНСТРУКЦІЯ.

Об’єкт розробки – процес побудови та функціонування систем технічного зору (СТЗ) кругового огляду для мобільних роботів-дослідників.

Предмет розробки – апаратна та програмна структура СТЗ кругового огляду на основі конічних дзеркал, багатокамерних систем та систем орієнтації камери (панорамування та нахил).

Метою роботи є підвищення ефективності спостереження за навколишнім простором шляхом розробки системи технічного зору кругового огляду.

Проведено порівняльний аналіз СТЗ кругового огляду та алгоритмів пасивної 3D-реконструкції. Обґрунтовано переваги використання керованих систем орієнтації для робота-дослідника. Розроблено та виготовлено діючий лабораторний макет пристрою позиціонування камери з двома ступенями свободи на базі 8-бітного мікроконтролера ATmega32 та двох серводвигунів Hitec HS-311. Створено програмне забезпечення: прошивку мікроконтролера в CodeVisionAVR та керуючу програму для ПК у Delphi 7, яка забезпечує прийом відеопотоку в реальному часі та управління позиціонуванням через інтерфейс RS-232. Роботу пристрою змодельовано у Proteus Professional та досліджено експериментально. Встановлено, що похибка позиціонування реальної системи становить не більше 0,5° (при потужності до 8 Вт та напрузі живлення 12 В), а панорамний огляд на 360° забезпечується за 2 с.

# ABSTRACT

Explanatory note: 96 p., 9 tabl., 37 fig., 5 app., 25 references

COMPUTER VISION SYSTEM, OMNIDIRECTIONAL VISION, ORIENTATION SYSTEM, PANORAMIC VIEW, MICROCONTROLLER, SERVO MOTOR, ATMEGA32, 3D RECONSTRUCTION.

Object of development – the design and operation of omnidirectional computer vision systems (CVS) for mobile research robots.

Subject of development – hardware and software structure of omnidirectional CVS based on conical mirrors, multi-camera setups, and camera orientation (pan-tilt) systems.

The aim of this work is to improve the efficiency of monitoring the surrounding environment through the development of an omnidirectional vision system.

A comparative analysis of the all-round view STZ and passive 3D reconstruction algorithms was conducted. The advantages of using controlled orientation systems for a research robot were substantiated. A working laboratory model of a camera positioning device with two degrees of freedom based on an 8-bit ATmega32 microcontroller and two Hitec HS-311 servo motors was developed and manufactured. Software was created: microcontroller firmware in CodeVisionAVR and a control program for a PC in Delphi 7, which provides real-time video stream reception and positioning control via the RS-232 interface. The operation of the device was simulated in Proteus Professional and experimentally investigated. It was established that the positioning error of the real system is no more than 0.5° (with a power of up to 8 W and a supply voltage of 12 V), and a 360° panoramic view is provided in 2 s.

# ЗМІСТ

Перелік скорочень і термінів ..... 9
Вступ ..... 10
1 Дослідження систем технічного зору кругового огляду ..... 12
1.1 Аналіз системи технічного зору кругового огляду на основі дзеркального конуса ..... 12
1.2 Аналіз системи технічного зору з системою орієнтації ..... 21
1.3 Аналіз перспективних напрямків досліджень у сфері створення систем технічного зору з круговим оглядом ..... 22
1.4 Висновки до розділу ..... 22
2 Методи та моделі побудови моделі навколишнього простору ..... 26
2.1 Розробка моделі системи технічного зору кругового огляду з безліччю камер, розміщених по всьому роботу ..... 26
2.2 Методи реконструкції моделей об’єктів з навколишнього простору роботи ..... 40
2.2.1 Активні та пасивні методи реконструкції ..... 40
2.2.2 Вимоги до вихідних зображень ..... 43
2.2.3 Силуетні методи ..... 45
2.2.4 Колірне узгодження ..... 47
2.3 Висновки до розділу ..... 57
3 Програмно-апаратна реалізація досліджуваних моделей систем технічного зору кругового огляду ..... 58
3.1 Опис складових частин ..... 61
3.1.1 Сервоприводи ..... 61
3.1.2 Характеристики мікроконтролерів AVR ATmega32 ..... 63
3.1.3 Інтерфейс RS-232 ..... 65
3.2 Проектування пристрою позиціонування ..... 68
3.2.1 Програмне забезпечення для створення тривимірної моделі ..... 68

3.2.2 Тривимірна модель ..... 73
3.3 Пристрій керування ..... 75
3.4 Протокол пристрою орієнтації ..... 75
3.5 Програма для мікроконтролера ..... 76
3.6 Моделювання пристрою керування ..... 78
3.7 Програма керування пристроєм орієнтації для ПК ..... 81
3.7.1 Основні можливості ..... 81
3.7.2 Посібник користувача ..... 82
3.8 Експериментальні дані ..... 85
3.9 Правила техніки безпеки у залі ПК ..... 86
3.10 Висновки до розділу ..... 88
Висновки ..... 90
Перелік джерел посилання ..... 93
Додаток А Технічні характеристики пристрою позиціонування для системи спостереження PS20 фірми Pelco ..... 97
Додаток Б Електрична схема пристрою керування ..... 102
Додаток В Текст програми для мікроконтролера ..... 103
Додаток Г Текст програми для ПК ..... 111
Додаток Д Демонстраційні матеріали ..... 119

# ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АЛУ – арифметично-логічний пристрій;

АЦП – аналого-цифровий перетворювач;

ГПС – гнучкі виробничі системи;

ЄСКД – єдина система конструкторської документації;

КБ – комплементарна логіка на транзисторах метал-оксид-півпровідник;

КМОП – комплементарна логіка на транзисторах метал-оксид-півпровідник;

МК – мікроконтролер;

ПК – персональний комп’ютер;

ПР – рухомий робот;

СО – система орієнтації;

СТЗ – система технічного зору робота;

ЦП – центральний процесор.

# ВСТУП

Поряд із промисловими роботами, які функціонують за жорсткими програмами, все ширше впроваджуються робототехнічні системи, що володіють адаптивними можливостями та елементами штучного інтелекту [1]. Адаптивні роботи, оснащені різними засобами оцифровки – сенсорними системами, і здатні гнучко змінювати свої дії відповідно до отриманої інформації про робоче середовище, є одними з найважливіших компонентів гнучких виробничих систем (ГВС) [2]. Без них неможлива роботизація непромислової сфери, виконання багатьох робіт у космосі, під водою та в інших екстремальних умовах. При створенні адаптивних роботів дуже істотна роль серед можливих засобів відчуття відводиться системам технічного зору (СТЗ), що забезпечують сприйняття відеоінформації про навколишнє середовище, автоматичну обробку та аналіз зображень робочих сцен з метою формування команд управління роботом у процесі його роботи.

Роботи, оснащені СТЗ, досить широко та успішно застосовуються в багатьох галузях промисловості на таких операціях, як контроль та відбракування різних деталей і виробів за зовнішнім виглядом, завантаження обробних верстатів деталями з конвеєрів або з бункерів, сортування та орієнтоване укладання в касети деталей і заготовок, у тому числі хаотично рухомих по конвеєру або що надходять у тарі навалом, складання та комплектація вузлів, зварювання, фарбування, упаковка виробів, монтаж електронних схем тощо [3]. СТЗ також використовують для забезпечення умов техніки безпеки на роботизованих робочих місцях, організації обліку та складування предметів виробництва, маршрутизації матеріальних потоків у гнучких виробничих системах, керування транспортними мобільними роботами.

Роль адаптивних роботів із технічним зором та елементами штучного інтелекту ще більше зростає при розширенні процесу роботизації в таких

сферах, як гірничодобувна промисловість, будівництво, сільське та лісове господарство, комунальні служби, побут [1], де робоче середовище є складним і слабо структурованим. СТЗ необхідна роботам, призначеним для дослідження космічного та підводного простору, для гасіння пожеж та при інших стихійних лихах.У таких застосуваннях СТЗ повинна забезпечувати не лише дані для безпосередньої генерації сигналів зворотного зв’язку при керуванні рухами робота та передавати інформацію про навколишнє середовище оператору, але й надавати дані для формування роботом моделі робочого середовища з метою автоматичного планування дій [4].

У мінливому зовнішньому середовищі інтелектуальний робот або оператор мають постійно контролювати весь простір навколо робота. Для вирішення цього завдання застосовуються СТЗ кругового огляду. До недавнього часу обмежені обчислювальні можливості бортового ЕОМ робота та висока вартість компонентів технічного зору значною мірою стримували розвиток подібних систем. Сучасний рівень розвитку обчислювальної техніки пропонує широкі можливості для розробки СТЗ кругового огляду, що в сукупності з високим попитом на такі системи підтверджує актуальність теми кваліфікаційної роботи.

Метою роботи є підвищення ефективності спостереження за навколишнім простором шляхом розробки системи технічного зору кругового огляду.

Об’єкт розробки – СТЗ кругового огляду робота-дослідника.

Предмет розробки – пристрої, що забезпечують круговий огляд СТЗ.

Робота виконана згідно [5, 6]. Результати роботи опубліковані в [3]. Результати роботи відповідають Цілям сталого розвитку (ЦСР), а саме цілі № 9: Інновації та інфраструктура [7].

# 1 ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ КРУГОВОГО ОГЛЯДУ

## 1.1 Аналіз системи технічного зору кругового огляду на основі дзеркального конуса

Система технічного зору складається з дзеркального конуса, ТВ-камери, персонального комп'ютера сімейства IBM PC, пристрою введення відеосигналу в ЕОМ та програмного забезпечення [4]. Замість ТВ-камери та пристрою введення відеосигналу в ЕОМ можна використовувати цифрові відеокамери, підключені до ЕОМ через стандартні інтерфейси: USB, FireWire. Навколишнє середовище проєктується дзеркальним конусом на ТВ-камеру, забезпечуючи на отриманому зображенні круговий огляд певної частини простору. За отриманим зображенням визначаються напрямки та відстані до об'єктів. Особливістю описуваної СТЗ є використання конічної проєкції світлового потоку навколишнього простору на ТВ-камеру. За допомогою конічного дзеркала навколишнє середовище проєктується в об'єктив відеокамери.

Така СТЗ:

– забезпечує огляд до 360°;

– використовує, за винятком конічного дзеркала, серійне обладнання;

– є відносно недорогою.

Подібні системи добре зарекомендували себе для вирішення задач з інформаційного забезпечення цілеспрямованих переміщень роботів в штучному середовищі. Дослідження даних СТЗ проводяться з метою визначення можливості використання системи як СТЗ кругового огляду для широкого кола задач, що вирішуються в робототехніці.

Алгоритмічне забезпечення розглядуваної СТЗ опишемо на прикладі розв'язання задачі обходу рухомим роботом (ПР) кількох маяків, що горять

одночасно або включаються по черзі.

Апаратна частина СТЗ (рис. 1.1):

– ТВ-камера з об’єктивом 18°;

– блок живлення;

– дзеркальний конус 90°, закріплений над ТВ-камерою;

– пристрій введення відеосигналу в ЕОМ;

– ЕОМ з відповідним програмним забезпеченням.



Рисунок 1.1 – Комплектація СТЗ

Конус і камера встановлені зверху мобільного робота так, щоб площина основи конуса була горизонтальною і розташовувалася нижче маяків на фіксовану відстань. Камера розміщена точно на осі конуса на відомій відстані від нього. З метою усунення відблисків від освітлювальних приладів над конусом встановлена горизонтальна пластина-відбивач, а об’єктив камери закритий блендою.

Важливим етапом при розробці програмного забезпечення для СТЗ є вибір системи координат, оскільки цей вибір може значною мірою вплинути на складність обчислень.

У описуваній системі використовуються такі системи координат.

1. Абсолютна права система координат OXYZ. Точка O розташована в

центрі полігону на поверхні підлоги. Осі координат OX та OY знаходяться в площині полігону і спрямовані вздовж його країв. Вісь OZ орієнтована ортогонально до поверхні полігону. У цій системі задані відстані між маяками та висота їхнього підвісу.

2. Полярна система координат, пов’язана з основою конуса O1Rα (рис. 1.2). Точка O1 розташована на осі конуса в площині його основи. O1Rα. R1, R2 – відстані до маяків α1, α2 кути до маяків. Кут α відраховується від променя O1X проти годинникової стрілки (вид зверху). Корпус робота, на якому випробовувався КС, має форму рівностороннього трикутника. При встановленні КС на роботі вісь конуса проходила через центр цього трикутника. Одна з вершин виділялась як напрямна для визначення орієнтації корпуса робота. Вісь $O^1X$ була спрямована на цю вершину.

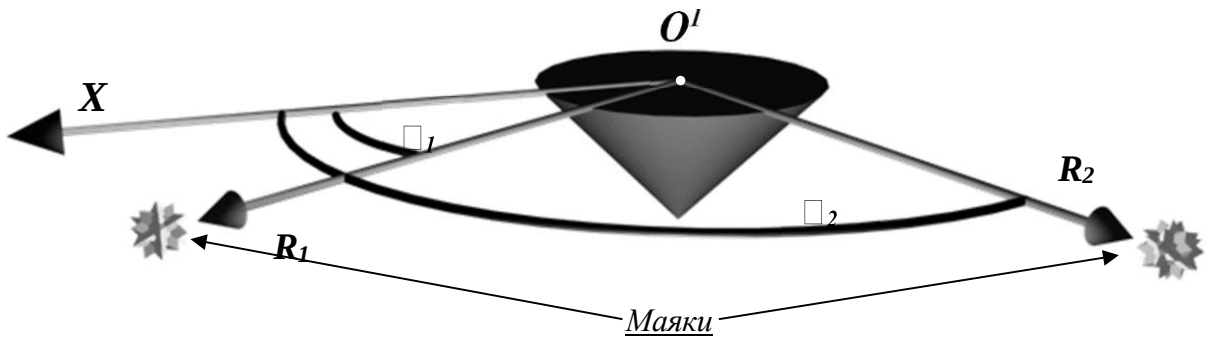



Рисунок 1.2 – Полярна система координат, пов’язана з конусом

3. Права прямокутна система координат зображення $O^2X^2Y^2$. Точка $O^2$ розташована в точці перетину осі конуса та площини зображення. Вісь $O^2X^2$ – спрямована зліва направо вздовж рядків зображення, вісь $O^2Y^2$ – знизу вверх вздовж стовпців зображення (рисунок 1.3).

4. Полярна система координат O2xψ, пов’язана із зображенням. Вісь O2x збігається з віссю O2X2. Кут ψ відраховується від осі O2x проти годинникової стрілки (рисунок 1.3). Система координат OXYZ використовується планувальником руху для вимірювання відстаней між

маяками та висоти їхнього підвісу. Безпосередньо для навігації робота застосовується система координат O1Rα.

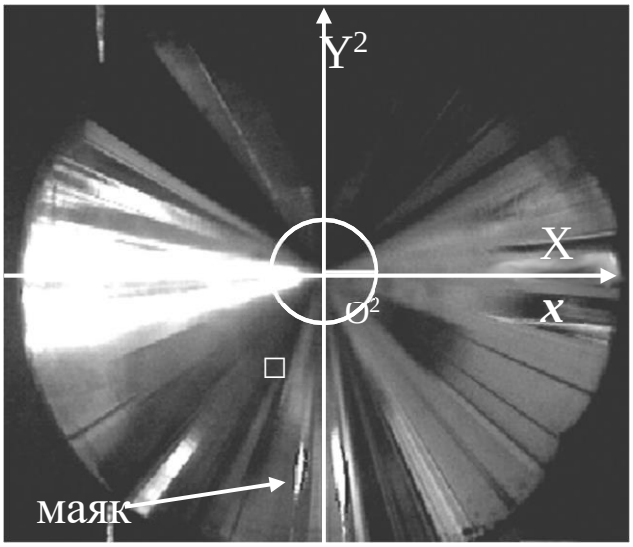



Рисунок 1.3 – Прямокутна O2X2Y2 та полярна O2xψ системи координат, пов’язані із зображенням

Визначення напрямків і відстаней до об’єкта здійснюється на основі аналізу розташування образів об’єкта на зображенні. Вихідні дані формуються в системі координат O1Rα.

Оскільки образ об’єкта складається з множини точок [8], в якості радіус-вектора (x, ψ) образу об’єкта приймається центр тяжіння цієї множини.

За кутом при вершині конуса, радіусом основи конуса a, відстанню b від вершини конуса до оптичного центру об’єктива ТВ-камери, висотою підвісу об’єктів δH над площиною основи конуса та x – відстанню від осі конуса до образу об’єкта, обчислюється відстань R до об’єкта (рисунок 1.4).

У розглядуваній СТЗ використовується конус з кутом при вершині 90°, що суттєво спрощує зв’язок між відстанями до об’єкта R та до його образу x.

R – відстань до об’єкта, x – відстань від осі конуса до зображення об’єкта, a – радіус основи конуса, b – відстань від вершини конуса до точки фокусування, r – радіус точки відображення (від осі конуса), f – відстань від

оптичного центру об’єктива ТВ-камери до площини зображення, δH – висота об’єкта над площиною основи конуса.

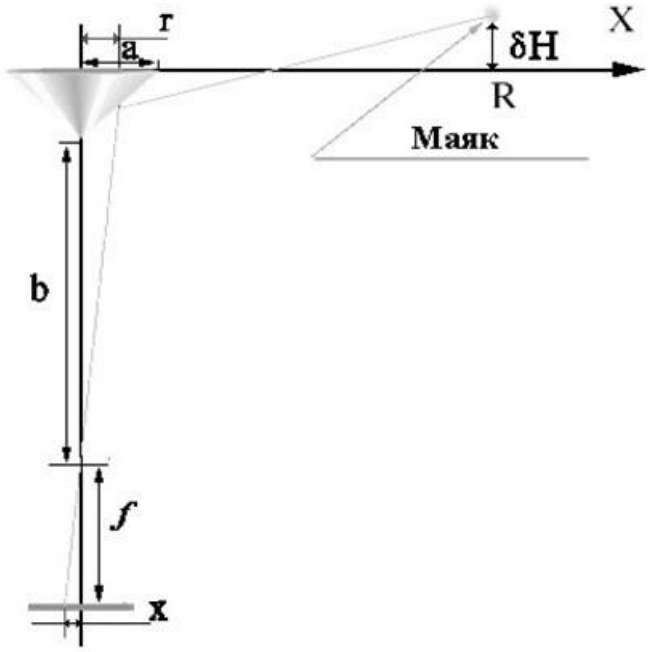



Рисунок 1.4 – Схема визначення відстані до об’єкта

Обчислення проводяться за такими формулами:

$$R = \frac{b \cdot (a + \delta H)}{r} + a + \delta H - b \quad r = \frac{b \cdot x}{f - x} \tag{1.1}$$

Тут x визначається в пікселях, а потім переводиться в метричну систему за формулою: $x^{метр} = \beta \cdot x^{пікс}$. Параметр β обчислюється виходячи з відомих розмірів конуса в метричній системі та в пікселях на зображенні [8].

Діапазон відстаней (рис. 1.5), на яких може функціонувати розглядувана СТЗ, визначається межами поля зору, що задаються геометричними характеристиками СТЗ та відстанню від основи конуса до площини підвісу об’єкта. Кути α і ψ відраховуються в паралельних площинах. Тому при формуванні вихідних даних розрахунок кута ψ зводиться до додавання певної константи до кута α.

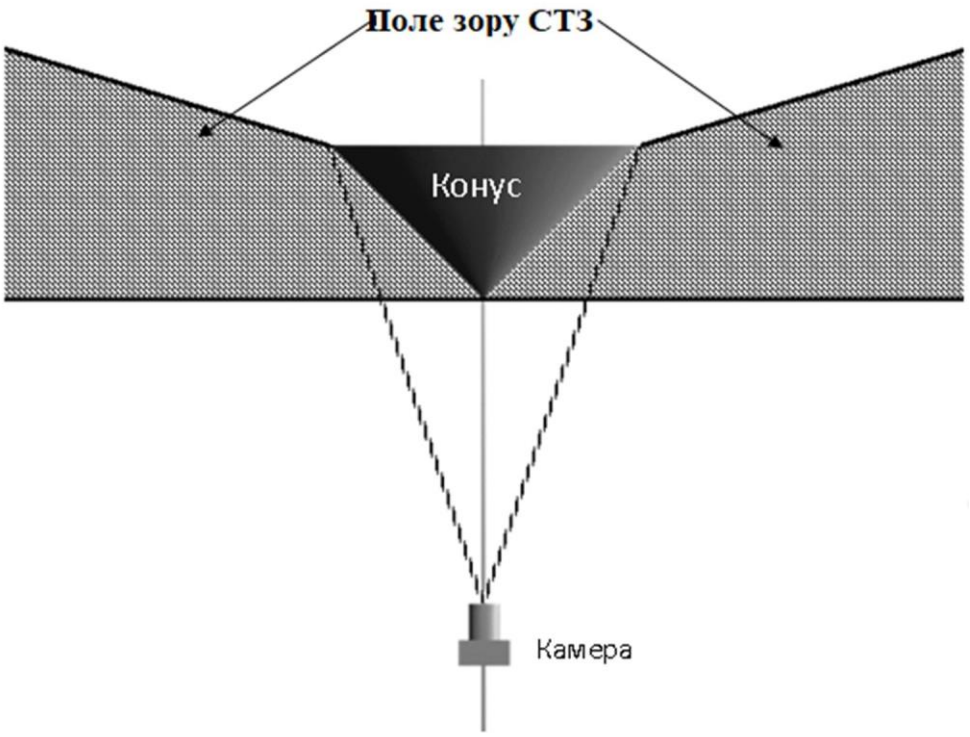



Рисунок 1.5 – Поле зору СТЗ

Кутова роздільна здатність δψ розглядуваної СТЗ залежить від центру розташування образу об’єкта за радіусом та від числа точок, що утворюють дискретне коло цього радіуса (рисунок 1.6).

Наприклад, коло радіусом 3 пікселі утворюють 16 точок, що відповідає роздільній здатності δψ = 22,5°. Коло радіусом 20 пікселів утворюють 112 точок, і роздільна здатність складає δψ = 3,2°. Для кола максимального радіуса 125 пікселів із 704 пікселів кутова роздільна здатність δψ становить 0,51° на 1 піксель (рисунок 1.6).

Нерівномірність роздільної здатності оптичної системи є основним недоліком цієї СТЗ, значущість якого зростає зі збільшенням кількості вимог до системи щодо визначення об’єктів навколишнього середовища [9].

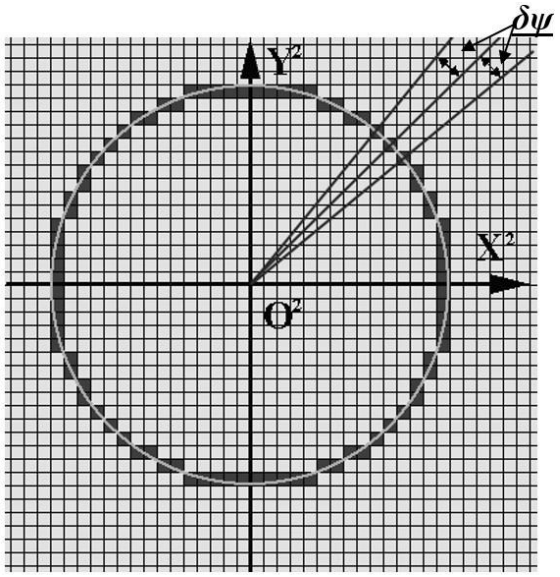



Рисунок 1.6 – Зображення дискретного кола радіуса 15 пікселів

Оскільки при зменшенні відстані до маяка відбувається збільшення відстані від проекції осі конуса на зображенні до образу маяка (рис. 1.5 – 1.6), при наближенні до маяка кутова роздільна здатність СТЗ зростає, і точність визначення напрямку на маяк підвищується.

Крім того, досяжна точність визначення напрямку на маяк вища за кутову роздільну здатність СТЗ. Це пов’язано з тим, що образ маяка являє собою множину точок, і при обчисленні напрямку на маяк визначається центр тяжіння цієї множини. Точність визначення координат центру тяжіння об’єкта на зображенні обернено пропорційна квадратному кореню характерних розмірів об’єкта по координатних осях. Для образу маяка (еліпс площею від кількох десятків до сотні пікселів) у всьому діапазоні розглядуваних дальностей ця точність становить частки пікселя [10].

Найбільший інтерес при організації проходу в ворота представляє точність визначення напрямку а найменшій відстані до маяка. Для умов вищеописаного полігону та компоновки конічної СТЗ ця точність склала 0,25° на 1 піксель на відстані 1,2 м.

Точність визначення відстані до маяка. Як видно з формул, зв’язок між відстанню x образу маяка від осі конуса та відстанню до маяка R від осі конуса має гіперболічний характер. Таким чином, підбираючи параметри

СТЗ, можна варіювати діапазон відстаней та точність вимірювань [10].

Якщо в умовах полігону яскравість образу маяка не сильно залежить від відстані ПР до маяка, можна забезпечити високу точність вимірювань на малих відстанях. Але при цьому точність на великих відстанях буде низькою. Або навпаки – можна забезпечити прийнятну точність у великому інтервалі відстаней, проте точність на малих дистанціях буде гіршою.

Для досліджуваної СТЗ при $\delta H = 6$ см зміна відстані x до образу маяка від 20 пікселів до 21 пікселя відповідає зменшенню відстані R до маяка на 40 см (рис. 1.6). Тобто у першому наближенні (без урахування розмірів образу маяка) точність визначення дальності до маяка становить 40 см на піксель. Оскільки образ маяка має значну протяжність по радіусу, дисперсія при обчисленні положення центру тяжіння образу більша, ніж при обчисленні центру тяжіння по куту [11].

З урахуванням визначення положення центру тяжіння образу маяка в радіальному напрямку з точністю 0,5 пікселя точність вимірювань дальності підвищується до 20 см. При зміні x від 115 пікселів до 116 пікселів, що відповідає відстані 1,2 м, оцінка першого наближення точності визначення відстані складає 12 см, що відповідає точності 10%. Як зазначалося раніше, кутова точність на такій відстані перевищує 0,1%. У результаті проведених експериментів, при додатковому налаштуванні СТЗ і переміщенні маяків у 20° кутовому діапазоні на відстані до маяка 1,2 м у статичних експериментах була досягнута точність вимірювань 10 см. Для досягнення такої точності при переміщенні маяків у більшому кутовому діапазоні потрібне більш точне налаштування СТЗ із використанням допоміжного обладнання.

У результаті експериментів було встановлено, що кутове відхилення осі камери відносно осі конуса не впливає істотно на зображення, що відображається конічним дзеркалом. Наприклад, лише при відхиленні понад $5^{o}$ стає помітною відмінність зображення краю конуса від окружності. Плоскопаралельні переміщення конуса відносно камери в межах, допустимих системою налаштування сенсора, також не викликають помітних спотворень.

Звідси було зроблено висновок про відсутність впливу описаних змін при визначенні кута на маяк у даній реалізації сенсора [12].

Однак, як показали експерименти, плоскопаралельні переміщення камери відносно конуса паралельно площині основи конуса відіграють істотну роль у визначенні як відстані до маяка, так і розмірів області поля зору СТЗ. Неправильне встановлення конуса відносно камери може призвести до похибки вимірювання відстані до 200% на відстані 2 м. Правильність встановлення конуса відносно камери перевірялася шляхом багаторазових вимірювань відстані до рівновіддалених маяків за допомогою сенсора з визначенням необхідного зміщення камери та конуса.

Роботи в цьому напрямку ведуться й за кордоном. Так, група вчених під керівництвом Гіон-іла Квеона (Gyeong-il Kweon) з корейського університету Хонама (Honam University) створила лінзу з великим кутом огляду, яка майже не спричиняє спотворень і, до того ж, є відносно недорогою [12].

Пристрій, розроблений корейськими дослідниками, являє собою скляний купол, усередині якого розташоване V-подібне дзеркало. Світло проникає крізь купол, а потім відбивається від цього дзеркала. Потім відбиті промені спрямовуються до лінзи, встановленої на верхівці купола. Вона збирає промені та створює чітке зображення, яке передається на мініатюрну камеру.

Ця розробка дозволяє охоплювати простір під кутом 151°, але, дещо ускладнивши конструкцію, можна збільшити цей кут до 160°. Рівень дисторсії – викривлення зображення – не перевищує 1%.

За результатами проведеного аналізу системи можна виділити такі характеристики:

– переваги: постійний круговий огляд; відсутність рухомих частин; одна камера;

– недоліки: необхідність складної попередньої обробки зображення; високі вимоги до якості дзеркальної поверхні, відсутність дефектів та

забруднень; неоднорідне значення роздільної здатності по площі зображення (ближче до центру конуса вона зменшується до критичних значень); відсутність можливості регулювання чіткості зображення (наприклад, неможливо використовувати додаткову оптику); наявність мертвих зон у верхній та нижній (можливе доопрацювання) площинах.

Отже, подібну СТЗ доцільно застосовувати в системах, що потребують визначення відстані та напрямку до обмеженої кількості типів об’єктів, наприклад, під час навігації за маяками, вирішення транспортних завдань в умовах складських приміщень.

## 1.2 Аналіз системи технічного зору з системою орієнтації

З усіх систем, що забезпечують круговий огляд, найбільшого поширення в робототехніці набули СТЗ із системою орієнтації (СО). СО може мати один або два ступені свободи (рис. 1.7). СО з одним ступенем свободи забезпечують панорамування, проте у верхній та нижній площинах огляду залишаються сліпі зони. СО з двома ступенями свободи позбавлені вищезазначених недоліків, і тому використовуються частіше [13].

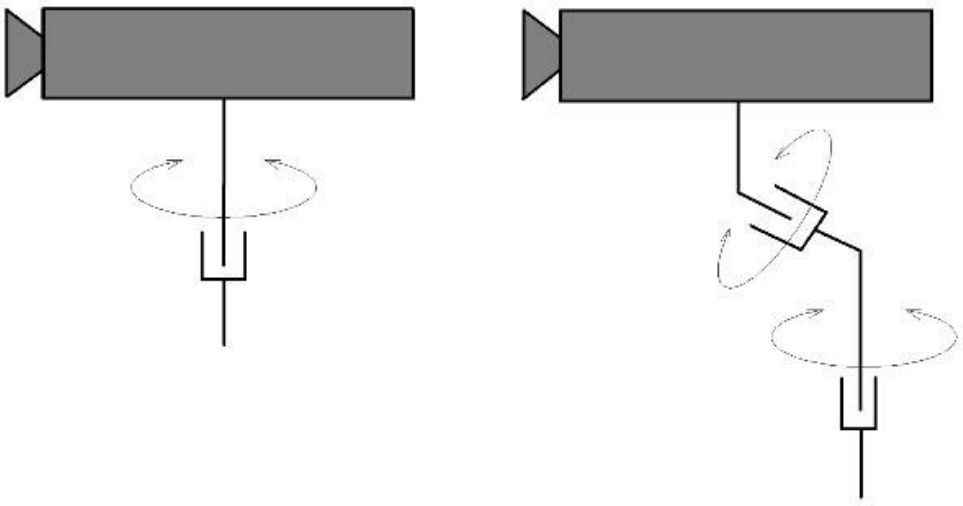


Рисунок 1.7 – Кінематичні схеми СТЗ із СО

Камери з функціями панорамування та нахилу часто використовуються в системах зовнішнього та внутрішнього спостереження. Існує безліч таких пристроїв, у корпусах з різним ступенем захисту та різною вантажопідйомністю. Деякі пристрої можна без змін застосовувати в робототехніці, зокрема для розроблюваного робота-дослідника може використовуватися СО PS20 фірми Pelco, характеристики якого наведені в додатку А. Даний пристрій забезпечує клас захисту IP66.

Подібним системам технічного зору для отримання зображення навколишнього простору потрібен час, тривалість якого визначається швидкодією системи панорамування; ця тимчасова затримка є основним недоліком подібних систем кругового огляду. Найменший час затримки виходить при обертанні системи панорамування з постійною швидкістю.

До переваг же можна віднести можливість використання оптики для корекції зображення, можливість довільної орієнтації камери для отримання зображення необхідної області, відсутність сліпих зон.

СО з панорамуванням і нахилом можуть застосовуватися в робототехнічних системах, де допускається затримка в отриманні інформації про навколишній простір у кілька секунд, так, наприклад, це може бути робот-дослідник, до завдань якого входить періодичний огляд навколишнього середовища, або роботи-першопрохідці для інших планет, а також усі системи, в яких круговий огляд здійснюється на вимогу [14].

## 1.3 Аналіз перспективних напрямків досліджень у сфері створення систем технічного зору з круговим оглядом

На думку автора [15], який уже багато років займається створенням технічних систем, черпаючи натхнення з «патентів», підглянутих у природи, зокрема – незвичайних систем зору, для багатьох сфер застосування перспективним буде наслідування рідкісних типів зорових систем. Так, нещодавно він і його колеги виготовили штучний оматидій (фасетку) –

елементарну світлоприймальну клітинку складного ока бабок та багатьох інших комах (рисунок 1.8).

Оматидії надсилають свої сигнали до мозку одночасно, дозволяючи комахам ефективно і швидко виявляти рух та розпізнавати зображення.

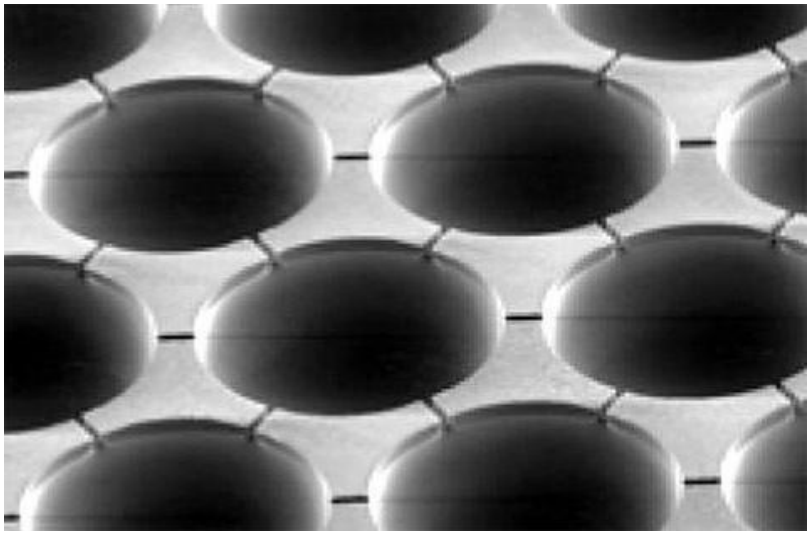


Рисунок 1.8 – Решітка з м'яких синтетичних лінз, що імітують систему зору комах [15]

Штучний аналог фасетки містить крихітну лінзу, з'єднану з хвилеводом, який спрямовує світло вниз на оптико-електронний пристрій. Безліч таких фасеток можна розмістити на куполі (рис. 1.9), що дає приладу змогу бачити майже в усіх напрямках одночасно.



Рисунок 1.9 – Система, що сприймає повне сферичне поле зору [15]

Поєднання двох таких систем «спина до спини», гіпотетично, забезпечить повністю сферичне поле зору: 360º по горизонталі та 360º по вертикалі [15].

Дослідники також беруть знання з оптики у тварин, про яких донедавна навіть не думали, що вони мають зір. Так кілька років тому вчені виявили, що один із різновидів морських зірок (brittle star) «оснащений» особливими кристалами кальциту (рис. 1.10) по всьому тілу, які слугують незвичайними світлоприймачами, що формують систему, схожу на складне око комах.

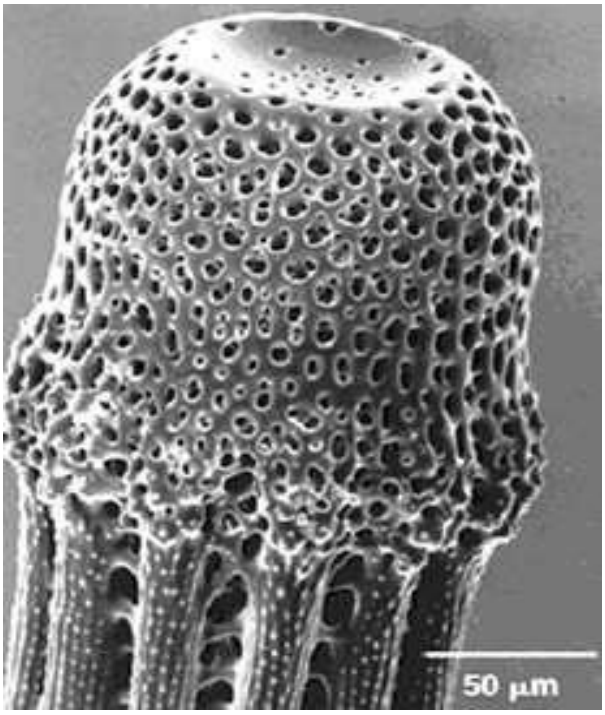



Рисунок 1.10 – Оптичний кристал морської зірки [15]

У конструкції таких оптичних систем використовуються не тверді напівпровідники, метал і скло, а гнучкі полімери, рідини тощо, знову ж таки, наслідуючи природу. Такий підхід дозволить поліпшити різні характеристики оптико-електронних систем формування зображень і навіть надати їм нових властивостей.

## 1.4 Висновки до розділу

У першому розділі виконано детальний аналіз існуючих систем технічного зору (СТЗ) кругового огляду. Було розглянуто особливості побудови панорамних систем на основі дзеркального конуса, систем орієнтації камери (з панорамуванням та нахилом), а також перспективні біонічні напрямки досліджень у цій галузі.

На основі проведеного аналізу встановлено, що системи з дзеркальним конусом забезпечують миттєвий огляд на 360°, проте мають суттєві недоліки: нерівномірну роздільну здатність по площі кадру, складність попередньої обробки зображень та наявність «мертвих» зон. Системи орієнтації камери (панорама-нахил) позбавлені цих недоліків, дозволяють використовувати стандартну оптику високої якості та орієнтувати камеру в будь-яку точку простору, хоча й мають незначну часову затримку на поворот механізму.

Зроблено висновок, що для мобільного робота-дослідника, умови роботи якого допускають затримку в отриманні візуальної інформації у кілька секунд, найбільш раціональним є використання системи технічного зору із двоосьовою системою орієнтації (панорамування та нахилу).

# 2 МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ПОБУДУВАННЯ МОДЕЛІ НАВКОЛИШНЬОГО ПРОСТОРУ

## 2.1 Розробка моделі системи технічного зору кругового огляду з множини камер, розміщених по всьому роботу

Сучасний рівень розвитку техніки дозволив створювати відеокамери, габаритно-масові характеристики яких дають змогу розміщувати значну їх кількість на невеликій площі поверхні роботизованих пристроїв. Так звані мікрокамери, що застосовуються в сучасних високотехнологічних пристроях, наприклад мобільних телефонах (рис. 2.1), при розмірах 6 мм х 6 мм х 4 мм, дозволяють отримувати зображення розміром 640х480 пікселів [1].




Рисунок 2.1 – Мікрокамера від мобільного телефону Siemens

Серед недоліків мікрокамер можна виділити такі характеристики, як низька світлочутливість і невелика максимальна фокусна відстань порівняно зі звичайними пристроями. Також значно ускладнюється завдання автоматичного фокусування камери. Усі перелічені недоліки є наслідком мініатюризації: зменшення розмірів ПЗС-матриці та розмірів об’єктива.

Проблему з автофокусом можна вирішити, встановивши на камеру активні лінзи зі змінною геометрією, на зразок кришталика людського ока.

При розміщенні великої кількості мікрокамер по площі поверхні робота (рис. 2.2) можна досягти ефекту поверхневого зору, суть якого зводиться до отримання зображення навколишньої робота віртуальної поверхні довільної конфігурації.

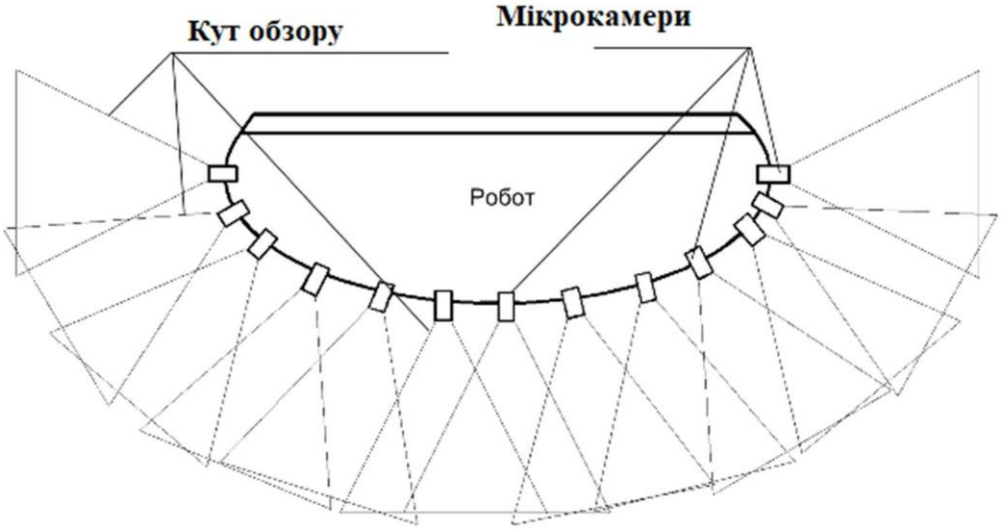



Рисунок 2.2 – Розміщення мікрокамер на роботі

Ця поверхня може копіювати зовнішню поверхню робота в певному масштабі або значно відрізнятися від неї. Параметри віртуальної поверхні зору визначаються щільністю розміщення мікрокамер на одиницю площі поверхні робота, кутом між оптичною віссю камери та дотичною до поверхні, проведеною в точці розміщення камери, та встановленою фокусною відстанню для об'єктива камери. Так, для отримання віртуальної поверхні, що копіює обриси робота, віддаленої від робота на відстань, параметри розміщення камер повинні бути такими:

– фокусна відстань для всіх камер повинна бути однаковою;

– кут між оптичною віссю камери та дотичною до поверхні дорівнює 90;

$$l = 2 \cdot \sin(\frac{\alpha}{2} - \frac{\beta}{2}) \cdot d \quad ,$$

де $\alpha$ – кут між оптичними осями сусідніх камер;

$\beta$ – кут огляду окремої мікрокамери.

Кут $\alpha$ визначається кривизною поверхні робота, на яку встановлюють камеру.

У разі розміщення мікрокамер із значним перекриттям зон огляду можливе отримання декількох зображень однієї зони, що може використовуватися під час обробки отриманого зображення для уточнення параметрів виявлених об’єктів та реконструкції тривимірної моделі навколишнього простору.

Структура СТЗ кругового огляду зображена на рис. 2.3. До її складу входять мікрокамери, освітлювач, канал передачі даних, блок попередньої обробки, блок обробки відеозображення.

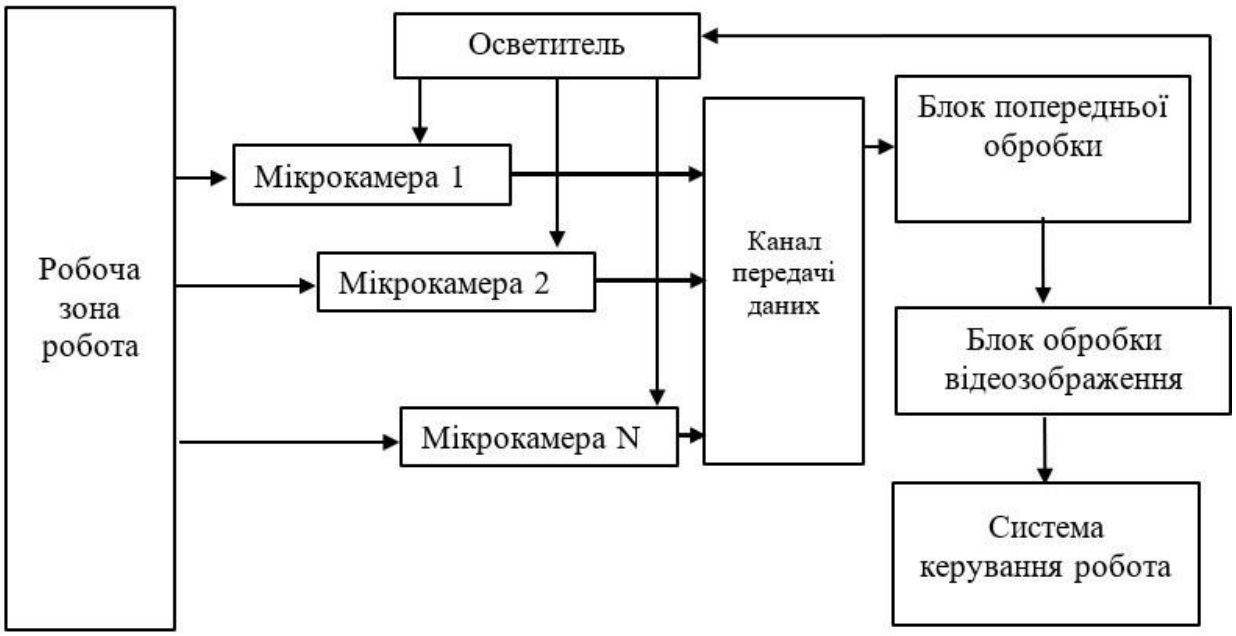



Рисунок 2.3 – Структурна схема СТЗ кругового огляду з декількома камерами

Кількість мікрокамер визначається вимогами до зони огляду системи та продуктивністю використовуваної системи обробки відеоінформації. Освітлювачем може служити як спрямоване джерело світла, що виділяє окремі слабоосвітлені ділянки на зображенні, так і розподілена структура мініатюрних освітлювальних приладів, таких як матриці світлодіодів високої яскравості, встановлені в безпосередній близькості від мікрокамер. Також можливе використання структурного підсвічування, що значною мірою спростить визначення характеристик тривимірних об'єктів на етапі обробки відеозображення.

Для передачі інформації з мікрокамер може використовуватися як провідний, так і бездротовий канал передачі даних, так як розроблена і запатентована Каліфорнійським університетом мікрокамера, виконана на одному напівпровідниковому чіпі, має вбудовану систему бездротової передачі даних. Однак, при використанні робота-дослідника в умовах, де можливі значні перешкоди при передачі радіосигналу, доцільно використовувати дротове підключення камер.

Функції блоків обробки зображень можуть відрізнятися залежно від режиму використання СТЗ. Найбільше обчислювальне навантаження на ці блоки припадає на випадки, коли потрібно отримати цілісну картину простору навколо робота. У цьому режимі в блоці попередньої обробки здійснюється «склеювання» зображення, що отримується з усіх встановлених камер, фільтрація зображення, нормалізація рівнів яскравості.

Результатом роботи блоку буде повне, цілісне зображення робочої області, що передається на подальшу обробку з метою ідентифікації образів та побудови моделі навколишнього простору. Такий режим роботи висуває високі вимоги до продуктивності обчислювальної системи та швидкості передачі даних у каналах зв'язку. У разі, коли немає необхідності в отриманні цілісного зображення, а можлива обробка часткових даних, наприклад, при стеженні за невеликим об'єктом, що переміщується в робочому просторі,

можна знизити обчислювальні витрати на етапі «склеювання» отриманих зображень.

Зменшити також вимоги до каналів передачі даних і навантаження на блок, що виконує ідентифікацію об'єктів, можна і шляхом впровадження на етапі попередньої обробки додаткових фільтрів, що відсівають ті зображення, в яких однозначно немає шуканих ознак.

У блоці обробки відеозображення виконується згладжування та сегментація зображення, а також розпізнавання образів, побудова тривимірних моделей знайдених об'єктів та побудова моделі всього робочого простору.

У підрозділі 2.2 даної роботи наводиться аналіз методів побудови тривимірних моделей об'єктів, які можуть використовуватися при обробці зображення. Результати роботи блоку обробки відеозображення передаються в систему керування робота, де ця інформація використовується при плануванні дій та навігації мобільного робота.

Через велике обчислювальне навантаження на блоки обробки зображення реалізація цих блоків на однопроцесорному пристрої призведе до значних часових затримок, що знизить ефективність СТЗ загалом. Рішенням даної проблеми може стати застосування сигнальних (DSP) процесорів як для виконання окремих операцій, так і для всього процесу обробки відеозображення. DSP-процесори призначені для здійснення цифрової обробки сигналу – математичних маніпуляцій над оцифрованими сигналами. Вони широко застосовуються в бездротових системах, аудіо- та відеообробці, системах управління [16].

Зі зростанням кількості додатків, що використовують DSP, та складності алгоритмів обробки збільшуються й вимоги до них у плані підвищення швидкодії та оснащеності інтерфейсними та іншими спеціалізованими вузлами. На сьогоднішній день з'явилося безліч типів DSP, як універсальних, так і орієнтованих на досить вузьке коло завдань.

Жоден із процесорів не може підійти для всіх додатків. Тому важливим

стає завдання вибору процесора, найбільш підходящого за продуктивністю, ціною, наявністю певної периферії, споживанням потужності, простотою використання та іншими критеріями. Крім того, у багатьох випадках має сенс враховувати й місце на ринку, яке займає постачальник процесора, оскільки не всі виробники можуть надати у ваше розпорядження спектр процесорів, що покривають усі ваші потреби. Сформований на сьогодні розподіл ринку між провідними постачальниками (табл. 2.1) показує, що 4 компанії, які стоять на початку списку, постачають понад 80% усіх DSP, що використовуються у світі [16]. Слід пам'ятати, що виробники DSP, проектуючи нові мікросхеми, досить чітко позиціонують їх для використання в тих чи інших додатках. Це впливає і на їхню архітектуру, і на швидкодію, і на оснащення процесора тим чи іншим набором периферійних модулів [16].

У табл. 2.2 показано позиціонування DSP з точки зору їхніх розробників.

Таблиця 2.1 – Основні виробники DSP та їхні частки ринку

| Компанії-лідери ринку | Назва компанії | Частка ринку DSP |
|---|---|---|
| 1 | Texas Instruments | 54,3% |
| 2 | Freescale Semiconductor | 14,1% |
| 3 | Analog Devices | 8,0% |
| 4 | Philips Semiconductors | 7,5% |
| 5 | Agere Systems | 7,3% |
| 6 | Toshiba | 4,9% |
| 7 | DSP Group | 2,2% |
| 8 | NEC Electronics | 0,6% |
| 9 | Fujitsu | 0,4% |
| 10 | Intersil | 0,3% |

Таблиця 2.2 – Сфери застосування сімейств сигнальних процесорів різних виробників

| Параметр | Значення |
|---|---|
| Обробка відео, відеоспостереження, цифрові камери, 3D-графіка | TMS320DM64x/DaVinci, TMS320C64xx, TMS320C62xx (TI), PNX1300, PNX1500, PNX1700 (Philips) , MPC52xx (Freescale) |
| Обробка аудіо, розпізнавання мови, синтез звуку | TMS320C62xx, TMS320C67xx (TI), SHARC (Analog Devices) |
| Портативні медіапристрої | TMS320C54xx, TMS320C55xx (TI), Blackfin (Analog Devices) |
| Бездротовий зв'язок, телекомунікації, модеми, мережеві пристрої | TMS320C64xx, TMS320C54xx, TMS320C55xx (TI), MPC7xxx, MPC86xx, MPC8xx PowerQUICC I, MPC82xx PowerQUICC II, MPC83xx PowerQUICC II Pro, MPC85xx PowerQUICC III (Freescale), Blackfin, TigerSHARC (Analog Devices), PNX1300 (Philips) |
| Управління приводами, перетворення потужності, автомобільна електроніка, предмети домашнього вжитку, офісне обладнання | TMS320C28xx, TMS320C24xx (TI), ADSP-21xx (Analog Devices), MPC55xx, MPC55xx (Freescale) |
| Медицина, біометрія, вимірювальні системи | TMS320C62xx, TMS320C67xx, TMS320C55xx, TMS320C28xx (TI), TigerSHARC, SHARC (Analog Devices) |

Одна з основних характеристик цифрових сигнальних процесорів – формат оброблюваних даних. Усі DSP працюють або з цілими числами, або з

числами у форматі з плаваючою комою, причому для цілих чисел розрядність становить 16 або 32, а для чисел з плаваючою комою вона дорівнює 32. Вибираючи формат даних, необхідно мати на увазі наступне: DSP з цілочисельними даними (або даними з фіксованою комою) зазвичай дешевші та забезпечують більшу абсолютну точність при рівній розрядності (оскільки на мантису в 32-бітному процесорі з фіксованою комою відводяться всі 32 біти, а в процесорі з плаваючою комою – лише 24) [16].

Водночас динамічний діапазон сигналів, з якими можуть без спотворень працювати процесори, у процесорів з фіксованою комою значно вужчий (на кілька десяткових порядків). При відносно простих алгоритмах обробки це може бути неважливо, оскільки динамічний діапазон реальних вхідних сигналів найчастіше менший, ніж допускає DSP, проте в деяких випадках можливе виникнення помилок переповнення під час виконання програми. Це призводить до принципово непереборних нелінійних спотворень вихідного сигналу, аналогічних спотворенням через обмеження в аналогових схемах [17].

Отже, при виборі DSP необхідно ретельно аналізувати алгоритм обробки та вхідні сигнали для правильного вибору розрядності та типу арифметики. Іноді, коли неможливо підібрати відповідний процесор з плаваючою комою (через його вищу вартість або енергоспоживання), використовують DSP з фіксованою комою та стисненням динамічного діапазону оброблюваних сигналів (компресію), однак це призводить до збільшення складності алгоритму обробки сигналу та підвищує вимоги до швидкодії.

Звичайно, можна емулювати операції з плаваючою комою і на процесорі з цілочисельною арифметикою або перейти до обробки чисел подвоєної розрядності, однак це також значно ускладнює програму і значно знижує швидкодію [17].

Незважаючи на всі обмеження, більшість вбудованих додатків використовують процесори з фіксованою комою через меншу ціну та

енергоспоживання. Збільшення кількості розрядів підвищує вартість, розмір кристала та кількість необхідних виводів процесора, а також необхідний обсяг зовнішньої пам'яті. Тому розробники прагнуть використовувати кристал з мінімально можливою розрядністю. Варто зауважити, що розрядність даних і розрядність команд процесорів не завжди еквівалентні.

Ключовий параметр при виборі процесора – це швидкість. Вона впливає на час виконання обробки вхідного сигналу і, отже, визначає його максимальну частоту. Одна з найпоширеніших помилок розробника – ототожнення тактової частоти та швидкодії, що в більшості випадків є неправильним. Дуже часто швидкість роботи DSP вказують у MIPS (мільйонах інструкцій за секунду). Це найбільш просто вимірюваний параметр [17].

Однак проблема порівняння швидкості різних DSP полягає в тому, що процесори мають різні системи команд, і для виконання одного й того ж алгоритму різними процесорами потрібна різна кількість цих команд. Крім того, іноді для виконання різних команд одним процесором потрібна різна кількість тактів синхронізації. У результаті процесор зі швидкістю 1000 MIPS цілком може виявитися в рази повільнішим за процесор зі швидкістю 300 MIPS, особливо при різній їх розрядності.

Одне з рішень цієї проблеми – порівнювати процесори за швидкістю виконання певних операцій, наприклад, операції множення з накопиченням (MAC). Швидкість виконання таких операцій є критичною для алгоритмів, що використовують цифрове фільтрування, кореляцію та перетворення Фур’є. На жаль, така оцінка також не дає повної інформації про реальну швидкодію процесора.

Найточнішою є оцінка швидкості виконання певних алгоритмів – однак це вимагає розробки відповідних програм і ретельного аналізу результатів тестування.

Існують компанії, що займаються аналізом і порівнянням процесорів за основними характеристиками, у тому числі й за швидкістю. Лідером серед

таких компаній є BDTI – Berkeley Design Technology, Inc. Як приклад на рисунку 2.4 показано порівняння за швидкістю сучасних DSP різних виробників.

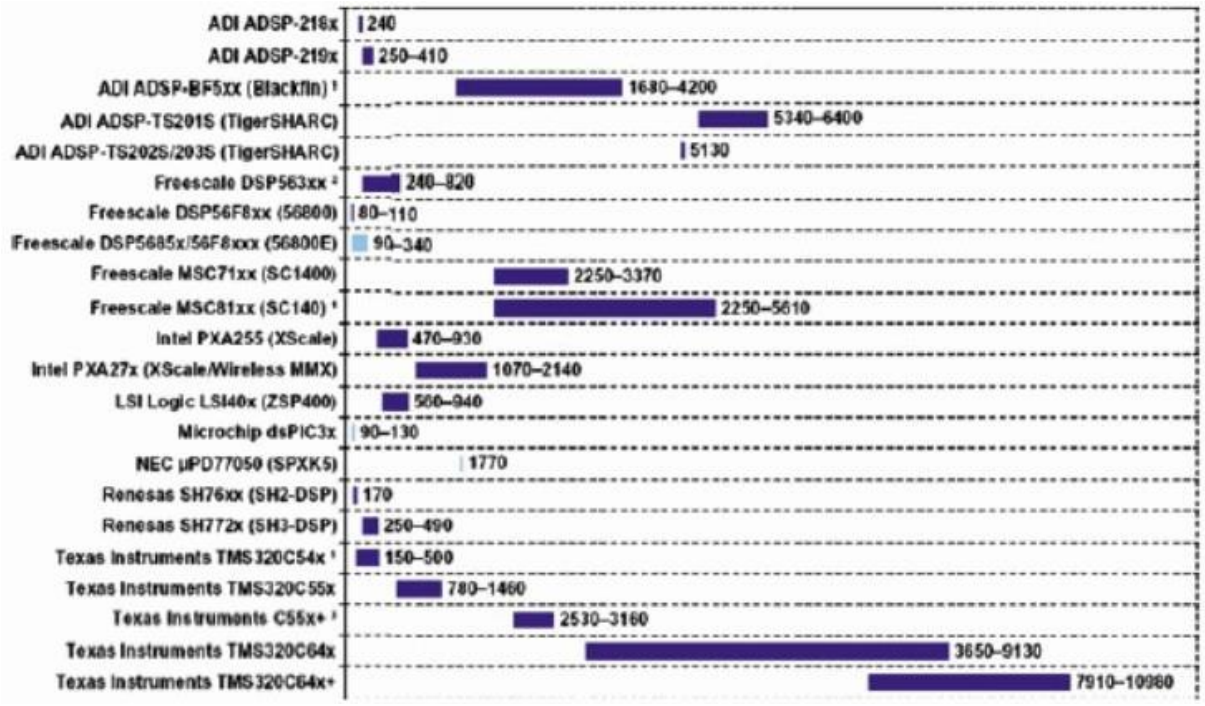



Рисунок 2.4 – Порівняння швидкодії різних DSP із фіксованою точкою [17]

Організація системи пам'яті процесора впливає на продуктивність. Це пов'язано з тим, що ключові команди DSP є багатоопераднними, і прискорення їх роботи вимагає одночасного зчитування декількох комірок пам'яті. Наприклад, команда MAC вимагає одночасного зчитування 2 операндів і самої команди для того, щоб її можна було виконати за 1 такт. Це досягається різними методами, серед яких застосування багатопортової пам'яті, поділ на пам'ять програм і пам'ять даних (Гарвардська архітектура), використання кешу команд тощо.

Необхідний обсяг пам'яті визначається додатком. Необхідно враховувати, що вбудована в процесор пам'ять зазвичай має значно більшу швидкість роботи, ніж зовнішня, однак збільшення її обсягу збільшує вартість і енергоспоживання DSP, а обмежений обсяг пам'яті програм не дозволяє зберігати складні алгоритми. У той же час, якщо цього обсягу

достатньо для ваших цілей, наявність вбудованої пам'яті дозволяє значно спростити конструкцію в цілому та зменшити її розміри, енергоспоживання та вартість.

Більшість DSP з фіксованою комою, що застосовуються у вбудованих додатках, передбачають малий обсяг внутрішньої пам'яті, зазвичай від 4 Кбайт до 256 Кбайт, і невисоку розрядність зовнішніх шин даних.

У той же час DSP з плаваючою комою зазвичай передбачають роботу з великими масивами даних і складними алгоритмами та мають або вбудовану пам'ять великого обсягу, або велику розрядність адресних шин для підключення зовнішньої пам'яті (а іноді й те, й інше).

Ступінь складності розробки визначається додатком. При цьому необхідно мати на увазі, що більша зручність для розробника (зазвичай пов'язана з використанням при програмуванні DSP мов високого рівня) у більшості випадків обертається отриманням менш компактного і швидкого коду, що обертається необхідністю використання більш потужних і дорогих DSP. З іншого боку, в сучасних умовах швидкість розробки (і, отже, виходу нового виробу на ринок) може принести більше вигод, ніж витрати часу на оптимізацію коду при написанні програми на асемблері.

Крім того, слід пам'ятати, що безпомилкових програм не буває, тому засоби налагодження та можливість корекції програм у готовому пристрої дуже часто мають першорядне значення. Водночас при виборі DSP та засобів розробки необхідно враховувати деякі особливості архітектури процесорів.

Ті, хто використовує компілятори з мов високого рівня (МВР), іноді помічають, що вони генерують кращий код для процесорів з плаваючою комою. Це відбувається з кількох причин: по-перше, більшість мов високого рівня спочатку не підтримують арифметику з фіксованою комою, по-друге, система команд DSP з фіксованою комою є більш обмеженою, і по-третє, процесори з плаваючою комою зазвичай накладають менші обмеження на обсяг використовуваної пам'яті.

Найкращі результати отримуються при компіляції програм на ЯВУ для VLIW-процесорів (процесорів з наддовгим словом команди) з простою ортогональною RISC-системою команд і великими регістровими файлами. Однак навіть для цих процесорів код, що генерується компілятором, виходить повільнішим порівняно з оптимізованим вручну асемблерним. З іншого боку, можливість спочатку змоделювати процес обробки сигналу в програмі типу MathLab з подальшою автоматичною трансляцією його в програму для DSP дозволяє позбутися безлічі серйозних помилок ще на початковому етапі розробки.

Налагодження готових програм можна проводити або на апаратному емуляторі готової системи, або на програмному симуляторі. Зазвичай налагодження на симуляторі дещо простіше з точки зору використовуваної апаратури, однак воно не дозволяє виявити всі можливі помилки. Майже всі виробники забезпечують розробників і симуляторами, і емуляторами своїх DSP. Майже всі сучасні DSP підтримують внутрішньосхемну емуляцію відповідно до стандарту IEEE 1149.1 JTAG. При використанні технології JTAG ми переходимо від емуляції процесора зовнішнім пристроєм до безпосереднього контролю над процесором під час виконання програми, що дозволяє значно збільшити ступінь відповідності макета реальному пристрою і, отже, підвищити надійність процесу налагодження.

Крім емуляторів, виробники пропонують широкий набір так званих «стартер-кітів» і «оціночних модулів», за допомогою яких можна відразу приступити до розробки додатка, не чекаючи виготовлення макета пристрою, що розробляється. Крім цього, в деяких додатках ці засоби розробки можна використовувати як кінцеві пристрої.

DSP-процесори широко використовуються в мобільних пристроях, де енергоспоживання є основною характеристикою. Для зниження енергоспоживання застосовується безліч методів, зокрема зменшення напруги живлення та впровадження функцій керування енергоспоживанням, наприклад, динамічної зміни тактової частоти, переходу в режим сну або

режиму очікування, або відключення периферійних пристроїв, що не використовуються в даний момент. Слід зазначити, що ці заходи мають значний вплив на швидкість роботи процесора і при некоректному використанні можуть призвести до непрацездатності проектованого пристрою (як приклад можна навести деякі мобільні телефони, які в результаті помилок у програмах керування енергоспоживанням іноді переставали вмикатися) або до погіршення його експлуатаційних характеристик (наприклад, значному часу відновлення працездатності при виході зі сплячого режиму).

Оцінка споживання потужності є не простим завданням, оскільки ця величина варіюється залежно від завдань, що виконуються процесором. На жаль, більшість виробників публікують лише «типове» та «максимальне» споживання, а що мається на увазі під цими визначеннями, не завжди зрозуміло. Винятком є компанія Texas Instruments, яка вказує споживання потужності залежно від типу команди та конфігурації процесора.

Як показано раніше, правильний вибір DSP сильно залежить від застосування: процесор може добре підходити для одних застосувань, але абсолютно не підходити для інших. При виборі процесора потрібно визначити найважливіші в конкретному випадку характеристики та розставити їх за ступенем важливості. Потім відповідно до цих критеріїв відібрати можливих кандидатів і, нарешті, вибрати з підходящих найкращий, звертаючи увагу на додаткові, некритичні характеристики. При цьому доцільно скористатися оцінкою характеристик процесорів, проведеною якоюсь авторитетною компанією (наприклад, BTDI). Слід пам'ятати, що BTDI проводить оцінку DSP не тільки за швидкодією, але й за іншими критеріями: ефективністю пам'яті, енергоспоживанням тощо.

Для реалізації СТЗ насамперед важливі швидкість, ціна, ефективність роботи пам'яті та енергоспоживання. Визначено основних претендентів, серед яких DSP з ядром C64x і C64x+ від Texas Instruments та TigerSHARC від Analog Devices. На рис. 2.5 показано графік порівняльних характеристик

цих процесорів за критеріями швидкості, вартості, енергоспоживання та зручності засобів розробки.

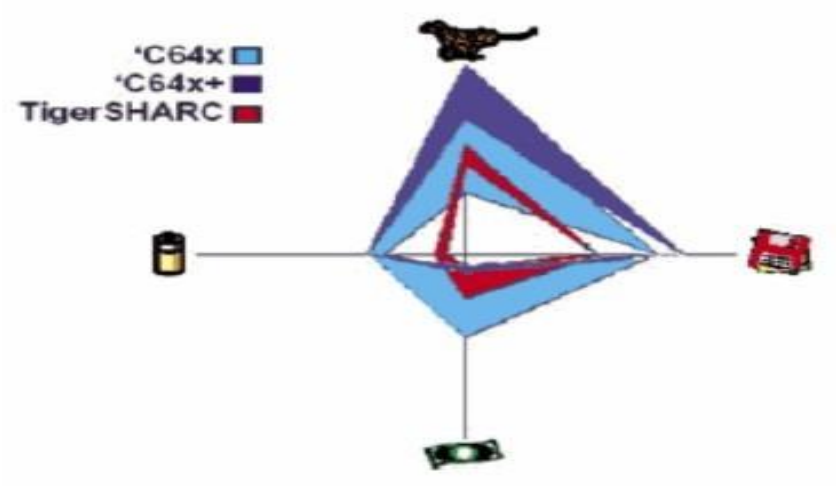



Рисунок 2.5 – Діаграма для вибору DSP [18]

Якщо потрібно збільшити час автономної роботи робота, необхідне низьке енергоспоживання, і при цьому можна поступитися швидкістю, вибір припадає на Analog Devices. Не виключена ймовірність того, що обрані процесори виявляться дуже близькими за ключовими параметрами. У цьому випадку вибір визначатиметься некритичними характеристиками: доступністю засобів налагодження, попереднім досвідом розробника, доступністю компонентів тощо [18].

Ретельний вибір цифрового сигнального процесора ще на початковому етапі розробки може допомогти позбутися зайвих витрат, пов'язаних з вибором невідповідного DSP, і скоротити як час розробки в цілому, так і час та кошти на виявлення помилок.

Окремим питанням, що не розглядається в даній роботі, стане архітектура багатопроцесорної системи на основі DSP, оскільки під час роботи СТЗ робота висуваються вимоги щодо обробки відеопотоку в реальному часі. Можна припустити, що найкращі результати при обробці даних, що надходять одночасно з камер, покаже паралельна архітектура [18].

## 2.2 Методи реконструкції моделей об’єктів з навколишнього простору робота

Під відновленням або реконструкцією розуміється побудова фізично коректної моделі сцени (що враховує геометрію, просторове розташування, властивості поверхні тощо) та її представлення у формі, зручній для редагування, зберігання та візуалізації. Під час візуалізації отриманої моделі синтезовані зображення повинні максимально точно відповідати вихідним зображенням. На основі отриманих моделей будується віртуальна модель робочого простору робота. Згодом ця інформація використовується при ідентифікації об'єктів у робочому просторі та навігації.

### 2.2.1 Активні та пасивні методи реконструкції

Усі методи відтворення сцени поділяються на активні та пасивні. Активні методи використовують пристрої, які знаходяться в безпосередній взаємодії з об'єктами сцени, впливають на сцену і самі є її учасниками. До таких пристроїв відносяться лазерні сканери, що дозволяють з високою точністю визначати відстань від лазера до поверхні об'єкта, що дозволяє відтворювати дуже точну геометричну модель об'єкта. Також до активних методів зараховуються методи, що використовують зображення об'єкта в умовах структурованого освітлення (у світлі кольорових прожекторів, прожекторів із масками спеціальної форми). Головними недоліками всіх активних підходів є висока вартість використовуваного обладнання та неможливість відтворення динамічних сцен.

Пасивні методи в якості вихідних даних використовують тільки фотографії або послідовності зображень об'єктів, отримані в природному освітленні, або наближеному до нього (у світлі звичайних ламп). Пасивні методи вважаються найбільш перспективними, оскільки дозволяють будувати моделі динамічних сцен, в яких можуть брати участь люди [19].

Існує цілий набір підходів, на основі яких розробляються пасивні методи реконструкції. У даному огляді будуть розглянуті два з них. Це реконструкція моделей за набором силуетів об'єкта та на основі правила узгодження кольорів.

### 2.2.2 Дискретні подання

У комп'ютерній графіці найбільшого поширення набули поверхневі (surface) моделі, тобто такі, в яких певним чином зберігається інформація про кожну точку поверхні моделі. Найчастіше поверхню апроксимують набором з'єднаних полігонів. Останнім часом, у зв'язку зі зростанням продуктивності комп'ютерів, дедалі частіше використовуються сплайнові моделі поверхонь (NURBS) [20].

На противагу цьому, для завдань відновлення моделей за фотографіями найзручніше використовувати дискретні (sampled) представлення, тобто такі, в яких інформація про об'єкт відома тільки в певних точках. Тому такі представлення іноді називають точковими, але часто точковими називають один із класів дискретних представлень. Всього виділяють три класи дискретних представлень: об'ємні (volumetric), точкові (point) та засновані на зображеннях (image-based).

Окремий елемент об'ємного представлення називається воксель (voxel) і зберігає інформацію про простір навколо себе. Якщо цей простір порожній, то воксель вважається порожнім і або позначається як прозорий, або видаляється з моделі. Воксель, що межує з порожнім і непорожнім, називається граничним. Можна сказати, що граничні вокселі зберігають інформацію про поверхню моделі. Використовуються різні схеми дискретизації – регулярні, криволінійні, ізотропні, неструктуровані. Регулярне представлення найбільш зручне для обробки та зберігання, тому саме воно використовується найчастіше. Кожен воксель тоді представляється кубиком, а весь простір розбивається на безліч таких однакових кубиків [20].

Вперше об'ємне представлення було запропоновано в 1970 році, у

роботі з візуалізації та вивчення циркуляції крові в тілі людини. Для роботи воно вимагає дуже багато пам'яті, причому залежність від роздільної здатності – кубічна, на відміну від квадратичної у випадку поверхневих представлень. Але завдяки величезному прогресу в продуктивності комп'ютерів, цей вид представлення моделей тепер став реальною альтернативою традиційним поверхневим моделям.

Зображення, в якому кожному пікселю відповідає глибина (тобто відстань від камери до ділянки поверхні, зображенням якої є піксель), називається зображенням з глибиною (рис. 2.3) [20]. Тобто кожен піксель із глибиною зберігає інформацію про шматочок поверхні на відстані, що дорівнює глибині від камери. Мінімальний паралелепіпед, що містить відповідний пікселю шматочок поверхні, назвемо областю впливу пікселя.

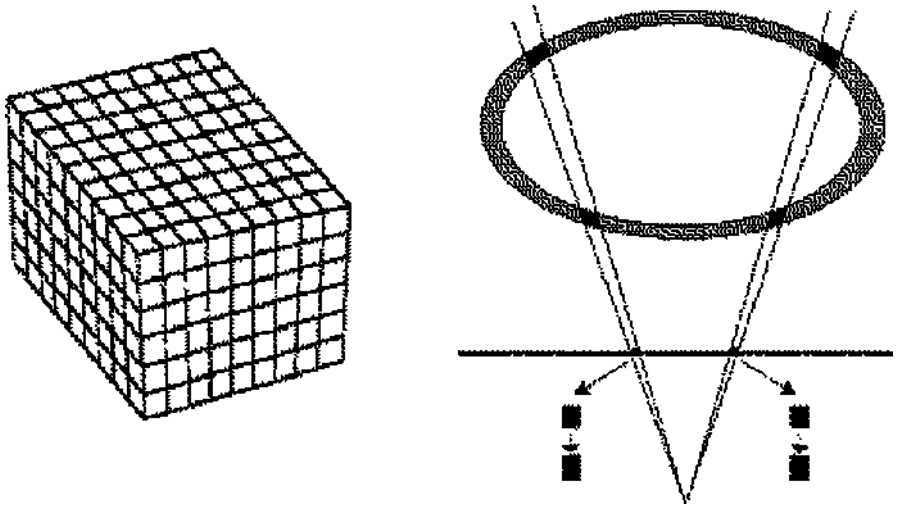


Рисунок 2.3 – Воксельний куб і багатошарове зображення з глибиною [20]

А все зображення з глибиною відповідає деякій частковій поверхні в просторі. Знаючи положення та орієнтацію нової камери, ми можемо спроектувати всі фрагментарні поверхні (для кожного пікселя) на її площину зображення та отримати зображення фрагментарної поверхні з іншої точки зору. Щільність розташування точок, заданих пікселями зображення, у просторі можна назвати частотою дискретизації поверхні об’єкта з даної

камери. Ми можемо її варіювати шляхом зміни роздільної здатності зображення або наближення чи віддалення камери відносно об'єкта. Відповідно, чим більша роздільна здатність і чим ближче камера до поверхні об'єкта, тим точніше часткова поверхня описує поверхню об'єкта.

У загальному випадку «представленням на основі зображень» називається двовимірне дискретне представлення. З концептуальної точки зору, кожен елемент представлення вважається незалежним (не пов'язаним з іншими елементами) будь-яким чином. Елементи просто розташовані на постійній відстані один від одного. Взаємозв'язок елементів випливає лише з додаткових знань про об'єкт, уявленням якого є дане. Наприклад, як було сказано вище, якщо ми описуємо поверхню об'єкта.

Точкові уявлення зберігають інформацію просто про точки моделі. При лазерному скануванні, внаслідок дуже малого діаметра лазерного променя, зазвичай отримуються саме точкові моделі.

### 2.2.3 Вимоги до вихідних зображень

Усі методи, розглянуті в цьому огляді, вимагають повністю відкаліброваних зображень. Для кожного зображення мають бути відомі всі параметри камери, за допомогою якої воно було отримано, включаючи положення та орієнтацію камери. Ця вимога дає змогу визначити, в яку точку на кожному зображенні буде спроектована будь-яка точка в просторі.

Силуетні методи не використовують інформацію про колір під час реконструкції геометрії моделі, тому вони не накладають жодних обмежень на властивості поверхні об'єктів. Методи на основі узгодження кольорів можуть застосовуватися лише для об'єктів з ламбертовою (дифузною) поверхнею [20].

Взагалі, моделювання об'єктів з поверхнею зі складними властивостями (дзеркальними, напівпрозорими) зараз можливе тільки за величезною кількістю зображень (до 250 000 фотографій одного об'єкта), отриманих в умовах різного освітлення і на спеціальному тлі.

2.2.4 Силуетні методи

Один із методів визначення силуету [21] – отримання видимої оболонки (visual hull) (рис. 2.4). Присвоїмо кожному вихідному зображенню бітову карту. Якщо піксель зображення відповідає об'єкту, то біт ставиться в 1, в іншому випадку – в 0. Тоді силуетом об'єкта на даному зображенні називається множина всіх бітів, що дорівнюють 1. Силуетні методи відновлюють геометричну модель об'єкта тільки за його силуетами. Ці методи також часто називаються методами перетину об'ємів (volume intersection).

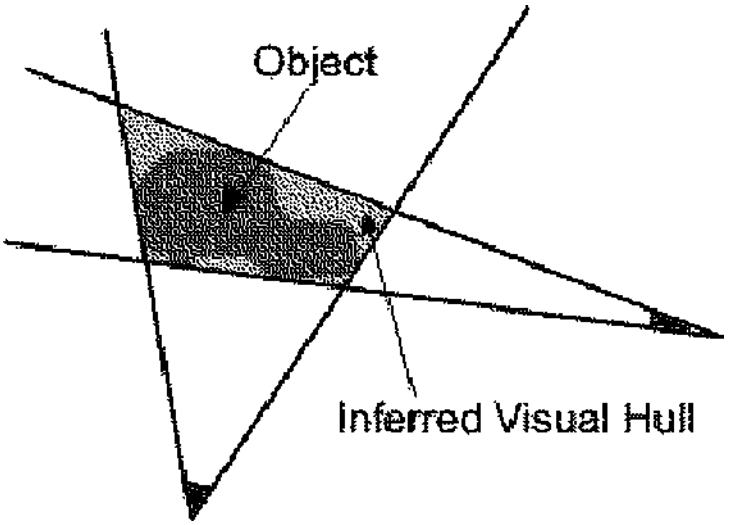



Рисунок 2.4 – Передбачувана видима оболонка

Видимою оболонкою називають найбільший об'єкт, чий силует з будь-якої точки огляду збігається з силуетом вихідного об'єкта з цієї ж точки. Силуетні методи в якості вихідних даних використовують кінцевий набір зображень, тому вони реконструюють «передбачувану видиму оболонку». Її можна уявити як перетин тілесних конусів, з вершиною в точці розташування камери, і перетинами – силуетами. Такі конуси називаються силуетними конусами.

Передбачувана видима оболонка має такі властивості:

– кожен об’єкт повністю міститься всередині будь-якої своєї

передбачуваної видимої оболонки;

– розмір (об’єм) передбачуваної видимої оболонки зменшується зі збільшенням кількості вихідних зображень.

За допомогою звичайного порогового фільтра яскравості (intensity) вони відокремлювали зображення фону від об'єкта. Морфологічна обробка отриманого бінарного зображення дозволяла визначити силует. В якості представлення моделі вони вибрали модифікацію воксельного – колонне представлення. Воксельний куб (рис. 2.4) задавався набором стовпчиків вокселів, перпендикулярних одній заданій площині.

Кожен стовпчик (колонна) в цьому випадку описується глибиною першого і останнього вокселя в стовпчику. Відрізки, що відповідають стовпчикам, проектувалися на вихідні силуети, визначалися точки перетину проекцій із силуетом, а потім стовпчики обрізалися – видалялася частина, що проектується поза силуетом (рис. 2.5).

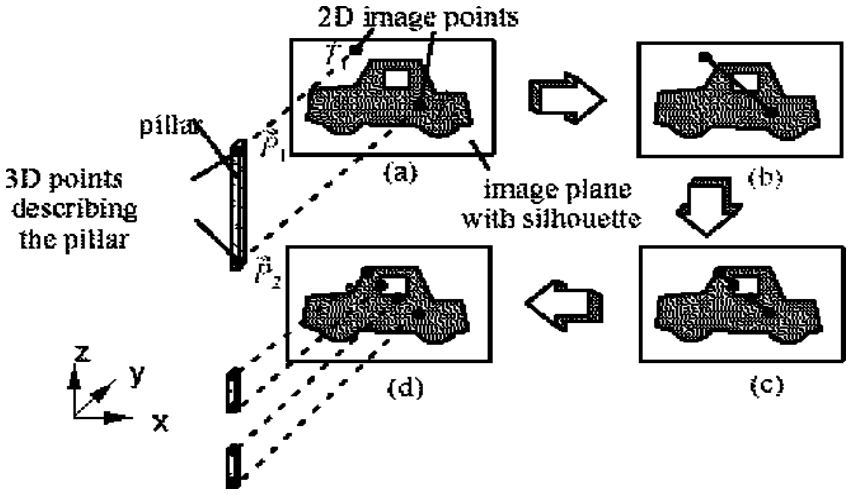



Рисунок 2.5 – Видалення частини воксельного стовпчика, що проектується за межі контуру об’єкта

Перевагою всіх силуетних методів є їхня потужність, адже вихідною інформацією для них виступають калібровані силуети. Поверхня об'єкта, який зображений на зображеннях, може не бути дифузною, а мати, наприклад, дзеркальні властивості.

Недоліків же у згаданих вище методів декілька. Головним недоліком є неможливість точного представлення форми об'єкта, може будуватися тільки видима оболонка об'єкта, форма якої в багатьох випадках відрізняється від форми об'єкта. По-друге, при використанні окремого воксельного представлення виникають труднощі з визначенням проекції вокселів на силуети під час роботи методу. Розміри вокселів можуть бути значними, і вони будуть перетинатися з межею силуетів. У цьому випадку при будь-якому виборі – прозорим або непрозорим оголошується оброблюваний воксель – форма об'єкта представляється з похибкою. Третій недолік полягає в тому, що ці силуетні алгоритми призначені тільки для визначення геометричної форми об'єкта, а не його текстури. Колір поверхні об'єкта необхідно розраховувати окремими методами.

Для кожного пікселя зображення із силуетом об’єкта зберігається список заповнених відрізків. Якщо піксель не входить до силуету (тобто належить до фону), цей список порожній. В іншому випадку список містить інтервали простору, що належать видимій оболонці об'єкта (рис. 2.6). Кожен інтервал являє собою частину телесного конуса з вершиною в точці камери та перетином-пікселем, тобто частину видимої оболонки, що проектується в даний піксель. Об'єднання всіх таких інтервалів дає нам дискретизацію видимого тіла для даної точки огляду. Кожен інтервал зберігається у вигляді пари точок (ближча і дальня межі), заданих глибиною і кольором. Вважається, що колір будь-якої точки інтервалу інтерполюється за кольорами граничних точок.

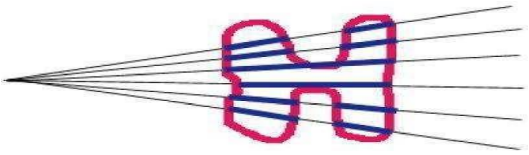


Рисунок 2.6 – Набір відрізків, що утворюють видиму оболонку на основі зображень

Видима оболонка на зображеннях будується виключно у просторі зображень, без створення будь-яких об’ємних структур. Для кожного пікселя силуету даного зображення будується промінь, що проходить через точку камери та центр пікселя. Цей промінь потім проектується на всі інші зображення. У кожному з них розраховуються точки перетину проекції та силуету. Знаючи калібрування кожної з камер за точками перетину проекції та силуету, можна визначити тривимірні координати точок перетину самого променя та видимої оболонки, відсортувати їх за глибиною та виділити інтервали, що належать видимій оболонці. Для прискорення алгоритму може використовуватися буфер проекцій, що зберігає вже спроектовані промені та точки перетину для них. Приріст у швидкості досягається за рахунок різниці в кількості можливих проекцій та кількості оброблюваних променів.

### 2.2.5 Колірне узгодження

Група методів «розфарбовування вокселів» базується на умові колірної узгодженості (color consistency), використовуючи це правило, можна визначити, чи лежить дана точка на поверхні об’єкта, чи ні (рис. 2.7). Припустимо, що всі поверхні спостережуваних об'єктів – дифузні. Нехай камери A і B спостерігають одну й ту саму точку в просторі C.

Позначимо за P (C, A) і P (C, B) пікселі на отриманих з камер A і B зображеннях, що відповідають точці C. Якщо C – лежить на поверхні деякого об'єкта, то кольори пікселів P (C, A) і P (C, B) приблизно рівні, тоді C називається узгодженою за кольором.

Якщо ж точка C – уявна точка в порожньому просторі, то кольори обох пікселів відповідають кольорам двох різних точок D і E, а отже, найімовірніше, будуть різними.

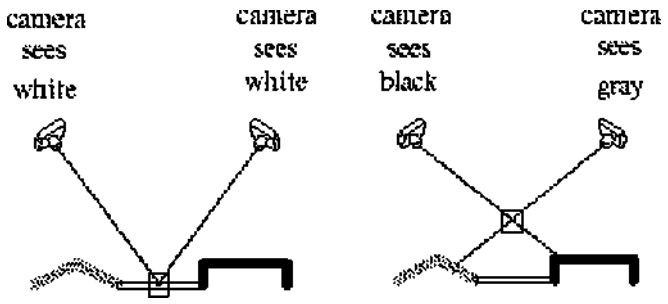



Рисунок 2.7 – Випадки дотримання та недотримання умови узгодження кольорів

Наразі всі методи відновлення моделей із використанням узгодження кольорів базуються на воксельному представленні та мають одну спільну ваду. Вона пов’язана з обробкою різких колірних переходів на поверхнях об’єкта, які часто зустрічаються в реальному світі. Вокселі, що відповідають таким колірним межам, найімовірніше, будуть проектуватися в пікселі, що не узгоджені за кольорами (рисунок 2.8). Для таких вокселів тест на узгодженість кольорів може видати негативний результат. Цю проблему можна вирішити за допомогою адаптивного зміни порогового значення, що збільшується, якщо воксель визнається неузгодженим тільки за пікселями окремих зображень.

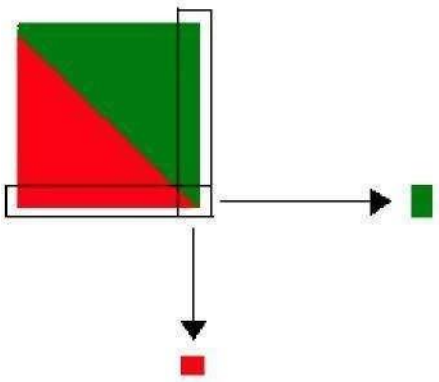


Рисунок 2.8 – Можлива помилка у поєднанні кольорівм [22]

Однак у деяких випадках, коли різкий колірний перехід збігається з кутом об’єкта, проблема ускладнюється. Хорошим прикладом цієї проблеми є моделювання звичайного кубика з різнокольоровими гранями. На зображеннях одного й того самого кута з різних боків він буде виглядати в абсолютно різних кольорах. У цьому випадку підвищення порогу вже не рятує ситуацію. Воксель, що відповідає куту, визнається неузгодженим і відкидається. Після цього, вже сусідні з ним вокселі можуть бути позначені як неузгоджені та видалені з моделі. Таким чином, будується некоректна модель об'єкта. Ця проблема не згадується в роботах з моделювання за умовою узгодження кольорів.

На проміжних етапах роботи цього алгоритму непрозорі вокселі, які ще не були проглянуті, можуть закривати один одного. Тому, щоб перевірити воксель на узгодження кольорів, спочатку потрібно визначити його видимість (тобто визначити ті зображення з вихідних, на яких він видно в даний момент). Ця процедура застосовується до кожного оброблюваного вокселя, тому вона повинна бути максимально оптимізована. Розрахунок видимості виявляється однією з найскладніших задач при розробці алгоритмів на основі узгодження за кольором, і для її вирішення пропонувалися різні підходи.

Якщо воксель, що проектується в даний піксель, позначався як узгоджений і непрозорий, то біт видимості для нього встановлювався в 1.

Якщо розбити такий великий воксель на кілька маленьких, то деякі з маленьких виявляться майже повністю заповненими. Тому всі сусідні з невирізаними вокселями знову додаються до моделі і позначаються як непрозорі. Така модифікована модель у низькій роздільній здатності направляється на подальшу обробку. Кожен непрозорий воксель зазвичай розбивається на 8 маленьких. Потім вони всі знову перевіряються на узгодженість кольорів. Отримана проміжна модель буде вихідною точкою для наступної ітерації алгоритму. Програма продовжує працювати доти, доки

не буде отримано модель у необхідній роздільній здатності. Такий підхід є розвитком силуетного методу і використовує узгодження кольорів.

Якщо ж розташувати камери довільно навколо сцени, то не існуватиме такого порядку обходу вокселів, який би гарантував незмінність видимості після перегляду вокселя. Тому необхідно переглядати всі вокселі кілька разів, поки видимість кожного вокселя не перестане змінюватися. У псевдокоді такий алгоритм запишеться наступним чином:

```
1 set all voxels opaque
2 loop {
3 AllVoxelsConsistent = TRUE
4 for every opague voxel v {
5 find the set S of input image pixels from which V is visible
6 if S has consistent color {
7 assign V the average color of all pixels in S
8 } else {
9 AllVoxelsConsistent = FALSE
10 set V to be transparent
11 }
12 }
13 if AllVoxelsConsistent = TRUE
14 quit
15 }
```

Якщо хоча б один воксель під час поточного перегляду видаляється з моделі, то видимість решти вокселів вважається зміненою, і модель потрібно переглянути ще раз.

Цей алгоритм працюватиме коректно, якщо жоден воксель, який має бути визнаний узгодженим у результуючій моделі, не буде видалений на попередніх етапах. У 1998 році Кутулакос сформулював умову монотонності міри узгодженості, при виконанні якої забезпечується коректність його роботи. Монотонність означає, що якщо множина вокселів була визнана

неузгодженою, то будь-яка їх надмножина теж буде неузгодженою. Оскільки алгоритм може тільки видаляти вокселі, але не додавати їх у сцену, то видимість вокселя може тільки підвищитися, тобто пікселі, з яких видно даний воксель у даний момент, обов'язково будуть тільки підмножиною тих пікселів, з яких він буде видимий у подальшому. Оскільки алгоритм не видаляє ті вокселі, які виявляться узгодженими за кольором у результуючій моделі, то кажуть, що процес видалення («вирізання») є консервативним. Крім того, Кутулакос і Сайтц довели, що знайдена модель міститиме в собі будь-яку модель даної сцени з узгоджених вокселів. Така модель називається фото-оболонкою.

Кутулакос і Сайтц описали реалізацію подібного алгоритму, який отримав назву «Різьблення у просторі» (Space carving). Для визначення узгодженості вокселів використовується звичайний алгоритм розфарбовування вокселів, причому в кожен момент часу переглядається один шар вокселів. Метод забезпечує перегляд шарів від ближнього до дальнього відносно камер, використовуючи в даний момент часу тільки зображення, отримані з камер, розташованих по один бік від перегляданої площини шару. Тому, коли воксель переглядається, ті з вокселів, які могли його затуляти для використовуваних камер, вже були переглянуті. Оскільки процес є консервативним, то множина невирізаних вокселів у даний момент часу буде надмножиною вокселів шуканої множини узгоджених вокселів.

Однак відновлене за методом «Різьблення у просторі» зображення може містити деякі вокселі, колір яких не узгоджений. Це відбувається через те, що під час перегляду вокселів не враховуються зображення з камер, розташованих по той бік площини шару, навіть якщо оброблюваний воксель на них видно.

Існує також варіант цього методу для погано відкаліброваних вихідних зображень, який отримав назву «Наближене різання у просторі» (approximate). При оцінці узгодженості вокселя за кольором метод досліджує колір не окремих пікселів, а кола з пікселів радіусом r у центрі з точкою

проекції вокселя. Якщо кольори таких кіл збігаються в зображеннях, то воксель визнається r-узгодженим і залишається, в іншому випадку він вирізається. Параметр r вибирається з урахуванням якості калібрування зображень: чим вища точність калібрування, тим менше може братися r. Відповідно, тим точніше наближення фото-оболонки може бути отримано.

Загалом було запропоновано два варіанти цього алгоритму – перший використовував буфери елементів, а другий – багатошарові буфери, різновид багатошарових зображень із глибиною (рис. 2.9). Ці структури використовувалися для обчислення видимості вокселів. Для кожного вихідного зображення будується одна з описаних структур. У буфері елементів для кожного пікселя зображення вказується воксель моделі, який є видимим у даному пікселі. У багатошаровому зображенні з глибиною записано відсортовані за глибиною всі вокселі, які проектуються в даний піксель. Таким чином у багатошаровому зображенні зберігається більше інформації, ніж у буфері елементів, що вимагає значно більше пам'яті. Буфер елементів і багатошарове зображення можуть бути отримані за допомогою візуалізації за методом стандартного z-буфера. Це може бути зроблено як програмно, так і за допомогою існуючого апаратного забезпечення. Видимість пікселів визначається наступним чином – переглядається воксель проектується на всі зображення, і якщо відповідні проекціям мітки в буфері елементів або багатошаровому зображенні збігаються з ідентифікатором вокселя, то він вважається видимим.

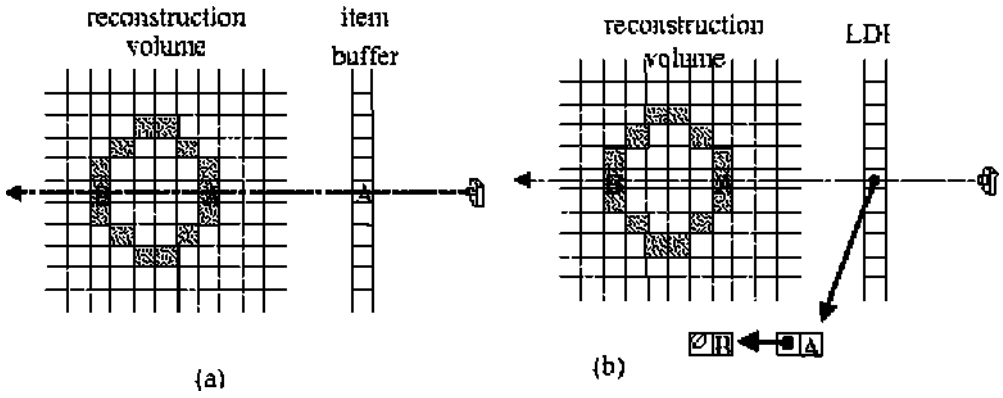



Рисунок 2.9 – Звичайний та багатошаровий буфер елементів [21]

З кожним видаленим вокселем видимість решти вокселів змінюється, тому застарілі структури мають бути перераховані. Однак, з огляду на консервативність процесу, буфер елементів може оновлюватися значно рідше, а застарілі буфери можуть використовуватися для перевірки узгодженості. На останній ітерації буфер елементів весь час залишається коректним, тому можна стверджувати, що і результуюча множина вокселів теж буде узгодженою. Зазвичай буфер елементів оновлюється перед черговим обходом усієї поточної множини непрозорих вокселів.

У випадку з багатошаровими зображеннями, при вирізанні вокселя, оновлення структури видимості відбувається дуже швидко. Достатньо лише видалити всі відповідні перші елементи у списках, а отже можна відразу ж її модифікувати після видалення чергового вокселя. Це основна перевага використання багатошарових зображень, що компенсує їхні потреби в пам'яті та великі часові витрати на побудову. Крім того, при використанні багатошарових зображень можна відразу визначити, видимість яких вокселів змінилася після модифікації, і можна одразу перевірити їхню узгодженість. Ефективного методу визначення, які вокселі стали краще видимими при використанні буферів елементів, поки не було придумано. Тому при використанні багатошарових буферів зазвичай потрібно значно менше проходів і перевірок на узгодженість.

На першому етапі кожен центр вокселя проектується на всі вихідні зображення, і визначаються кольори відповідних пікселів. Отримані кольори порівнюються для кожної можливої пари зображень. Якщо принаймні на двох зображеннях кольори узгоджуються, то це оголошується гіпотезою (рис. 2.10). Нова гіпотеза призначається вокселю. Узгодженість кольорів визначається шляхом розрахунку відстані між кольорами в просторі RGB. Цей процес повторюється для кожного вокселя. На цьому етапі ще немає відновленої моделі, є лише початковий воксельний паралелепіпед. Відповідно, немає й жодної інформації про видимість кожного вокселя, а

отже, багато гіпотез будуть хибними, не відповідатимуть кольорам поверхонь об’єкта.

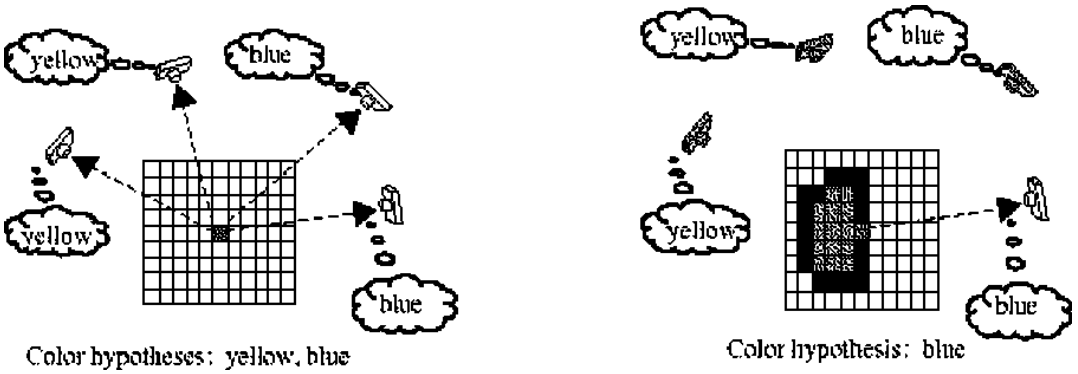



Рисунок 2.10 – Перевірка висунутих гіпотез щодо вокселя

Розрахунок видимості на другому етапі дозволяє відкинути хибні гіпотези. Для даної точки огляду обхід вокселів здійснюється у порядку, сумісному з розрахунком видимості. Кожен видимий воксель проектується на зображення, і колір пікселів, на які проектується центр вокселя (або набору пікселів – проекції всього вокселя), порівнюється з гіпотезами, що відповідають даному вокселю. Якщо вони не узгоджуються, то гіпотеза визнається помилковою і відбраковується. Якщо помилковими визнаються всі гіпотези для даного вокселя, воксель видаляється. Таке видалення вокселя змінює видимість інших вокселів. Алгоритм продовжує роботу, поки для отриманої проміжної моделі існують гіпотези, які можна визнати помилковими. Модель, отримана після завершення роботи, є фото-оболонкою вихідного об'єкта.

Цей метод дуже схожий на інші алгоритми розфарбовування вокселів, «Різьблення по простору» та «Узагальненого розфарбовування вокселів». Головна їхня відмінність полягає в тому, що в останніх методах рішення про видалення вокселя з моделі приймається на основі інформації з усіх вихідних зображень разом. У даному ж методі в поточний момент часу для відбракування гіпотез використовується лише одне із зображень. Це значно

спрощує розрахунок видимості, оскільки обхід моделі може відбуватися в порядку від ближнього до далекого для однієї камери. Тому можуть використовуватися дуже прості бітові карти видимості, що не вимагають багато пам'яті. Недоліком же є необхідність у зайвих обчисленнях для розрахунку вихідних гіпотез для всіх вокселів, включаючи й внутрішні, навіть ті, які в результуючій моделі ніколи не будуть видні. В інших методах, таких як у узагальненому розфарбовуванні, ці вокселі ніколи не будуть оброблятися. Крім того, оскільки для кожного вокселя зазвичай існує відразу кілька гіпотез, алгоритму потрібно в кілька разів більше пам'яті, ніж іншим методам на основі узгодження за кольорами.

Практично всі описані методи можуть ефективно застосовуватися тільки для відновлення відносно близько розташованих до камер моделей. Якщо спробувати застосувати їх для великих сцен, з безліччю віддалених від камер поверхонь, вихідний воксельний об'єм стає дуже великим. Для досягнення прийнятної точності знадобиться дуже висока його роздільна здатність, а отже, необхідно обробити гігантську кількість вокселів. Крім того, краще було б відновлювати моделі віддалених об'єктів з меншою, ніж у близько розташованих, роздільною здатністю. Відповідно, розмір одного вокселя повинен обиратися залежно від відстані від камери до об'єкта. У 2000 році Слебо запропонував деформувати воксельний простір таким чином, щоб великі сцени можна було відтворювати без обробки величезних масивів вокселів (рис. 2.11). Згідно з його ідеєю, весь воксельний простір розбивається на дві області: внутрішню та зовнішню. Деформація не зачіпає внутрішню область, тому об'єкти, близькі до камер, відтворюються із заданою точністю. Вокселі у зовнішній області деформуються згідно зі спеціальною функцією деформації, яка визначає їхні розміри залежно від відстані до внутрішньої області. Вокселі на зовнішній межі деформуються таким чином, що їхній об'єм стає рівним нескінченності. Незважаючи на те, що вокселі у зовнішній області мають різні розміри, воксельний простір все одно зберігає властивості тривимірної решітки. Використовуючи метод

узагальненого розфарбовування вокселів, автори зуміли відтворити модель складної зовнішньої (outdoor) сцени.

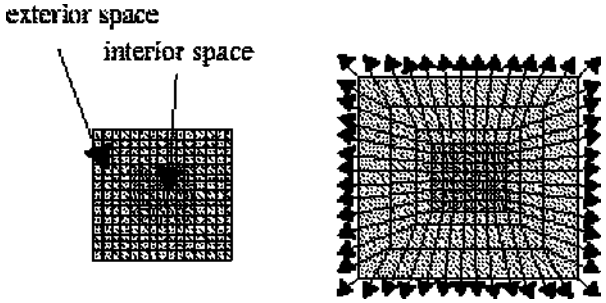



Рисунок 2.11 – Деформований воксельний куб

Усі описані методи можуть застосовуватися для відновлення моделей динамічних сцен шляхом послідовного застосування алгоритму для кожного моменту часу (для кожного кадру). Однак у цьому випадку жодним чином не враховується часова зв’язність (temporal coherence). У роботі під керівництвом Ведули було запропоновано новий метод розфарбовування вокселів, що оперує в 6-вимірному просторі, який складається з добутку двох послідовних 3-вимірних воксельних просторів. Кожна точка такого простору отримала назву хексель і складається з вокселя в момент часу t1 з першого простору та пов'язаного з ним іншого вокселя з другого простору в момент часу t1. Ідея методу полягала в тому, щоб одночасно відновлювати і модель об'єкта, і його рух на даний момент часу.

Для цього автори узагальнили поняття узгодженості за кольором для 6-вимірного простору і назвали його фото-узгодженість (photo-consistency). Гексель оголошується фото-узгодженим, якщо обидва вокселі, що його складають, проектуються в пікселі приблизно того ж кольору на всіх зображеннях, на яких вони видні. Автори також запропонували алгоритм для обходу такого 6-вимірного простору з метою видалення зайвих гекселів. Вони показали, що використання більш суворого визначення фото-узгодженості дозволяє видаляти й ті вокселі, які виявляються неузгодженими

за рухом. Модель відновлюється з вищою якістю, ніж при застосуванні звичайних алгоритмів окремо до кожного з кадрів.

## 2.3 Висновки

У другому розділі досліджено моделі та методи побудови тривимірної моделі навколишнього простору мобільного робота. Проведено порівняльний аналіз двох основних груп методів пасивної 3D-реконструкції: силуетних методів та методів на основі колірного узгодження.

З'ясовано, що силуетні методи (побудова видимої оболонки – visual hull) є обчислювально ефективними та не залежать від текстури об'єкта, проте вони не дозволяють відтворювати увігнуті елементи поверхні. Методи колірного узгодження (зокрема, алгоритми voxel coloring та Space Carving) дозволяють отримувати детальніші та фотореалістичні моделі, але є дуже чутливими до точності калібрування камер і вимагають значних обчислювальних ресурсів.

Для компенсації високої ресурсомісткості алгоритмів тривимірної реконструкції обґрунтовано доцільність використання сигнальних процесорів (DSP) з паралельною архітектурою обробки даних, що дозволить реалізувати побудову моделі простору в реальному часі.

# 3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖУВАНИХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ КРУГОВОГО ОГЛЯДУ

За результатами проведеного аналізу існуючих аналогів зроблено висновок, що вимогам, які висуваються до СТЗ кругового огляду робота-дослідника, найбільше відповідає СТЗ із системою орієнтації. Відповідно до цього, розробка подібної СТЗ є необхідним етапом побудови системи сенсоризації проектованого в студентському КБ робота-дослідника. Структурна схема СТЗ з СО наведена на рисунку 3.1.

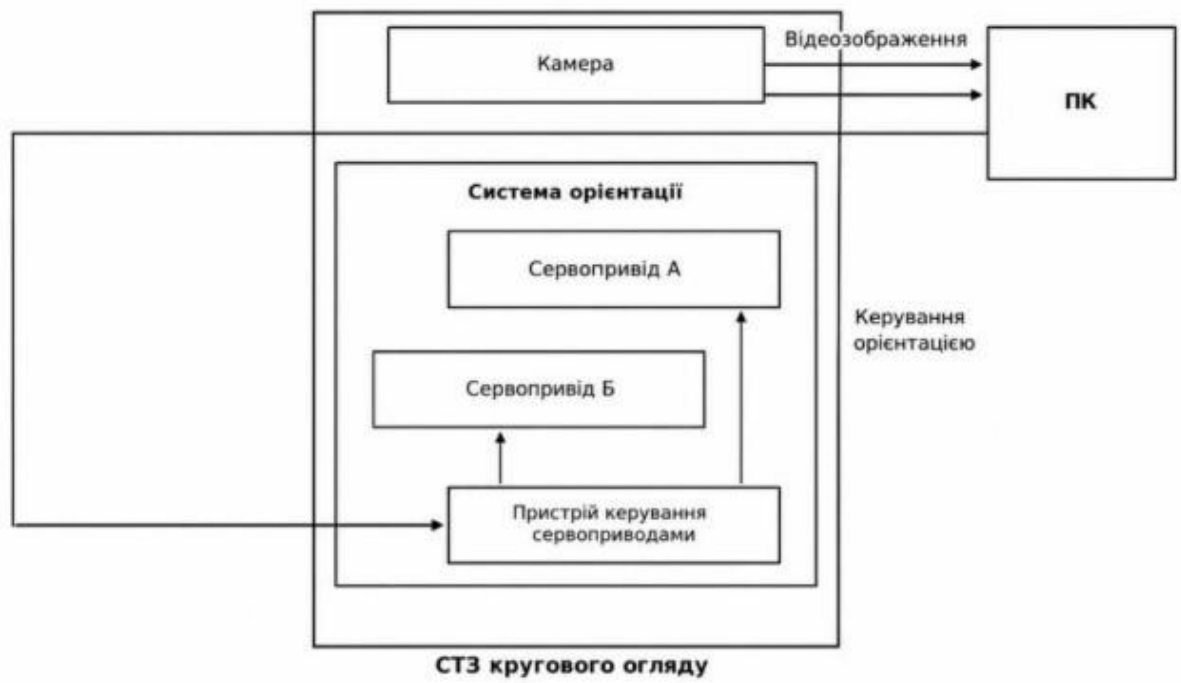



Рисунок 3.1 – Структурна схема СТЗ кругового огляду з системою орієнтації

Пристрій повинен забезпечувати поворот камери навколо 2-х перпендикулярних осей. Діапазон зміни кута повороту навколо кожної осі повинен становити не менше 180°. Похибка налаштування кута повороту не повинна перевищувати 1°. Швидкість позиціонування – не менше 2 рад/с.

Пристрій орієнтації повинен керуватися з ПК, причому необхідна можливість перегляду відеозображення з камери та одночасного керування

орієнтацією камери. Інтерфейс додатка повинен бути простим і зручним у використанні. Керування пристроєм орієнтації повинно здійснюватися через один з інтерфейсів передачі даних. Необхідно передбачити можливість використання пристрою в більш складних системах [23].

У результаті проведеної роботи створено діючий макет (рис. 3.2) СТЗ із пристроєм орієнтації, що забезпечує панорамування та нахил.

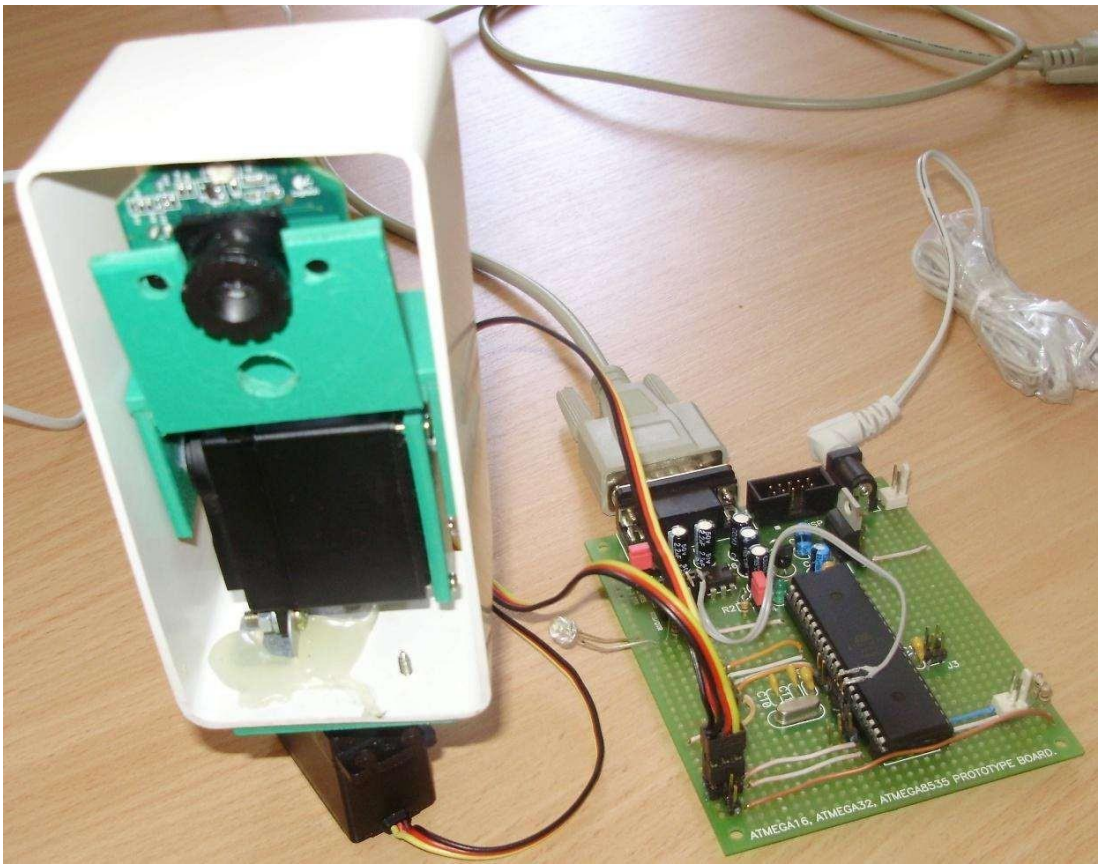



Рисунок 3.2 – Макет СТЗ із системою позиціонування

До складу макета входять:

– веб-камера Logitech як джерело відео;

– два сервоприводи Hitech HS-311;

– конструкція для кріплення сервоприводів і камери;

– пристрій керування на базі мікроконтролера ATmega32.

Істотним обмеженням макета системи кругового огляду є те, що область огляду являє собою півсферу. Причиною такого недоліку стало

обмеження кута повороту у використовуваних сервоприводах. Кут повороту може змінюватися в межах від $-\frac{\pi}{2}$ до $\frac{\pi}{2}$ радіан.

Детально описано протокол для керування пристроєм позиціонування через послідовний інтерфейс передачі даних RS-232, що дозволить інтегрувати розроблений пристрій у складніші системи.

Макет керується за допомогою програми для ПК, написаної в інтегрованому середовищі розробки Delphi 7. Програма дає змогу одночасно переглядати відеоінформацію та керувати орієнтацією камери.

## 3.1 Опис складових частин

### 3.1.1 Сервоприводи

Сервомотори, що використовуються в макеті HS-311 (рис. 3.3) виробництва фірми Hitec.




Рисунок 3.3 – Сервомотор HS-311

Характеристики сервомотора відповідно до даних, наданих виробником, наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики сервомотора HS-311

| Параметр | Значення параметра |
|---|---|
| Напруга живлення, В | 4,8 – 6,0 |
| Температурний діапазон, °С | $-20 – +60^0$ |
| Швидкість холостого ходу (напруга 4,8 В), об/с | 4,98 |
| Швидкість холостого ходу (напруга 6,0 В), об/с | 6,54 |
| Вихідний крутний момент (напруга 4,8 В), кг·см | 3,3 |
| Вихідний крутний момент (напруга 6,0 В), кг·см | 4,1 |
| Струм холостого ходу, мА | 150 |
| Струм у режимі простою, мА | 8 |
| Габарити (рисунок 3.4), мм | 40,6х19,8х36,6 |
| Вага, грам | 45,5 |

До складу сервомотора входить триполюсний двигун постійного струму, планетарний редуктор із пластиковими шестернями, потенціометр – датчик кута повороту вала сервомотора та схема керування.

Для підключення використовується триконтактний роз'єм, на який подаються сигнал керування (жовтий провід), напруга живлення (червоний провід) і «земля» (чорний провід). Розміри сервомоторів HS-311 наведені на рис. 3.4.

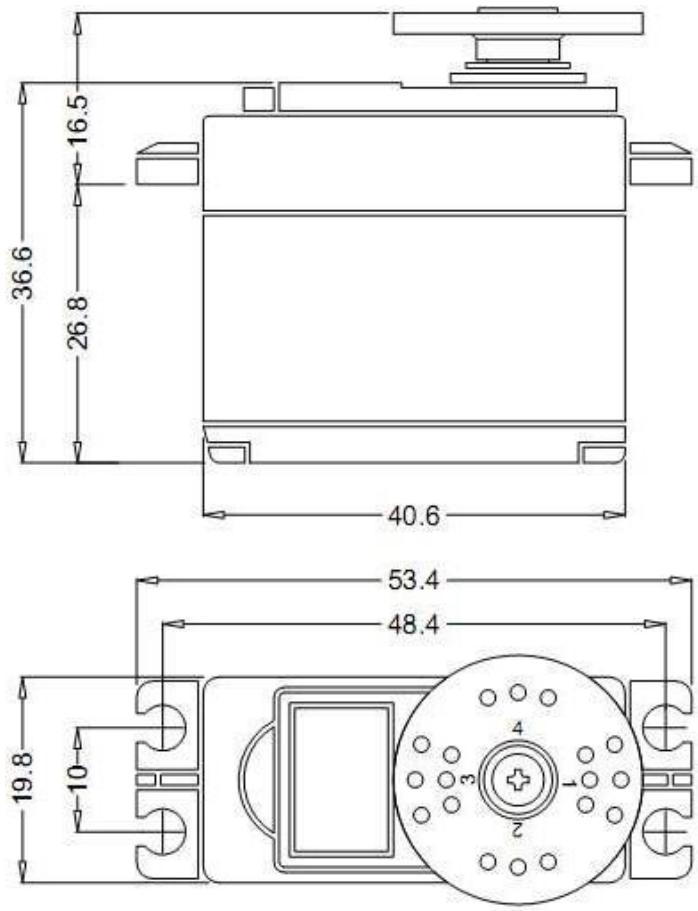



Рисунок 3.4 – Розміри сервомоторів HS-311

Регулювання кута повороту ($\varphi$) регулювання сервомотора здійснюється за допомогою задавання тривалості ($\tau$) керуючих імпульсів, що надходять із частотою 50 Гц (рис. 3.5).

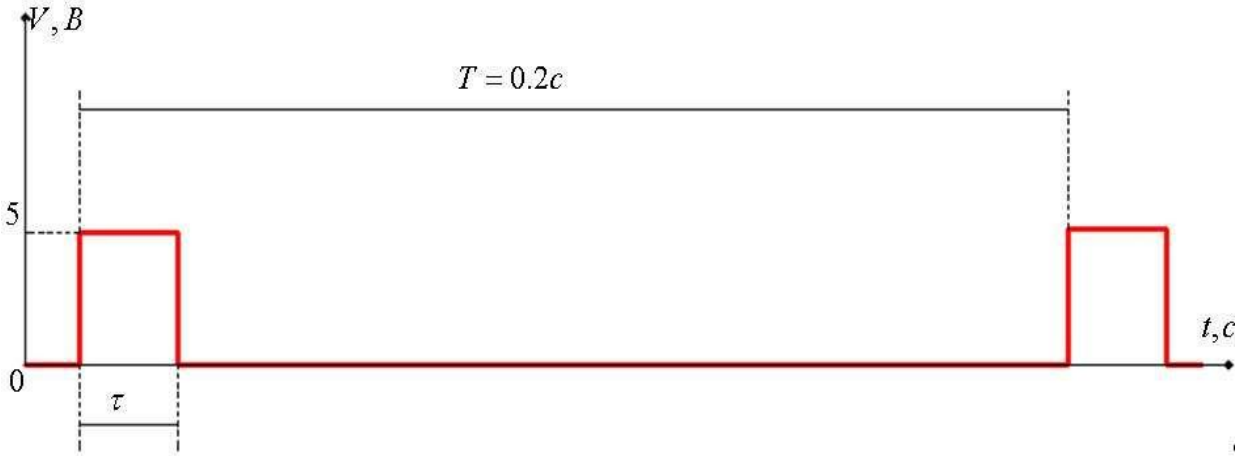



Рисунок 3.5 – Керуючий сигнал

Тривалість $\tau$ може змінюватися в межах, визначених умовою (3.1), що відповідає значенню кута повороту вала сервомотора в умові (3.2):

$$0{,}9 \geq \tau \geq 2{,}1, \tag{3.1}$$

$$-90 \geq \varphi \geq 90\ , \tag{3.2}$$

Таким чином, нульовому значенню кута повороту відповідає тривалість імпульсу, що дорівнює 1,5 мс.

Як показали експерименти, реальні діапазони тривалості керуючих імпульсів та відповідних їм значень кута повороту вала сервомотора значно відрізняються від наведених виробником; навіть для двох наявних сервомоторів ці значення не були ідентичними.

### 3.1.2 Характеристики мікроконтролерів AVR ATmega32

ATmega32 (рисунок 3.6) – це 8-бітний мікроконтролер на базі CMOS, побудований на розширеній архітектурі AVR RISC. Використовуючи команди, що виконуються за один машинний такт, контролер досягає продуктивності в 1 MIPS на робочій частоті 1 МГц, що дозволяє розробнику ефективно оптимізувати споживання енергії за рахунок вибору оптимальної продуктивності.

Ядро AVR поєднує розширений набір команд з 32 робочими регістрами загального призначення. Усі 32 регістри з'єднані з АЛУ, що забезпечує доступ до двох незалежних регістрів на час виконання команди за один машинний такт. Завдяки обраній архітектурі досягнуто найвищої швидкості коду і, відповідно, високої продуктивності, що в 10 разів перевищує швидкість відповідного CISC-мікроконтролера.

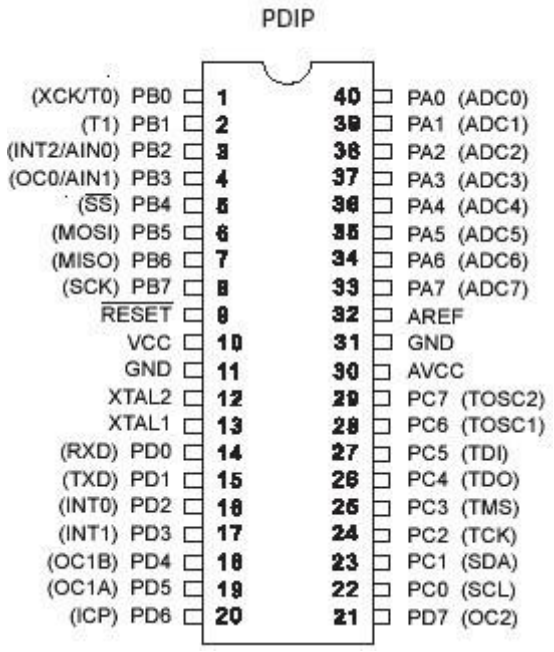



Рисунок 3.6 – Розташування виводів мікроконтролера ATmega32

ATmega32 містить 32 Кбайт внутрішньосистемної програмованої FLASH-пам'яті для програм, що підтримує читання під час запису, 1024 байти EEPROM, 2 Кбайт SRAM, 32 робочих регістри, JTAG-інтерфейс сканування внутрішніх регістрів, вбудовану систему налагодження та програмування, три гнучкі таймери-лічильники з модулем порівняння, внутрішні та зовнішні переривання, послідовний програмований інтерфейс USART, байт-орієнтований двопровідний послідовний інтерфейс, 8-канальний, 10-бітний АЦП з диференціальним програмованим підсилювачем (тільки для TQFP), програмований Watchdog-таймер з внутрішнім генератором, порт SPI та шість режимів енергозбереження. У режимі Idle ЦП не функціонує, тоді як функціонують USART, двопровідний інтерфейс, АЦП, SRAM, таймери-лічильники, порт SPI та система переривань. В ATmega32 існує спеціальний режим придушення шуму АЦП, при цьому в цілому в сплячому режимі функціонує тільки АЦП і асинхронний таймер для зменшення цифрових шумів перетворення. У режимі Викл. процесор зберігає вміст усіх регістрів, заморожує генератор тактових сигналів, призупиняє всі інші функції кристала до надходження зовнішнього переривання або зовнішньої команди Reset. У режимі очікування працює один тактовий

генератор, при зупинці решти функцій контролера. Завдяки швидкому переходу в нормальний режим роботи, в тому числі і за зовнішнім перериванням, ATmega32 успішно пристосовується до зовнішніх умов роботи і вимагає менше енергії, частіше перебуваючи в режимі Викл. У розширеному режимі очікування в робочому стані знаходяться основний генератор і асинхронний генератор.

Мікросхеми випускаються з використанням технології Atmel енергонезалежної пам'яті високої щільності. Вбудована ISP FLASH пам'ять дозволяє перепрограмувати область програмної пам'яті всередині системи через послідовний SPI інтерфейс стандартним програматором, або використовуючи завантажувальну програму з енергонезалежної пам'яті, що працює в ядрі AVR. Комбінація розширеної 8-бітної RISC-архітектури ЦП та твердотільної FLASH-пам'яті забезпечує ATmega32 високу гнучкість та економічну ефективність у вбудованих системах управління.

### 3.1.3 Інтерфейс RS-232

RS-232 – інтерфейс передачі інформації між двома пристроями на відстані до 20 м. Інформація передається по дротах із рівнями сигналів, що відрізняються від стандартних 5 В, для забезпечення більшої стійкості до перешкод. Асинхронна передача даних здійснюється з встановленою швидкістю при синхронізації рівнем сигналу стартового імпульсу.

Асоціація електронної промисловості (EIA) розробляє стандарти з передачі даних. Стандарти EIA мають префікс «RS». «RS» означає рекомендований стандарт, але зараз стандарти просто позначаються як «EIA»-стандарти. RS-232 був введений у 1962 році. Стандарт розвивався, і в 1969 році була представлена третя редакція (RS-232C). Четверта редакція з'явилася в 1987 році (RS-232D, відома також під назвою EIA-232D). RS-232 ідентичний стандартам МККТТ (CCITT) V.24/V.28, X.20bis/X.21bis та ISO IS2110.

У RS-232 використовуються два рівні сигналів: логічні 1 і 0. Логічну 1 іноді позначають MARK, логічну 0 – SPACE. Логічній 1 відповідають від'ємні рівні напруги, а логічній 0 – додатні.

Для з'єднання пристроїв використовується роз'єм DB 9, функції контактів якого наведено в таблицях 3.2 і 3.3.

На рисунку 3.7 зображено роз'єм DB 9, виконаний у вигляді розетки (Female Side, DB 9 Female).

Таблиця 3.2 – Рівні сигналів даних

| Рівень | Передавач | Приймач |
|---|---|---|
| Логічний 0 | Від +5 В до +15 В | Від +3 В до +25 В |
| Логічний 1 | Від–5 В до –15 В | |

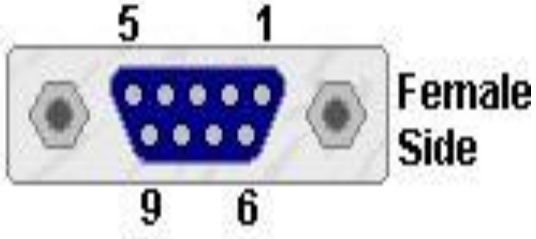



Рисунок 3.7 – Роз'єм DB 9 (розетка)

Таблиця 3.3 – Контакти роз'єму DB 9

| Контакт | Позначення | Напрямок | Опис |
|---|---|---|---|
| 1 | CD | <-- | Carrier Detect |
| 2 | RXD | <-- | Receive Data |
| 3 | TXD | --> | Transmit Data |
| 4 | DTR | --> | Data Terminal Ready |
| 5 | GND | --- | System Ground |
| 6 | DSR | <-- | Data Set Ready |
| 7 | RTS | --> | Request to Send |
| 8 | CTS | <-- | Clear to Send |
| 9 | RI | <-- | Ring Indicator |

Для підключення макета до ПК використовується трипровідний нуль-модемний кабель; схема підключення проводів такого кабелю наведена на рисунку 3.8.

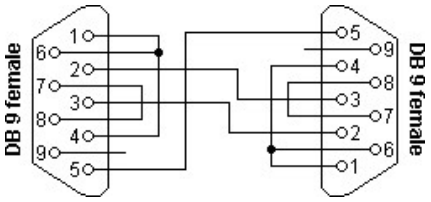



Рисунок 3.8 – Трипровідний нуль-модемний кабель

Довжина кабелю впливає на максимальну швидкість передачі інформації. Довший кабель має більшу ємність і, відповідно, для забезпечення надійної передачі – нижчу швидкість. Велика ємність призводить до того, що зміна напруги одного сигнального проводу може передатися на інший суміжний сигнальний провід. Максимальною відстанню зазвичай вважається 15 м, але це не встановлено в стандарті. При довжині кабелю, що дорівнює 1 метру, як у випадку з розробленим макетом, швидкість передачі даних може бути будь-якою.

При передачі по послідовному каналу контроль парності може бути використаний для виявлення помилок при передачі даних. При використанні контролю парності надсилаються повідомлення, що підраховують кількість одиниць у групі бітів даних. Залежно від результату встановлюється біт парності. Приймальний пристрій також підраховує кількість одиниць і потім звіряє біт парності. Для простоти реалізації, при зв'язку макета з ПК контроль парності не використовувався.

Сигнальна лінія може перебувати у двох станах: увімкнена та вимкнена. Лінія в стані очікування завжди увімкнена. Коли пристрій або комп'ютер хочуть передати дані, вони переводять лінію в стан вимкнено – це встановлення старт-біта. Біти відразу після старт-біта є бітами даних.

Стоп-біт дозволяє пристрою або комп'ютеру здійснити синхронізацію при виникненні збоїв. Наприклад, перешкода на лінії приховала старт-біт. Період між старт- і стоп-бітами є постійним, відповідно до значення швидкості обміну, кількості бітів даних і біта парності. Стоп-біт завжди увімкнений. Якщо приймач визначає вимкнений стан, коли повинен бути присутній стоп-біт, фіксується поява помилки.

Управління потоком дозволяє керувати даними, що передаються. Іноді пристрій не може обробити дані, що приймаються від комп'ютера або іншого пристрою. Пристрій використовує управління потоком для припинення передачі даних. Може використовуватися апаратне або програмне управління потоком. У нашому випадку використовувалося апаратне управління потоком, однак воно не може використовуватися повною мірою, оскільки для зв'язку застосовувався мінімальний нуль-модемний кабель.

## 3.2 Проектування пристрою позиціонування

### 3.2.1 Програмне забезпечення для створення тривимірної моделі

Основне призначення SolidWorks – це забезпечення наскрізного процесу проектування, інженерного аналізу та підготовки виробництва виробів будь-якої складності та призначення, включаючи створення інтерактивної документації та забезпечення обміну даними з іншими системами.

Програма SolidWorks® – це система автоматизованого проектування, що використовує звичний графічний інтерфейс користувача Microsoft® Windows®.

Цей простий у використанні інструмент дозволяє інженерам-проектувальникам швидко відображати свої ідеї в ескізі, експериментувати з елементами та розмірами, а також створювати моделі та детальні креслення.

Можливості системи:

− двонаправлена асоціативність моделі та креслення; управління моделлю та пошук елементів за допомогою дерева конструювання Feature Manager;

− можливість створення декількох варіантів виробу в єдиному файлі моделі;

− багатотілесні деталі; створення масивів елементів – кругових та лінійних, керованих таблицями та ескізами;

− моделювання поверхонь: обрізка, подовження та зшивання, перетворення замкнутого об’єму поверхонь у тверде тіло; вирізи та додавання матеріалу з використанням поверхонь;

− створення допоміжних площин, осей, координатних систем, кривих, ескізів, 3D-сплайнів;

− використання технологій Windows: контекстні меню, cut-and-paste, drag-and-drop.

Проектування збірок [24]:

− робота в контексті збірки; проектування «знизу вгору», «зверху вниз»;

− взаємне визначення положення деталей у складі збірки, автоз'єднання (SmartMales), автокріплення (SmartFasteners);

− спеціальний режим для роботи з великими збірками (десятки/сотні тисяч компонентів); полегшені збірки та підзбірки;

− кругові, лінійні та похідні масиви компонентів, вирізи та отвори як елементи збірки;

− об'єднання деталей збірки в одну, зварювання у збірці;

− можливість контекстної заміни компонентів, реструктуризація збірок (формування та розпуск підзбірок).

Оформлення креслень:

− автоматичне створення креслень на основі 3D-моделі: розрізи, перерізи (прості, ступінчасті та розгорнуті), місцеві види, ізометрія, шаблони

креслень із заданими видами;

− повна підтримка вимог ЄСКД; допуски та посадки з вбудованої бази даних;

− створення багатоаркушевих креслень, перенесення та копіювання видів з аркуша на аркуш; полегшені креслення;

− автоматичне відображення розмірів моделі, проставлення довідкових розмірів та іншої інформації (шорсткість, допуски відхилення форм, бази);

− налаштування на стандарти підприємства з використанням блоків, форматок, написів; автоматичне заповнення основного напису та специфікації (найменування, позначення, матеріал тощо);

− DWGEditor – спеціальна утиліта для редагування файлів у форматах DWG, DXF.

Процес створення моделі в SolidWorks починається з побудови опорного тіла та подальшого додавання або віднімання матеріалу. Для побудови тіла спочатку створюється ескіз конструктивного елемента на площині, який згодом перетворюється тим чи іншим способом на тверде тіло. SolidWorks надає користувачеві повний набір функцій геометричних побудов та операцій редагування. Основна вимога, що висувається системою до ескізу при роботі з твердими тілами, – це замкнутість та відсутність самоперетинів у контурі.

При створенні контуру немає необхідності точно дотримуватися необхідних розмірів, найголовніше на цьому етапі – задати положення його елементів. Потім, завдяки тому, що створюваний ескіз повністю параметризований, можна встановити для кожного елемента необхідний розмір. Крім того, для елементів, що входять до контуру, можуть бути задані обмеження на розташування та зв'язки з іншими елементами.

SolidWorks містить високоефективні засоби твердотільного моделювання, що ґрунтуються на поступовому додаванні або відніманні базових конструктивних тіл. Ескіз для отримання базового тіла може бути побудований на довільній робочій площині.

Типові інструменти для отримання базових тіл дозволяють виконати:

− видавлювання заданого контуру з можливістю вказівки кута нахилу утворюючої;

− обертання контуру навколо осі;

− створення твердого тіла, обмеженого поверхнею переходу між заданими контурами;

− видавлювання контуру вздовж заданої кривої;

− побудову фасок і заокруглень різного виду;

− побудову ухилів;

− створення різного типу отворів;

− отримання розгортки тіл рівномірної товщини.

Основні методи створення твердого тіла поєднують у собі також можливість комбінації всіх перерахованих способів як при додаванні матеріалу, так і при його знятті. Природний порядок роботи конструктора без зусиль дозволяє створювати складні твердотільні моделі, що складаються з сотень конструктивних елементів. При необхідності під час роботи можливе введення допоміжних площин та осей для використання в подальших побудовах.

Параметри всіх створених конструктивних елементів доступні для зміни, так що в будь-який момент роботи можна змінити довільний параметр ескізу або базового тіла і виконати потім повну перебудову моделі.

Крім створення твердих тіл, у SolidWorks існує можливість побудови різних поверхонь, які можуть бути використані як для допоміжних побудов, так і самостійно. Поверхні можуть бути імпортовані з будь-якої зовнішньої системи або побудовані тими ж способами, що й тверді тіла (видавлювання, обертання, перехід між контурами тощо). Допускається отримання зліпка будь-якої з поверхонь вже побудованого твердого тіла.

Режими візуалізації отриманої моделі дозволяють переглядати її каркасне або реалістичне зображення. Для підвищення якості тонованих

зображень можуть бути змінені фізичні характеристики поверхні деталі (текстури) та призначені додаткові джерела світла.

SolidWorks пропонує конструктору досить гнучкі можливості для створення вузлів і збірок. Система підтримує як створення збірки методом «знизу вгору», тобто на основі вже наявних деталей, кількість яких може сягати сотень і тисяч, так і проектування «зверху вниз».

Проектування збірки починається із завдання взаємного розташування деталей одна відносно одної, причому забезпечується попередній перегляд накладеного просторового зв'язку. Для циліндричних поверхонь можуть бути задані зв'язки концентричності, для площин – їх збіг, паралельність, перпендикулярність або кут взаємного розташування.

Працюючи зі збіркою, можна за потреби створювати нові деталі, визначаючи їхні розміри та розташування в просторі відносно інших елементів збірки. Накладені зв’язки дозволяють автоматично перебудовувати всю збірку при зміні параметрів будь-якої з деталей, що входять до вузла. Кожна деталь має матеріальні властивості, тому існує можливість контролю збираності збірки. Для проектування виробів, що отримуються за допомогою зварювання, система дозволяє об'єднати кілька деталей, що зварюються, в одну.

Використовувана в SolidWorks технологія OpenGL дозволяє конструктору практично миттєво отримати високоякісні тоновані зображення деталей або збірок, а також динамічно обертати їх у режимі реального часу. Причому все це доступно без встановлення на комп'ютер дорогих додаткових графічних прискорювачів.

Крім того, спеціальний додаток PhotoWorks дає можливість створювати фотореалістичні зображення побудованих об'єктів. Таким чином, рекламні зображення майбутнього виробу цілком можна підготувати ще до моменту його виготовлення. Для того, щоб представити виріб найбільш наочно (наприклад, під час підготовки презентаційного фільму), можна показати

деталі або збірки, що входять до його складу, розсіченими кількома площинами, залишивши при цьому незмінними їхні геометричні параметри.

Після того, як конструктор створив твердотільну модель деталі або збірки, він може автоматично отримати робочі креслення із зображеннями всіх основних видів, проекцій, перетинів і розрізів, а також із проставленими розмірами. SolidWorks підтримує двонаправлений асоціативний зв'язок між кресленнями та твердотільними моделями, так що при зміні розміру на кресленні автоматично перебудовуються всі пов'язані з цим розміром конструктивні елементи в тривимірній моделі. І навпаки, будь-яка зміна, внесена в твердотільну модель, спричинить автоматичну модифікацію відповідних двовимірних креслень. Для оформлення креслювально-конструкторської документації у повній відповідності до ЄСКД рекомендується використання SolidWorks.

### 3.2.2 Тривимірна модель

Створена в SolidWorks тривимірна модель пристрою (рис. 3.9) для позиціонування складається з 26 деталей. Конструкція дозволяє обертати окремі вузли навколо валів сервомоторів, що проходять крізь неї.

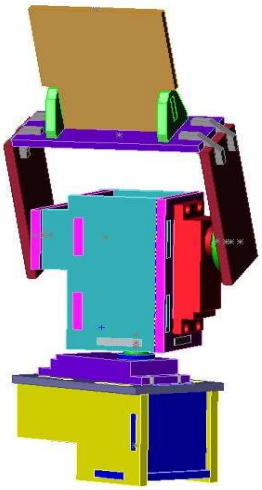


Рисунок 3.9 – Тривимірна модель орієнтувального пристрою

На основі створеної тривимірної моделі було згенеровано креслення [24] окремих деталей для їх виготовлення. Матеріалом для конструкції обрано пластик товщиною 3 мм, оскільки він є найбільш доступним і зручним в обробці.

Сконструйований пристрій можна легко зібрати, він не вимагає додаткового кріплення.

Можна змінювати висоту П-подібного кріплення для камери, що дозволить змінювати область огляду СТЗ.

## 3.3 Пристрій керування

Для макетування пристрою позиціонування розроблено плату (рис. 3.10) для мікроконтролера ATmega32, схема (рисунок Б.1) якої створена у безкоштовному програмному середовищі ExpressSCH, призначеному для розробки електричних схем та розводки друкованих плат.

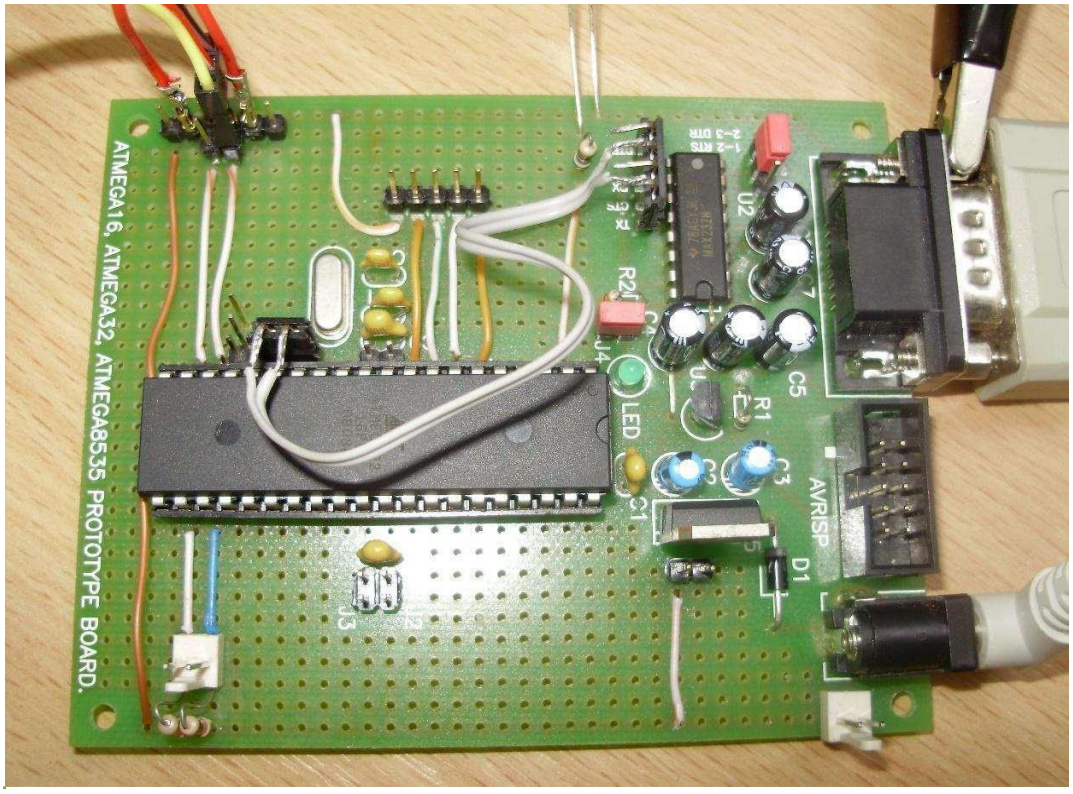



Рисунок 3.10 – Макетна плата для мікроконтролера AVR ATmega32

До складу макетної плати входять ланцюги живлення для напруг від 10 В до 35 В, мікросхема MAX232 для сполучення універсального послідовного інтерфейсу використовуваного мікроконтролера та інтерфейсу RS-232 і роз'єм для програматора. Використовуваний кварцовий резонатор дозволяє мікроконтролеру працювати на частоті 7,32 МГц. На плату встановлено роз'єм для підключення сервомоторів.

## 3.4 Протокол пристрою орієнтації

Прийом керуючих команд з ПК здійснюється через інтерфейс RS-232. Для цього на мікроконтролері використовувався вбудований модуль послідовної передачі даних. Формат команди, що приймається з ПК і обробляється програмою, наведено на рисунку 3.11. У структурі команди є два роздільники та два інформаційні поля. Перше поле – інформаційне «дія» – визначає, яку дію необхідно виконати.

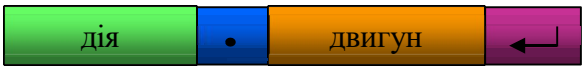



Рисунок 3.11 – Формат команди

Поле «дія» може приймати кілька значень. При введенні в це поле числа від 0 до 180 здійснюється позиціонування сервомотора на відповідний кут шляхом встановлення необхідного значення довжини імпульсу. Кут, на який встановиться сервомотор, можна обчислити за формулою (3.3):

$$\varphi = d - 90, \tag{3.3}$$

де $\varphi$ – кут, на який має встановитися сервомотор;

d – число, що вводиться в поле «дія».

Введення в поле «дія» символу і або о призведе відповідно до ввімкнення або вимкнення обраного сервомотора.

Увімкнення режиму налагодження здійснюється шляхом запису в поле «дія» символів de, у цьому випадку поля «двигун» і «введення» не потрібні. У режимі налагодження здійснюється виведення введених команд у вікні терміналу, безпосередньо після введення роздільників і виконання команди на мікроконтролері.

Перший роздільник «крапка» відокремлює частину команди, що визначає необхідну дію, від частини, в якій вибирається серводвигун, якому адресується команда.

Поле «двигун» визначає серводвигун, на якому буде виконуватися команда. Символи a і b відповідають першому та другому серводвигуну відповідно.

Другий роздільник визначає кінець повідомлення і розділяє команди між собою.

Після виконання команди мікроконтролер надсилає підтвердження, рядок «OK», після якого йдуть пробіл і додаткові дані про виконану дію. У додаткових даних першим полем завжди йде ідентифікатор двигуна A або B. Далі, через пробіл виводиться число, у разі позиціонування це ціле двобайтове число у шістнадцятковому представленні, що відповідає вмісту регістра OCR1x, де x – ідентифікатор серводвигуна. При виконанні команд увімкнення або вимкнення число, що йде після ідентифікатора сервоприводу, визначає поточний стан двигуна: 1 – увімкнено, 0 – вимкнено.

## 3.5 Програма для мікроконтролера

Програма для мікроконтролера розроблена в середовищі CodeVisionAVR. CodeVisionAVR – це крос-компілятор C, інтегроване середовище розробки (IDE – Integrated Development Environment) та

автоматичний генератор програм (CodeWizardAVR), розроблені для сімейства мікроконтролерів AVR фірми Atmel.

Програма є 32-бітовим додатком, який працює під операційними системами Windows 95, 98, NT 4, 2000 та XP.

CodeVisionAVR забезпечує виконання майже всіх елементів мови Сі, які дозволені архітектурою AVR [18], з деякими додатковими характеристиками, що реалізують переваги специфіки архітектури AVR.

IDE має програмне забезпечення вбудованого внутрішньосхемного програматора мікросхем AVR [17], який дозволяє автоматично передавати програми в мікроконтролерну мікросхему після успішної компіляції. Програмне забезпечення внутрішньосхемного програматора може працювати спільно з Atmel STK500/AVRISP/AVRProg, Kanda Systems STK200-H/300, Dontronics DT006, Vogel Elektronik VTEC-ISP, Futurlec JRAVRh та платою розробника MicroTronicsATCPU/Mcga2000.

Для налагодження розроблюваних систем, які використовують послідовний зв'язок, IDE має вбудований термінал.

Крім стандартних бібліотек C [20], компілятор CodeVisionAVR має бібліотеки для: алфавитно-цифровых LCD-модулей; шины I2C от Philips; температурного датчика LM75 от National Semiconductor; часов реального времени PCF8563, PCF8583 от Philips и DS1302, DS1307 от Dallas Semiconductor; протоколу I²C від Dallas Semiconductor; температурного датчика DS1820/DS18S2O від Dallas Semiconductor; термометра/термостата DS1621 від Dallas Semiconductor; EEPROM DS2430 та DS2433 від Dallas Semiconductor; SPI; управління живленням; затримок; перетворення коду Грея.

CodeVisionAVR також містить автоматичний генератор програм – CodeWizardAVR, який дозволяє за кілька хвилин написати весь код, необхідний для виконання таких функцій: налаштування доступу до зовнішньої пам'яті; ідентифікація джерела скидання чіпа; ініціалізація порту вводу/виводу; ініціалізація зовнішніх переривань; ініціалізація

таймерів/лічильників; ініціалізація сторожового таймера; ініціалізація UART та переривань, що керують буфером послідовного зв'язку; ініціалізація аналогового компаратора; ініціалізація АЦП; ініціалізація інтерфейсу SPI; ініціалізація шини I2C, температурного датчика LM75, термометра/термостата DSJ621 та годинника реального часу PCF8563, PCF8583, DS1302, DS1307; ініціалізація шини 1-Wire та температурного датчика DS1820/DS18S20; ініціалізація LCD-модуля.

Текст програми наведено в додатку В. Програма здійснює прийом керуючих команд з ПК та відповідно до них керує положенням сервомотора.

## 3.6 Моделювання пристрою керування

Моделювання пристрою керування здійснювалося в програмі Proteus Professional [17]. Proteus Professional – пакет програм для автоматизованого проектування електронних схем. Пакет являє собою систему схемотехнічного моделювання, що базується на моделях електронних компонентів, прийнятих у PSpice. Відмінною рисою пакету Proteus Professional є можливість моделювання роботи програмованих пристроїв: мікроконтролерів, мікропроцесорів, DSP тощо. Додатково до пакету Proteus Professional входить система проектування друкованих плат. Proteus Professional може симулювати роботу таких мікроконтролерів: 8051, ARM7, AVR, Motorola, PIC, Basic Stamp. Бібліотека компонентів містить довідкові дані.

Підтримує МК: PIC, 8051, AVR, HC11, ARM7/LPC2000 та інші поширені процесори. Понад 6000 аналогових і цифрових моделей пристроїв. Працює з більшістю компіляторів та асемблерів. PROTEUS VSM дозволяє дуже достовірно моделювати та налагоджувати досить складні пристрої, в яких може міститися кілька мікроконтролерів одночасно і навіть різних сімейств в одному пристрої. Моделювання електронної схеми не абсолютно точно повторює роботу реального пристрою. PROTEUS містить величезну

бібліотеку електронних компонентів. Відсутні моделі можна створити. Якщо компонент не програмований – то це легко: потрібно на сайті виробника завантажити його SPICE-модель і додати у відповідний корпус.

PROTEUS має унікальні можливості:

– USBCONN – цей інструмент дозволяє підключитися до реального USB-порту комп'ютера;

– COMPIM – цей компонент дозволяє віртуальному пристрою підключитися до РЕАЛЬНОГО COM-порту вашого ПК.

Створена модель (рисунок 3.12) реалізує всі функції керуючого пристрою, а також дозволяє керувати (рисунок 3.13) віртуальними сервомоторами з терміналу, який також моделюється системою. Також виводиться вікно віртуального осцилографа для перевірки правильності формування керуючих імпульсів.

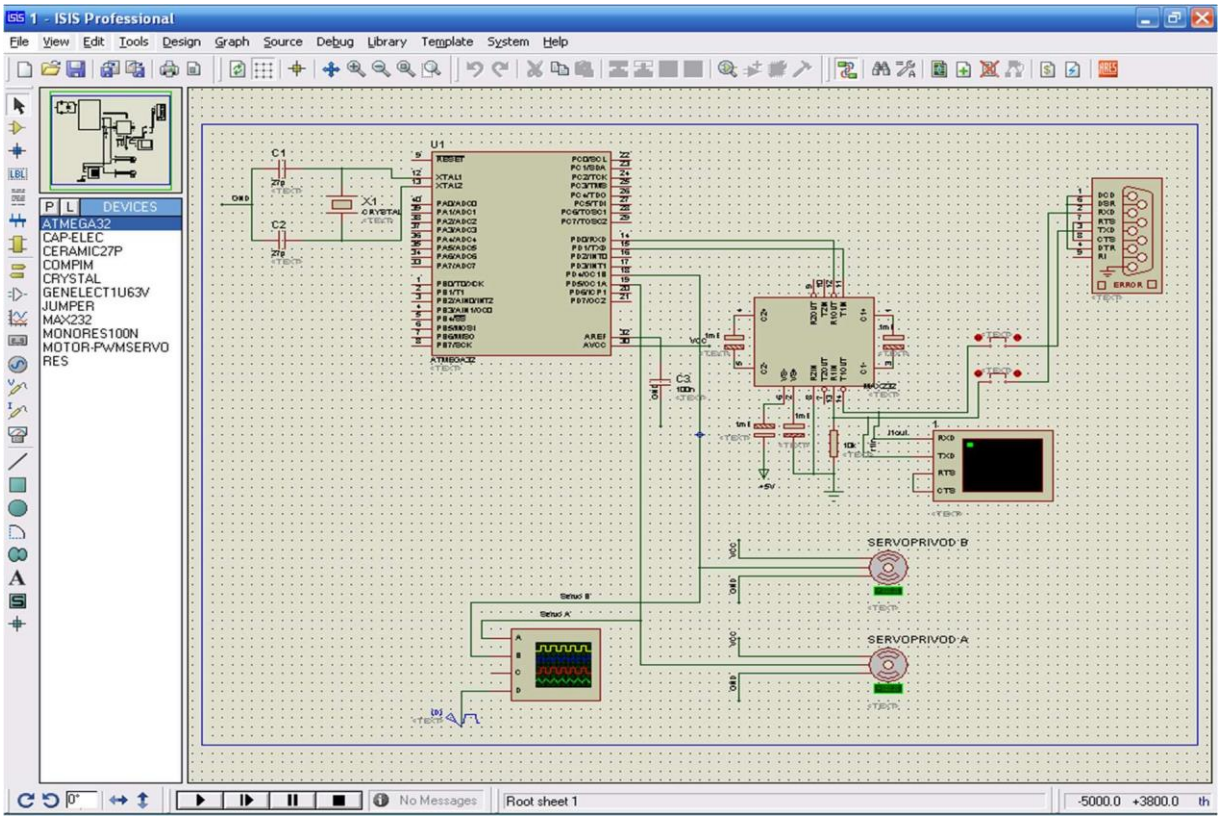



Рисунок 3.12 – Модель у програмі Proteus Professional

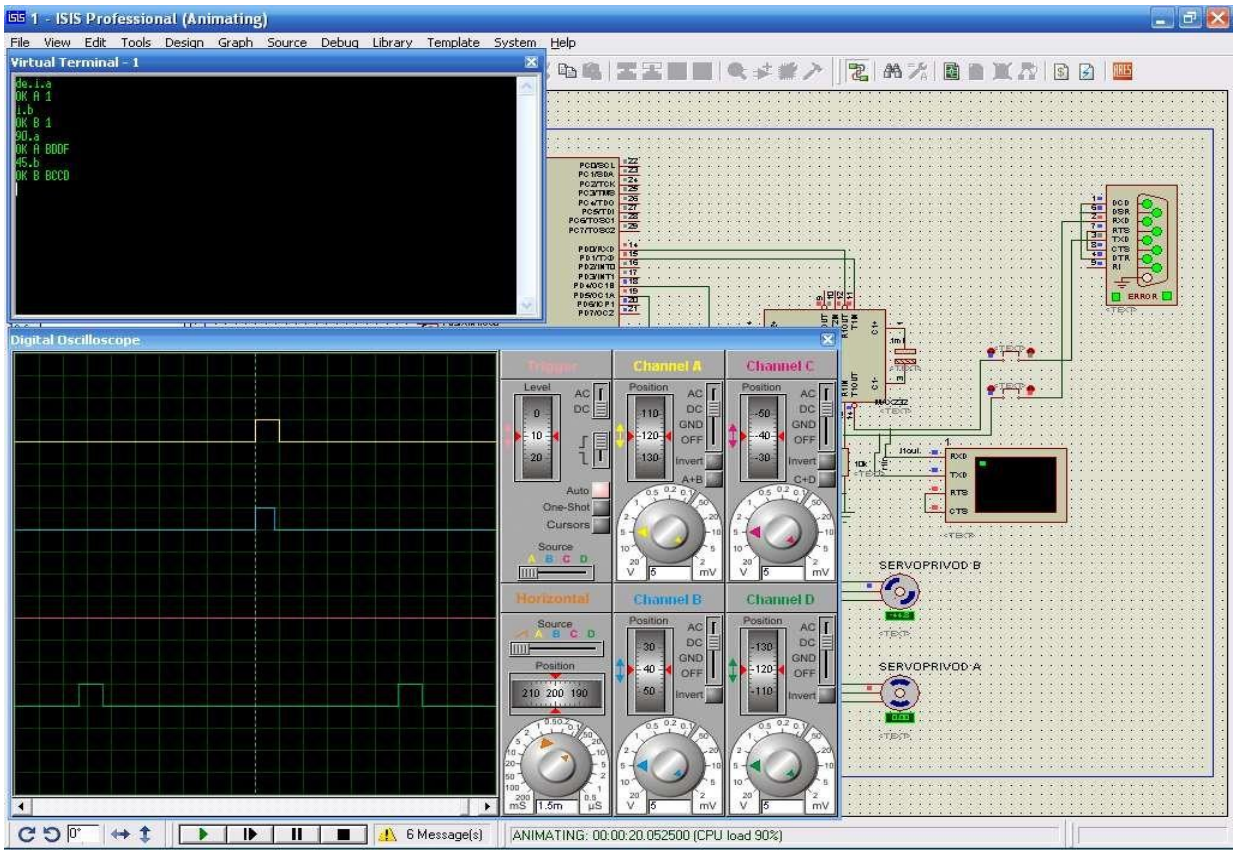



Рисунок 3.13 – Функціональна модель керуючого пристрою

## 3.7 Програма керування пристроєм орієнтації для ПК

### 3.7.1 Основні можливості

Створена програма (рисунок 3.14) для ПК дає змогу переглядати відеозображення, що надходить із камери, а також керувати розробленим пристроєм орієнтації. Користувач може вибрати послідовний порт зі списку доступних у системі, до якого підключено пристрій керування [18]. Автоматично створюється список усіх підключених джерел відеозображення, що максимально спрощує налаштування бажаного зображення. Програма дозволяє використовувати модулі (відео, орієнтація) за необхідності в будь-якому поєднанні. Створений інтерфейс керування пристроєм орієнтації надає можливість швидкого та зручного позиціонування камери за допомогою миші та двовимірної координатної сітки, що являє собою плоску розгортку області видимості.

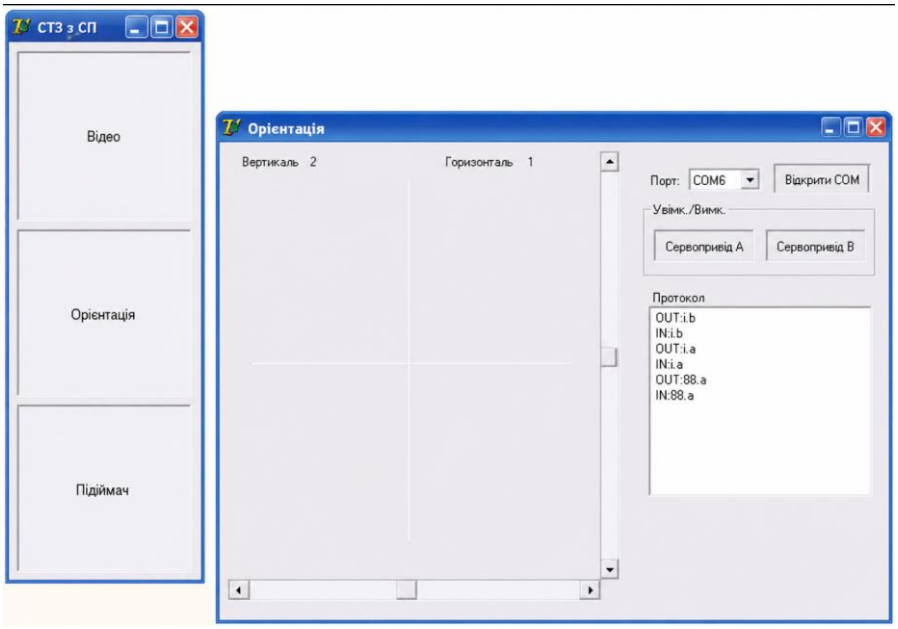



Рисунок 3.14 – Програма керування СТЗ із системою орієнтації

Програма працює під управлінням операційної системи Windows, мінімальні вимоги до ПК: COM-порт, веб-камера, процесор Pentium IV або сумісний, 256 МБ оперативної пам’яті, 10 МБ на жорсткому диску, DirectX 9.0.

Текст основних модулів програми наведено в додатку Г.

### 3.7.2 Посібник користувача

Програма запускається за допомогою виконуваного файлу «STZControll.exe». Відразу після запуску з’являється головне вікно програми (рисунок 3.15), яке дозволяє активувати основні функції програми. Кнопки «Відео» та «Орієнтування» працюють як перемикачі й мають два стани.




Рисунок 3.15 – Головне вікно програми

«Відео» – вікно програми (рисунок 3.16) для перегляду відеоданих, що надходять з камери.




Рисунок 3.16 – Форма «Видео»

«Орієнтування» – зображення форми (рисунок 3.17) управління двоосьовим пристроєм позиціонування.

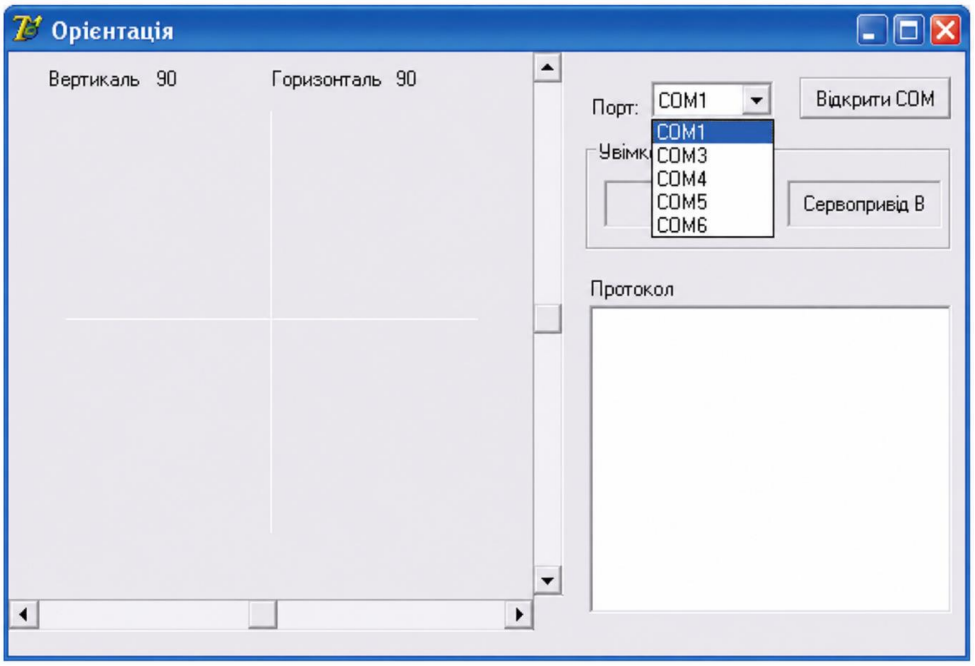



Рисунок 3.17 – Форма «Орієнтація»

Меню «Пристрої» форми «Відео» (рисунок 3.16) надає користувачеві можливість вибрати пристрій відеозапису, з якого надходитиме відеозображення. Перелік доступних пристроїв визначається автоматично під час запуску програми.

На формі «Орієнтація» розміщені елементи, що виконують функції керування пристроєм орієнтації, у таблиці 3.4 наведено опис елементів керування.

Область форми, обмежена смугами прокрутки та виділена зеленим кольором, слугує для швидкого встановлення кутових координат обох сервомоторів за допомогою маніпулятора «миша». Після натискання лівої кнопки миші програма відстежує положення покажчика в межах виділеної області та встановлює значення кутів повороту серводвигуна відповідно до цих даних.

Таблиця 3.4 – Опис елементів керування форми «Орієнтація»

| Елемент керування | Опис |
|---|---|
| Порт | Вибір комунікаційного порту зі списку доступних у системі, до якого підключено пристрій. |
| Відкрити COM | Кнопка-перемикач; натиснутий стан кнопки означає, що вибраний COM-порт відкрито. Перемикання стану здійснюється натисканням кнопки. |
| Група «Увімк./Вимк.» | Містить кнопки «Серво А» і «Серво Б», що вмикають і вимикають сервомотори А і Б відповідно. |
| Протокол | Текстове поле, що відображає протокол прийому-передачі даних через послідовний порт. |
| Вертикальна та горизонтальна панелі прокрутки | Встановлюють значення кута повороту сервомоторів А та Б відповідно. |
| Вертикаль | Поточне значення кута повороту сервомотора А. |
| Горизонталь | Поточне значення кута повороту сервомотора Б. |

Форми можна приховати за допомогою засобів Windows або повторно натиснувши відповідну кнопку в головному вікні програми.

## 3.8 Експериментальні дані

Моделювання пристрою керування та сервомоторів у програмі Proteus Professional показало, що схема пристрою та програма для мікроконтролера задовільно виконують передбачені функції. Похибка позиціонування в моделі склала ±0,1º.

Однак після складання пристрою, програмування мікроконтролера та підключення сервомоторів виявилося, що програма, написана відповідно до технічних характеристик, наданих виробником сервомоторів, абсолютно не

справляється зі своїми завданнями. Відсутня відповідність між заданими та реальними значеннями кутів повороту серводвигуна. Після внесення змін до програми, за її допомогою були проведені вимірювання тривалості керуючих імпульсів для кутів повороту, рівних –90º, 0º та 90º. Результати вимірювань відрізнялися для різних сервоприводів, що призвело до необхідності вводити в програму розрахунок параметрів роботи генератора імпульсів, незалежний для кожного сервоприводу. Результати вимірювань наведено в таблиці 3.5. Похибка реальної системи орієнтації склала 0,5º.

Таблиця 3.5 – Результати вимірювань тривалості керуючих імпульсів

| Кут повороту, º | –90 | 0 | 90 |
|---|---|---|---|
| $\tau$ (сервопривідА), с | 0,0005923 | 0,0015628 | 0,0025333 |
| $\tau$ (сервопривідБ), с | 0,000566 | 0,00154585 | 0,0025257 |

Під час роботи програмного забезпечення для ПК було помічено, що при швидкій передачі керуючих команд, приблизно 20 разів на секунду, мікроконтролер не завжди правильно інтерпретує команду, що пов’язано з тим, що приймальний буфер не встигає повністю очиститися до надходження нової команди. Для усунення цього недоліку введені затримки при передачі команд, що дорівнюють 0,2 секунди, а також перевірка виконання команди шляхом очікування надходження відповіді від мікроконтролера. До отримання відповіді від МК ніяких команд не надсилається.

Проведено ряд випробувань, результати яких наведено в таблиці 3.6. На підставі отриманих даних можна зробити висновок, що розроблена система технічного зору кругового огляду робота-дослідника повною мірою відповідає вимогам технічного завдання.

Таблиця 3.6 – Результати випробувань

| Параметры | Вимоги ТЗ | Отриманий результат | Відповідність ТЗ |
|---|---|---|---|
| Швидкість обертання, об/хв | 1 | 2,5 – 3 | Відповідає |
| Відстань до об’єктів, м | Не більше 6 | 4,5 – 7 | Відповідає |
| Кут огляду, º | 40 | 40 | Відповідає |
| Кут повороту у вертикальній площині, º | –90 – +90 | –90 – +90 | Відповідає |
| Напруга живлення, В | 12 | 12 | Відповідає |
| Максимальна потужність, Вт | 10 | 10 | Відповідає |

## 3.9 Правила техніки безпеки у залі ПК

Електроживлення залу ПК, обладнаного персональними комп'ютерами IBM PC/AT, здійснюється від трифазної мережі змінного струму з частотою 50 Гц (49,3 Гц) та напругою 220 В із глухозаземленою нейтраллю.

Захист персоналу ВЦ від ураження електричним струмом, відповідно до ГОСТ 12.1.019-79, здійснюється за допомогою захисного відключення електроживлення у разі пробою ізоляції струмопровідних ланцюгів на корпус. З цією метою корпуси ПЕВМ та периферійного обладнання з'єднуються через штепсельні розетки з нульовим проводом мережі живлення [25].

В якості захисного пристрою використовується автоматичний вимикач на вході ОП-6 УХЛ4 1П20 380/220В (63 А): при збільшенні струму навантаження понад 63 А відключається живлення. Основний принцип вибору автомата полягає в тому, щоб значення сили струму, на яке розрахований автомат, перевищувало збільшене втричі сумарне значення струму навантаження всіх споживачів.

Потужність споживачів: один комп'ютер розрахований максимум на 200 Вт при одночасній роботі монітора, миші, дисковода, принтера,

жорсткого диска. А кожна розетка розрахована на ~1000 Вт. Виходячи з того, що одночасно можуть працювати 3 ПК, потужність споживачів – 600 Вт, то достатньо однієї розетки. Щит встановлюється зазвичай у найбезпечнішому місці – біля дверей. Корпус щита заземлений.

Потужність, що споживається монітором, – 40 Вт, електроживлення здійснюється від блоку живлення системного блоку, напруга 12 В постійного струму величиною 4 А.

Для електроосвітлювальної проводки обрано провід марки АПВ, перерізом 2,5 мм², спосіб прокладки – прихований. В якості світильників використовуються люмінесцентні лампи [25].

Небезпечним фактором для працівників та обладнання залу ПК є статична електрика. Розрядні струми статичної електрики найчастіше виникають під час дотику обслуговуючого персоналу до будь-якого з елементів ЕОМ. Такі розряди не становлять небезпеки для людини, проте можуть призвести до виходу з ладу ЕОМ та стати непрямою причиною нещасного випадку. Згідно з ГОСТ 12.1.045-84 допустимі рівні напруженості електростатичних полів не повинні перевищувати 20 кВ протягом 1 години. Для зниження величин зарядів статичної електрики, що виникають у залі ПК, покриття технологічної підлоги слід виконувати з одношарового полівінілхлоридного антистатичного лінолеуму марки АСН. До загальних заходів захисту від статичної електрики в ОЦ можна віднести загальне та місцеве зволоження повітря.

Для персоналу ОЦ небезпечним є високий рівень електромагнітного випромінювання монітора. Основна небезпека електромагнітного випромінювання полягає в тому, що морфологічні зміни, які відбуваються в організмі під дією цього фактора, здатні накопичуватися. Проте вони є зворотними за умови усунення впливу випромінювання або покращення умов праці. Розрізняють два основні способи захисту від електромагнітного випромінювання:

а) збільшення відстані між випромінювальним пристроєм і захищуваним об’єктом;

б) зменшення сили струму в провіднику або залежної від неї потужності випромінювання.

Перший спосіб у даних умовах є неефективним, оскільки монітор є засобом візуального спостереження, і його віддалення на значну відстань від оператора є недоцільним [25].

Однак непряме зменшення потужності випромінювання може бути досягнуте за допомогою застосування спеціальних пристроїв, які повністю поглинають, відбивають або в необхідній мірі послаблюють передану енергію на її шляху.

Стосовно персональних комп’ютерів найбільш ефективним є захисний екран, який являє собою заземлену пластину з металізованого скла (або дрібнокомірчасту сітку), що кріпиться на лицьовій панелі монітора. Встановлений захисний екран поглинає не менше 98% електромагнітного випромінювання. Тип використовуваного екрана – DE АЗФ–3А.

Слід зазначити, що встановлений захисний екран також запобігає накопиченню статичної електрики.

## 3.10 Висновки до розділу

У третьому розділі було успішно реалізовано програмно-апаратну частину системи технічного зору кругового огляду для робота-дослідника.

Було розроблено та створено тривимірну модель пристрою позиціонування в системі SolidWorks, що складається з 26 деталей, а також виготовлено діючий лабораторний макет на базі мікроконтролера AVR ATmega32 та сервоприводів Hitech HS-311. Керування пристроєм реалізовано з ПК через послідовний інтерфейс зв'язку RS-232 за допомогою розробленого програмного забезпечення у середовищі Delphi 7.

Результати моделювання схеми пристрою в Proteus Professional та проведені експериментальні дослідження діючого макета підтвердили високу працездатність системи та точність позиціонування камери (похибка не перевищує 0,5°). Розроблена система повністю відповідає всім вимогам технічного завдання і може бути використана на мобільних робототехнічних комплексах.

# ВИСНОВКИ

У результаті проведеного аналізу систем технічного зору кругового огляду можна виділити такі характеристики. Для системи на основі конічного дзеркала:

– переваги: постійний круговий огляд; відсутність рухомих частин; одна камера;

– недоліки: необхідність складної попередньої обробки зображення; високі вимоги до якості дзеркальної поверхні (відсутність дефектів, забруднення); неоднорідне значення роздільної здатності по площі зображення (ближче до центру конуса зменшується до критичних значень); відсутність можливості налаштування чіткості зображення (неможливо використовувати додаткову оптику); наявність мертвих зон у верхній та нижній площинах огляду.

Таким чином, подібну СТЗ доцільно застосовувати в системах, що потребують визначення відстані та напрямку до обмеженої кількості типів об’єктів, наприклад під час навігації за маяками, вирішення транспортних задач в умовах складських приміщень.

Для СТЗ із системою орієнтації для отримання образу навколишнього простору необхідний час, тривалість якого визначається швидкодією системи панорамування. Ця часова затримка є основним недоліком подібних систем кругового огляду. Найменший час затримки досягається при обертанні системи панорамування з постійною швидкістю.

До переваг можна віднести можливість використання оптики для корекції зображення, можливість довільної орієнтації камери для отримання зображення необхідної області, відсутність сліпих зон.

СТЗ із панорамуванням та нахилом можуть застосовуватися в робототехнічних системах, де допускається затримка в отриманні інформації про навколишній простір у декілька секунд. Наприклад, це може бути робот-

дослідник, до завдань якого входить періодичний огляд навколишнього середовища, або роботи-першопрохідці для інших планет, а також усі системи, у яких круговий огляд здійснюється за потребою.

Розроблена модель СТЗ з множиною мікрокамер має такі характеристики:

– переваги: постійний контроль робочого простору будь-якої конфігурації; можливість отримання множини зображень одного об’єкта для подальшої реконструкції тривимірної моделі;

– недоліки: висока ресурсоємність необхідних обчислень; висока вартість системи; обмеження, що накладаються на оптику для мікрокамер.

Великі вимоги до обчислювальних ресурсів при обробці зображення з множини камер можуть бути виконані при використанні багатопроцесорної системи на основі DSP-процесорів. Проведений аналіз пропозицій виробників сигнальних процесорів дозволив сформувати методологію вибору пристрою за основними критеріями.

Виконаний аналіз методів реконструкції об’єктів виявив сильні та слабкі сторони існуючих методів створення тривимірних моделей із набору зображень або відеопотоку. Дані методи можуть використовуватися для СТЗ з множиною мікрокамер, що дозволить отримувати досить точні моделі. Також можливе використання алгоритмів реконструкції для СТЗ із системою орієнтації (СО); у цьому випадку набір зображень отримується за рахунок зміни орієнтації камери або положення мобільного робота.

У результаті проведеного аналізу технічних рішень, що застосовуються для побудови СТЗ з круговим оглядом для використання в роботі-досліднику, обрано систему з пристроєм орієнтації. Таке рішення зумовлене тим, що за відсутності недоліків, властивих альтернативним рішенням, система повною мірою задовольняє висунуті вимоги, а саме:

– надає можливість огляду як усього робочого простору, так і постійного контролю окремої його області;

– при використанні аналогічних, що застосовуються в розробці приводів, забезпечує отримання панорамного огляду на 360° навколишнього простору за 2 с та огляду півсфери за 5 с.

Розроблена система орієнтації для камери, що складається з двох сервомоторів, конструкції кріплення, плати керування та програми для ПК, дозволяє отримати панорамне зображення навколишнього простору на 180° за 1 с, що відповідає швидкості повороту у вертикальній та горизонтальній площинах, рівній 2 рад/с. Максимальна споживана потужність системи позиціонування становить 8 Вт при напрузі живлення 12 В. У процесі створення макета розробленої системи було створено тривимірну модель конструкції кріплення в програмі SolidWorks та набір креслень для окремих деталей, а також виконано моделювання керуючого пристрою на основі мікроконтролера ATmega32 у програмі Proteus Professional, що підтвердило працездатність обраного рішення.

Проведено експериментальні дослідження, результати яких наведено в таблиці 2.9. Відповідно до отриманих даних можна зробити висновок, що вимоги технічного завдання виконані в повному обсязі.

Для подальшого розвитку пристрою можна запропонувати встановлення системи орієнтації на підіймальний механізм. Така конструкція може успішно застосовуватися в роботах для різноманітних змагань, що регулярно проводяться у світі, або в роботі-інспекторі для обстеження складських приміщень.

# ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Проектування мобільних маніпуляційних роботів : монографія / І. Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, В. В. Євсєєв та ін. ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2022. – 427 с.

2. Nevliudov I., Yevsieiev V., Maksymova S., Demska N., Kolesnyk K., Miliutina O. Mobile Robot Navigation System Based on Ultrasonic Sensors, 2023 IEEE XXVIII International Seminar/Workshop on Direct and Inverse Problems of Electromagnetic and Acoustic Wave Theory (DIPED), Tbilisi, Georgia, 2023, pp. 247-251

3. Хасанов Д. С. Дослідження систем технічного зору кругового огляду// «Автоматизація та приладобудування» ADED-2026. – Харків, 2026. – Випуск 1. – С. 198-208.

4. Невлюдов І. Ш., Євсєєв В. В., Гурін Д. В. Технічне та програмне забезпечення розробки малогабаритного мобільного робота : монографія. – Кривий Ріг : КФК ДНП «Державний университет «Київський авіаційний інститут», 2025. – 355 с.

5. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. – К. : Держстандарт України, 2016. – 29 с.

6. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної і заочної форми навчання спеціальності 151 – Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології [Електронний ресурс] / упоряд.: І. Ш. Невлюдов, О. І. Филипенко, О. В. Токарєва, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. – Харків : ХНУРЕ, 2023. – 760 Kb.

7. Указ Президента України No722/2019 «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року». – Режим доступу: https://www.president.gov.ua/documents/7222019-29825.

8. Shi H., Li J., Li Z. A distributed strategy for cooperative autonomous robots using pedestrian behavior for multi-target search in the unknown environment // Sensors. – 2020. – Vol. 20, No. 6. – P. 1606

9. Fan, J., Wang, X., Zhou, C., Ou, Y., Jing, F., & Hou, Z. (2023). Development, calibration, and image processing of underwater structured light vision system: A survey. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 72, 1-18.

10. Paijens, A. F. M., Huang, L., & Al-Jumaily, A. M. (2021). Measurement of the positions of light sensors on a mobile frame being tracked with a lighthouse localization system. Sensors and Actuators A: Physical, 331, 112979.

11. Saha, P., Sluse, D., Wagner, J., & Williams, L. L. (2024). Essentials of Strong Gravitational Lensing. Space Sci. Rev., 220(arXiv: 2401.04165), 12.

12. Rehman, N. U. (2022). Hemispherical photographs: A review of acquisition methods and applications in the context of urban energy and environment assessments. ASME Open Journal of Engineering, 1, 010801.

13. Assadsangabi, R., Maralani, P., Chen, A. F., Loevner, L. A., & Mohan, S. (2022). Common blind spots and interpretive errors of neck imaging. Clinical Imaging, 82, 29-37.

14. Won Han, S., Min Kim, H., Kim, H. S., Hong, S. Y., Jang, M. G., & Lee, D. H. (2026). Development of an Ackermann steering robot platform with dual visual odometry and pan-tilt perception system. International Journal of Advanced Robotic Systems, 23(2), 17298806261438165.

15. Shahria, M. T., Sunny, M. S. H., Zarif, M. I. I., Ghommam, J., Ahamed, S. I., & Rahman, M. H. (2022). A comprehensive review of vision-based robotic applications: Current state, components, approaches, barriers, and potential solutions. Robotics, 11(6), 139.

16. Cirstea, M., Benkrid, K., Dinu, A., Ghiriti, R., & Petreus, D. (2024). Digital electronic system-on-chip design: Methodologies, tools, evolution, and trends. Micromachines, 15(2), 247.

17. Guo, H., Liu, L., Han, L., Luo, Y., Guo, Y., Han, Y., ... & Wu, G. (2024, July). Porting and Optimization of the Ipopt for the FT-M6678 Platform. In Proceedings of the 2024 4th International Conference on Artificial Intelligence, Automation and High Performance Computing (pp. 158-164).

18. Priya, P. K., & Ramaswamy, A. S. (2022). A design of special purpose double sampling plan of type dsp (0, 1) using fuzzy parameter. South East Asian Journal of Mathematics and Mathematical Sciences, 18(02), 319-330.

19. Wu, P., He, T., Zhu, H., Wang, Y., Li, Q., Wang, Z. (2022). Next-generation machine vision systems incorporating two-dimensional materials: progress and perspectives. InfoMat, 4(1), e12275.

20. Chen, L. C., Le, M. T., & Lin, C. J. (2019, July). Robot-based 3-D machine vision using circular-feature normal estimation and multi-dimensional image fusion. In 2019 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM) (pp. 248-253). IEEE.

21. Tani, S., Ruscio, F., Bresciani, M., Caiti, A., & Costanzi, R. (2022). Stereo vision system for autonomous ship hull inspection. IFAC-PapersOnLine, 55(31), 375-380.

22. Sanjeewani, P., Neuber, G., Fitzgerald, J., Chandrasena, N., Potums, S., Alavi, A., & Lane, C. (2024). Real-time personal protective equipment non-compliance recognition on AI edge cameras. Electronics, 13(15), 2990.

23. Stelmakh, N., Mastenko, I., Sulima, O., & Rudyk, T. (2023). Features of the implementation of computer vision in the problems of automated product quality contro. Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska, 13.

24. Stelmakh, N., Mastenko, I., Sulima, O., & Rudyk, T. (2023). Features of the implementation of computer vision in the problems of automated product quality contro. Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska, 13.

25. Сучасні підходи до забезпечення безпеки праці при роботі з роботами /Стиценко Т.Є, М.В. Бобков/ Сучасна наука сьогодення: досвід і

тенденції, Міжнародна науково-теоретична конференція, секція 11, Пожежна та цивільна безпека, Сінгапур, Республіка Сінгапур, 21.02. 2021 с.119-1202. Зниження екологічних ризиків водних технічних рідин/ В.В. Березуцький, Н.Л. Березуцька. 4-а Міжнародна науково-технічна Інтернет-конференція «Інноваційний розвиток ресурсозберігаючих технологій та раціональне використання природних ресурсів». Збірник тез. – Петрошані, Румунія: 2021, 64-66 с. (Видавництво УНІВЕРСІТАС),. – 238 с.

26. Комплекс навчально-методичного забезпечення навчальної дисципліни "Безпека праці в індустрії ІТ- технологій" підготовки освітнього рівня бакалавр усіх спеціальностей та усіх напрямів університету [Електронний ресурс] / ХНУРЕ; розроб.: Т. Є. Стиценко, Г. В. Пронюк, І. І. Хондак. – Харків, 2024. – 171 с.