

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії
(повна назва)

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

_____ (позначення документа)

Дослідження інформаційно-контрольної системи безпілотних апаратів

_____ (тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи ЕППм 18-1
Сухарев Р.М.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 171 Електроніка
(код і повна назва спеціальності)

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

Освітня програма «Електронні прилади та пристрої»
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Стрілкова Т.О.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри _____
(підпис)

Бондаренко І.М.
(прізвище, ініціали)

2020 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії
(повна назва)

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв
(повна назва)

Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 171 «Електроніка»
(код і повна назва)

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

Освітня програма «Електронні пристрої та системи»
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Сухарєву Роману Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОНТРОЛЬНОЇ СИСТЕМИ БЕЗПЛОТНИХ АПАРАТІВ»

затверджена наказом по університету від 16 квітня 2020 р. № 505 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ червня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

Діапазон робочих довжин хвиль: оптичний діапазон, радіохвилі

Освітленість: 300 лк

Порогова освітленість сенсору: 3.2 лк

Робочі довжини хвиль: $\lambda=8-12$ мкм; $\lambda=555$ нм; $\lambda=3.2$ мм

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

1 Огляд систем виявлення перешкод

2 Методи виявлення перешкод системами виявлення перешкод

3 Фізичні принципи роботи систем виявлення перешкод

4 Розробка системи виявлення перешкод

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) _____

1. Схеми: схема електрична структурна (1 шт) _____

2. Слайди: титульний слайд (1 слайд), мета та актуальність роботи (2 слайди), огляд систем виявлення перешкод (1 слайд), методи виявлення перешкод системами виявлення перешкод (2 слайди), фізичні принципи роботи систем виявлення перешкод (5 слайда), розробка системи виявлення перешкод (2 слайди), висновки (2 слайди) _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Інформаційно-тематичний пошук та огляд літературних джерел	16.04.20	Виконано
2	Дослідження	01.05.20	Виконано
3	Виконання чисельних розрахунків характеристик	15.05.20	Виконано
4	Аналіз розрахунків та параметрів	25.05.20	Виконано
5	Оформлення пояснювальної записки	31.05.20	Виконано
6	Оформлення графічних та демонстраційних матеріалів	05.06.20	Виконано
7	Проходження нормоконтролю і отримання рецензії	10.06.20	Виконано
8	Підготовка та захист атестаційної роботи	15.06.20	Виконано

Дата видачі завдання _____ 2020 р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. Стрілкова Т. О.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка атестаційної роботи магістра містить: 81 сторінка, 37 рисунків, 4 таблиці, 2 додатки, 27 джерел.

ДРОН, БЕЗПЛОТНИК, СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ, СТЕРЕОКАМЕРА, РАДАР, ІНФРАЧЕРВОНІЙ СЕНСОР, УЛЬТРАЗВУКОВИЙ СЕНСОР, БІНОКУЛЯРНИЙ ЗІР, СВІТЛО.

Об'єкт дослідження – процес виявлення перешкоди.

Предмет дослідження – залежність дальності виявлення від атмосферної передачі.

Мета роботи – розробка системи, яка дозволять збільшити здатність виявлення перешкод і дальність виявлення перешкод в несприятливих погодних умовах з урахуванням атмосферного поглинання та розсіювання.

Метод дослідження – аналіз літератури, аналіз подібних систем, комп'ютерне моделювання.

У дипломному проекті розглянуті існуючі системи виявлення перешкод, методи виявлення перешкод, фізичні принципи роботи систем виявлення перешкод, розроблена система виявлення перешкод в несприятливих погодних умовах з урахуванням атмосферного поглинання та розсіювання.

ABSTRACT

The explanatory note of the master's attestation work contains: 81 pages, 37 figures, 4 tables, 2 appendices, 27 sources.

DRONE, UAV, DETECTION SYSTEM, STEREO CAMERA, RADAR, INFRARED SENSOR, ULTRASONIC SENSOR, BINOCULAR VISION, LIGHT.

The object of study – the identifying process of an obstacle.

The subject of research – the dependence of the detection range on atmospheric transmission.

The purpose of the work is to develop a system that will increase the ability to detect obstacle and the detection range of obstacles in adverse weather conditions, taking into account atmospheric absorption and scattering.

Research method – literature analysis, analysis of similar systems, computer modeling.

The diploma project considers the existing obstacle detection systems, interference detection methods, physical principles of obstacle detection systems, developed an obstacle detection system in adverse weather conditions, taking into account atmospheric absorption and scattering.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	8
ВСТУП	9
1 ОГЛЯД СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ПЕРЕШКОД	10
1.1 Система виявлення перешкод БПЛА	10
1.2 Монокулярна система виявлення повітряних об'єктів	13
1.3 Система виявлення перешкод на автомобілі	15
1.4 Система виявлення перешкод транспортного засобу	19
1.5 Система виявлення перешкод інтегрована у дрон	22
2 МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ПЕРЕШКОД СИСТЕМАМИ ВИЯВЛЕННЯ ПЕРЕШКОД	26
2.1 Метод виявлення перешкод ультразвуковим сенсором	26
2.2 Методи виявлення перешкод радаром	28
2.3 Методи виявлення перешкод стереокамерою	31
2.4 Методи підвищення здатності виявлення перешкод	33
2.5 Формули дальності виявлення перешкод	35
3 ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ РОБОТИ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ПЕРЕШКОД	37
3.1 Фізичні принципи дії систем виявлення перешкод	37
3.2 Ослаблення різних видів випромінювання в залежності від погодних умов і поглинання атмосферою	44
4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ПЕРЕШКОД	50
4.1 Розрахунок дальності виявлення перешкоди різними видами випромінювання	50
4.2 Розробка структурної схеми системи виявлення перешкод	58
4.3 Принцип роботи системи виявлення перешкод	59
ВИСНОВКИ	61

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	63
ДОДАТОК А	66
ДОДАТОК Б	67

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

2D – 2-dimensional

3G – third generation

CFAR – constant false alarm rate

CMOS – complementary metal-oxide-semiconductor

DVS – dynamic vision sensors

FoV – field of view

GPS – Global Positioning System

IMU – Inertial Measurement Unit

MMW – millimeter waves

NEI – noise equivalent irradiance

RANSAC – random sample consensus

ROI – region of interest

SNR – signal-to-noise ratio

RGB – red-green-blue

RSSI – received signal strength intensity

SVM – support vector machine

Wi-Fi – Wireless Fidelity

БПЛА – безпілотний літаючий апарат

ІЧ – інфрачервоний

ВСТУП

Сучасний світ постійно змінюється, що веде до розробки нової або удосконалення уже існуючої техніки. В наші дні дуже популярним є розробка рішень конструктивних і програмних для літаючих апаратів, таких як дрони і квадрокоптери, які усе більше і більше інтегруються не тільки в наш побут, але й використовуються на рівні держави.

Доставка товарів (Amazon, наприклад), допомога фермерам, оцінка збитку від катастроф, боротьба з браконьєрами, розмінування площ, дослідження природних катаклізмів, гуманітарна допомога та допомога при стихійних лихах, охорона площ, відеозйомка різних заходів – це найвідоміші способи використання дронів.

На даний момент відомі такі типи керування дронами: автопілотування, керування безпосередньо за допомогою оператора та керування, де поєднані обидва способи керування. Часто дронам доводиться літати на значній відстані від оператора, що унеможлиблює безпосереднє візуальне відстеження дрону оператором. У таких випадках, відстеження потенційних перешкод та загроз беруть на себе системи зору та сенсорні системи. Адже саме від них залежить безпека дрону під час польоту. Дальність виявлення потенційних перешкод є дуже важливим параметром системи, так як від нього залежить вчасне реагування системи на перешкоду.

Є декілька причин, які погіршують здатність вчасно помітити перешкоду. Серед них: несприятливі погодні умови та атмосферне поглинання і розсіювання. Це по різному впливає на системи зору та сенсорні системи, оскільки вони базуються на різних методах виявлення перешкод і принципах реалізації цих методів. Кожен має свої переваги та недоліки, а тобто є більш відповідним певним умовам, й потребує вдосконалення відносно інших умов. Тому модернізація або розробка принципово нового рішення у виявленні перешкод є актуальною на сьогоднішній день темою.

1 ОГЛЯД СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ПЕРЕШКОД

1.1 Система виявлення перешкод БПЛА

Т. В. Сюєн у свої патентній роботі [1] описує систему виявлення перешкод (рис. 1.1).

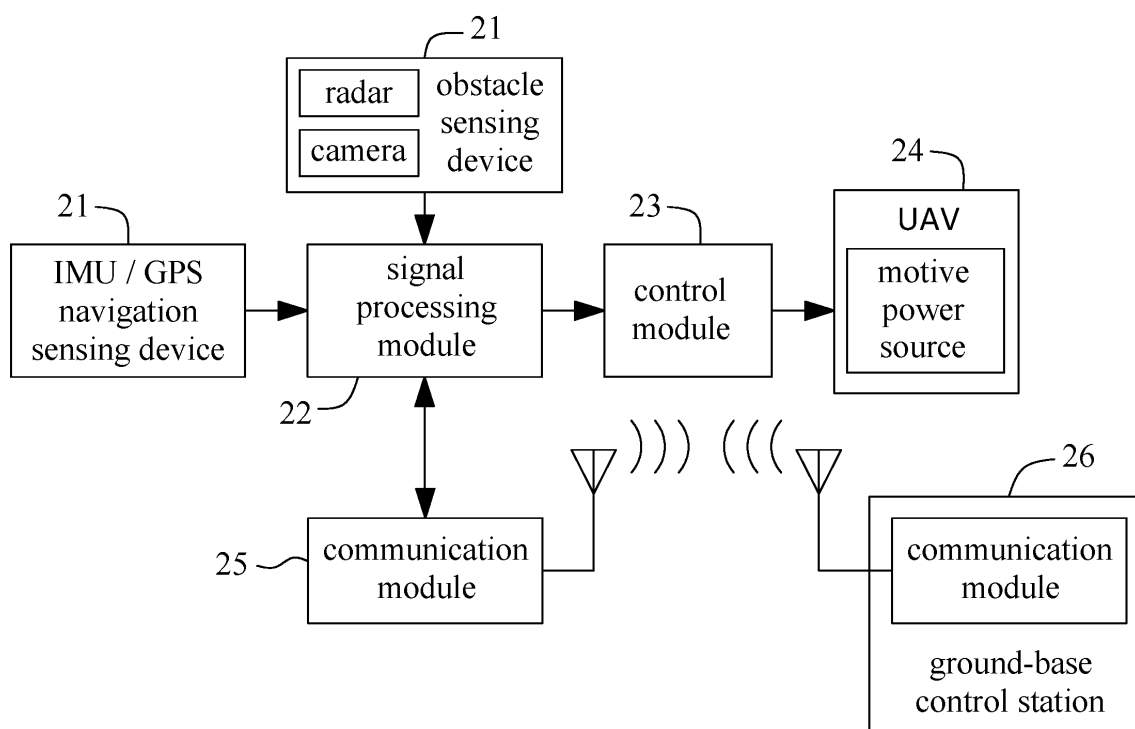


Рисунок 1.1 – Діаграма системи виявлення перешкод

Система (рис. 1.1) виявлення перешкод БПЛА оснащена автоматичними джерелами живлення двигуна БПЛА для контролю швидкості руху та запобігання перешкод. Як показано на рисунку, система включає пристрій виявлення перешкод 21, модуль 22 обробки сигналів, модуль управління 23, БПЛА 24, модуль зв'язку 25 і наземну станцію управління 26. Наведені три модулі та пристрій зібрані на БПЛА 24. Пристрій 21 виявлення перешкод включає пристрій навігаційного моніторингу, який пов'язаний з GPS та IMU, камерою та іншими пристроями виявлення перешкод, включаючи радари.

Модуль 22 обробки сигналів періодично приймає результати вимірювання пристроєм виявлення перешкод 21 і обробляє маршрут планування місії для генерації сигналів управління польотом до модуля управління 23. Модуль обробки сигналів є мікропроцесором. Модуль 23 управління керує кожним рухомим джерелом живлення БПЛА 24 та польотним напрямком, положенням і швидкістю БПЛА 24. Модуль зв'язку 25 є двостороннім пристроєм, що передає та приймає інформацію між БПЛА та наземною станцією управління 26.

Пристрій 21 виявлення перешкод може виявляти відносний напрямок, швидкість і відстань між БПЛА 24 і динамічними або статичними перешкодами поблизу БПЛА 24 і задавати напрямок, швидкість і відстань між БПЛА 24 і динамічними або статичними перешкодами поблизу БПЛА 24. Пристрій навігаційного моніторингу може забезпечувати напрямок польоту, положення, прискорення і положення в режимі реального часу БПЛА 24 через модуль 22 обробки сигналів.

Метод уникнення навігаційних перешкод БПЛА (рис. 1.2) використовується для активного контролю джерела живлення двигуна БПЛА, контролю напрямку польоту БПЛА та уникнення перешкоди.

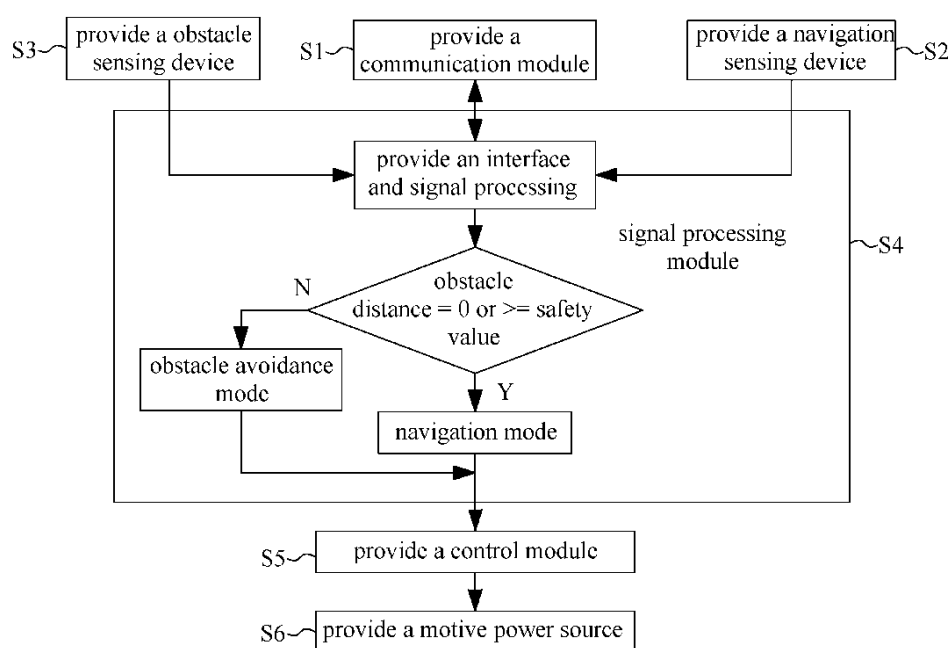


Рисунок 1.2 – Блок-схема способу уникнення перешкод

Метод включає наступні кроки.

Крок 1 (S1) забезпечує модуль зв'язку для передачі поточного положення БПЛА, налаштування безпеки та маршруту місії польоту до модуля обробки сигналів перед зльотом БПЛА та постійного зв'язку з наземною базовою станцією управління після зльоту БПЛА.

Крок 2 (S2) забезпечує пристрій навігації для надання такої інформації як напрямок польоту, положення, швидкість і положення БПЛА в режимі реального часу.

Крок 3 (S3) забезпечує пристрій зондування перешкод для надання інформації щодо відносного напрямку, швидкості та відстані між БПЛА та динамічною або статичною перешкодою. Відносна відстань встановлюється на 0, якщо жодної перешкоди не виявлено.

Крок 4 (S4) забезпечує модуль обробки сигналу для періодичного зчитування вимірювань навігаційного пристрою та пристрою виявлення перешкод, отримання інформації від наземної базової станції управління через модуль зв'язку та генерування сигналу управління польотом, який обробляється модулем обробки сигналу, до модуля управління. Модуль обробки сигналів виконує режим навігації, якщо відстань між БПЛА та перешкодою, виявленою пристроєм виявлення перешкод, перевищує або дорівнює безпечному значенню. Модуль обробки сигналів виконує режим уникнення перешкод, якщо відносна відстань між БПЛА та перешкодою менша безпечного значення або дорівнює 0. У режимі навігації модуль обробки сигналів посилає сигнал управління польотом на модуль управління після обробки навігаційної корекції відповідно до сигналу пристрою навігації та планування маршруту місії польоту. У режимі уникнення перешкод модуль обробки сигналів відправляє сигнал керування польотом на модуль керування після обробки навігаційної корекції з урахуванням перешкоди відповідно до сигналу пристрою уникнення перешкод, сигналу навігаційного пристрою та запланованого місією польоту маршруту. Модуль обробки сигналів також періодично посилає інформацію БПЛА на наземну станцію управління через модуль зв'язку.

Крок 5 (S5) забезпечує модуль управління, який приймає сигнал керування польотом, переданий модулем обробки сигналів.

На кроці 6 (S6) джерело живлення БПЛА виконує керування польотом, положенням та швидкістю руху, та інші операції управління польотом БПЛА відповідно до сигналів керування модуля керування.

Даний метод проводить політ з уникненням перешкод відповідно до сигналів пристрою уникнення перешкод, сигналів навігаційного модуля та запланованого маршруту польотної місії, коли існує загроза безпеці з боку перешкод. Згідно методу, БПЛА може змінити курс до початкового маршруту місії після зникнення загрози безпеці з боку перешкоди.

1.2 Монокулярна система виявлення повітряних об'єктів

О. Котаба у своїй патентній роботі [2] пише про систему виявлення повітряних об'єктів у повітрі (рис. 1.3).

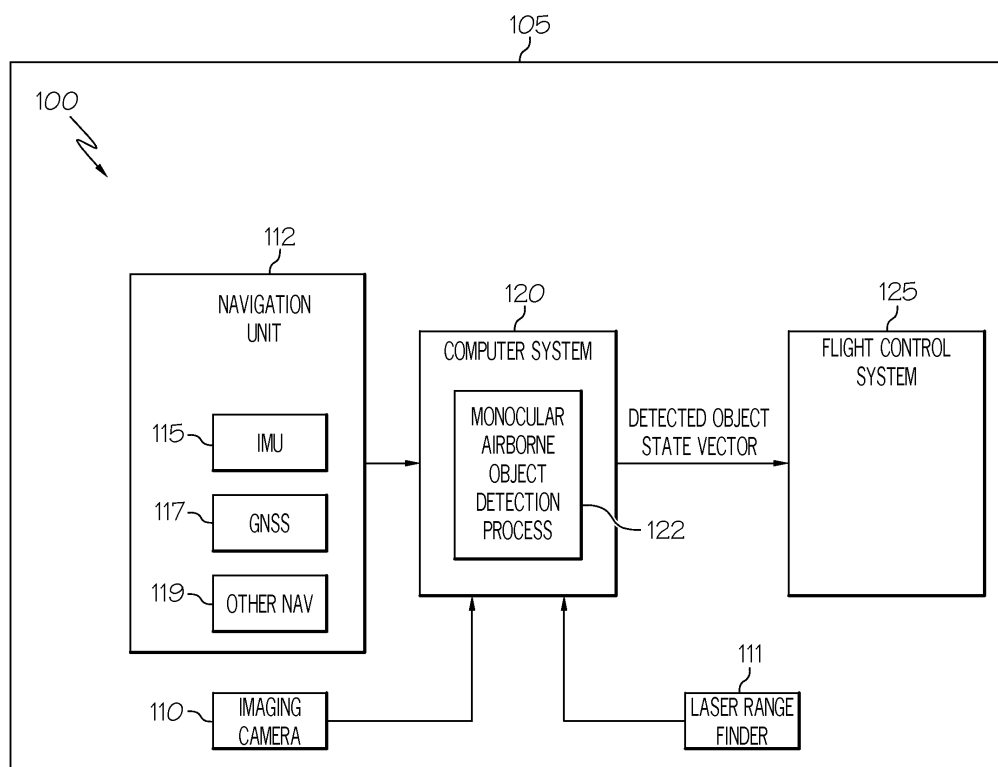


Рисунок 1.3 – Блок-схема, що ілюструє монокулярну систему 100 виявлення повітряних об'єктів

Система на рисунку 100 включає камеру 110, навігаційний блок 112, що включає щонайменше IMU 115, і комп'ютерну систему 120, що здійснює аналіз інформації, отриманої камерою 110 та навігаційним блоком 112. В одному варіанті здійснення система 100 вбудована в БПЛА, такий як показано на 105.

У процесі роботи камера 110 знімає безліч кадрів зображень. Для кожного знятого кадру IMU 115 фіксує інерційні дані вимірювань (тобто дані акселерометру та гіроскопічні дані) або пов'язану з ними навігаційну інформацію для транспортного засобу 105 під час зйомки кожного кадру. Для цілей цієї специфікації обидва будуть називатися "навігаційною інформацією", але слід розуміти, що будь-який тип опису руху може бути використаний у використаному терміні, тому його не слід сприймати як обмежувальний. Комп'ютерна система 120 компенсує рух камери 110, використовуючи дані IMU 115, щоб генерувати зображення, як послідовність фонового зображення з компенсацією руху. Від послідовності фонового зображення, компенсованої рухом, комп'ютерна система 120 може диференціювати рухомі об'єкти від статичних фонових об'єктів.

Використовуючи навігаційну інформацію з IMU 115, комп'ютерна система 120 обчислює відповідне перетворення, наприклад у вигляді матриці. Матриця виступає в якості матриці перетворення між будь-якими двома кадрами зображення і може бути обчислена за допомогою навігаційної інформації для двох кадрів зображення. Матриця, застосована до першого кадру зображення, буде генерувати проекцію зображення, яка показана, як сцена, захоплена першим кадром зображення, повинна виглядати з точки зору камери в момент часу, коли другий кадр зображення буде зроблений, припускаючи, що всі об'єкти всередині сцени розташовані в видимій близькості порівняно з базовою лінією між кадрами камери. Матриця, таким чином, демонструє, як камера 110 повернулась між зняттям першого та другого кадрів зображення. Варіанти здійснення цього винаходу створюють послідовність фонового зображення з компенсованим рухом шляхом накладання одного або

декількох повторно відхилених кадрів на обраний один із безлічі захоплених кадрів зображення.

1.3 Система виявлення перешкод на автомобілі

Ф. М. Насер у своїй патентній роботі [3] пропонує систему виявлення перешкод, приклад апаратної реалізації якої зображений на рисунку 1.4.

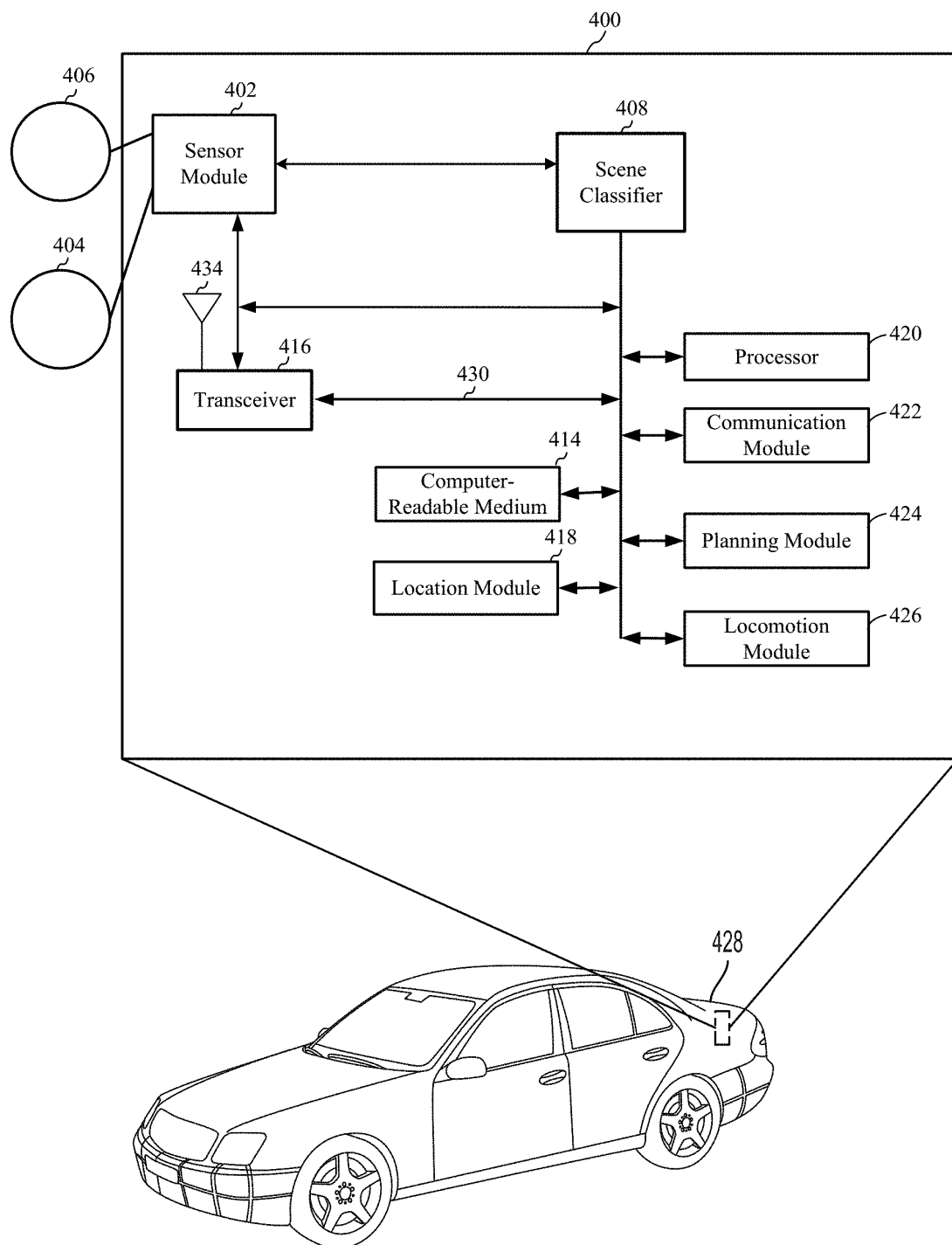


Рисунок 1.4 – Схема, що ілюструє приклад апаратної реалізації системи виявлення перешкод 400

Система 400 класифікації сцен може бути складовою частиною транспортного засобу, роботизованого чи іншого пристрою. Наприклад, як показано на рисунку 4, система 400 класифікації сцен може бути складовою частиною автомобіля 428. Автобуси, човни, інвалідні коляски, безпілотники, роботи або літаючі об'єкти також можуть використовувати систему класифікації сцен 400. Автомобіль 428 може бути автономним, напівавтономним або неавтономним. Наприклад, якщо автомобіль 428 конфігурований як транспортний засіб рівня 0, у якому набір функцій удосконаленої системи допомоги водію, встановлених у автомобілі 428, не забезпечує управління автомобілем, але може видавати попередження водієві.

Система 400 класифікації сцен може бути реалізована з архітектурою шини, представленою, як правило, шиною 430. Шина 430 може включати будь-яку кількість з'єднувальних шин і мостів залежно від конкретного застосування системи 400 класифікації сцен і загальних обмежень проекту. Шина 430 може з'єднувати між собою різні схеми, включаючи один або більше процесорів та/або апаратних модулів, представлених процесором 420, модулем зв'язку 422, модулем 418 розташування, модулем 402 датчика, модулем 426 руху, модулем 426 пересування, модулем 424 планування, і машинно-зчитуваним носієм 414. Шина 430 може також зв'язувати різні інші схеми, такі як джерела синхронізації, периферійні пристрої, регулятори напруги та схеми управління потужністю.

Система 400 класифікації сцен може включати трансивер 416, з'єднаний з процесором 420, сенсорним модулем 402, класифікатором 408 сцени, модулем 422 зв'язку, модулем 418 локації, модулем 426 пересування, модулем 424 планування і машинно-зчитуваним носієм 414. Приймач 416 з'єднаний з антеною 434. Трансивер 416 спілкується з іншими пристроями через середу передачі інформації. Наприклад, трансивер 416 може приймати команди за допомогою передач від користувача або віддаленого пристрою. В якості іншого прикладу, Трансивер 416 може передавати статистику руху та інформацію від класифікатора 408 сцен на сервер (не показано).

Система 400 класифікації сцен може включати в себе процесор 420, з'єднаний з машинно-зчитуваним носієм 414. Процесор 420 може виконувати обробку, включаючи виконання програми, що зберігається на машинно-зчитуваному носію 414, забезпечуючи функціональність. Програма, виконана процесором 420, призводить до того, що система 400 класифікації сцен виконує різні функції, описані для конкретного пристрою, наприклад автомобіля 428, або будь-якого з модулів 402, 408, 414, 416, 418, 420, 422, 424, 426. Машинно-зчитуваний носій 414 може також використовуватися для зберігання даних, якими керує процесор 420 при виконанні програми.

Модуль 402 датчика може використовуватися для отримання вимірювань за допомогою різних датчиків, таких як перший датчик 406 і другий датчик 404. Перший датчик 406 може бути датчиком зору, таким як стереоскопічна камера або RGB-камера для зйомки 2D-зображень. Другий датчик 404 може бути датчиком дальності, таким як датчик детектування світла і дальності (лідар) або датчик радіовизначення і дальності (радар). Звичайно, вимірювання не обмежуються вищезазначеними датчиками, оскільки інші типи датчиків, такі як, наприклад, тепловий, ультразвуковий та/або лазерні, також розглядаються в якості датчиків 404, 406.

Вимірювання першого датчика 406 і другого датчика 404 можуть оброблятися одним або декількома процесорами 420, сенсорним модулем 402, класифікатором 408 сцен, модулем зв'язку 422, модулем 418 локації, модулем 426 пересування, модулем 424 планування спільно з машинно-зчитуваним носієм 414 для реалізації функціональних можливостей, описаних тут. В одній конфігурації дані, отримані першим датчиком 406 і другим датчиком 404, можуть передаватися на зовнішній пристрій через приймач 416. Перший датчик 406 і другий датчик 404 можуть бути пов'язані з автомобілем 428 або можуть бути пов'язані з машиною 428.

Модуль 418 розташування може використовуватися для визначення місця розташування автомобіля 428. Наприклад, модуль 418 розташування може використовувати GPS для визначення місця розташування автомобіля 428.

Модуль 422 зв'язку може бути використаний для полегшення зв'язку через приймач 416. Наприклад, модуль зв'язку 422 може бути налаштований для забезпечення зв'язку через різні протоколи бездротового зв'язку, такі як Wi-Fi, 3G та інші. Модуль 422 зв'язку також може бути використаний для зв'язку з іншими компонентами автомобіля 428, які не є модулями системи класифікації 400 сцен.

Модуль 426 пересування може бути використаний для полегшення руху автомобіля 428. Як приклад, модуль 426 пересування може управляти рухом коліс. В якості іншого прикладу, модуль 426 пересування може бути пов'язаний з джерелом живлення автомобіля 428, таким як двигун або акумулятори. Звичайно, способи пересування не обмежуються рухом за допомогою коліс, але також розглядаються пропелери, плавники та/або реактивні двигуни.

Система 400 класифікації сцен може також включати модуль 424 планування для планування маршруту або управління рухом автомобіля 428 через модуль 426 пересування на основі аналізу, виконаного класифікатором 408 сцен. В першому варіанті модуль 424 планування обробляє вхідні дані користувача, коли очікується (наприклад, спрогнозувала система), що вхідні дані користувача приведуть до зіткнення. Модулі можуть бути програмними модулями, що виконуються в процесорі 420, розміщуються або зберігаються на машинно-зчитуваному носії 414, один або більше апаратних модулів, з'єднаних з процесором 420, або деякі їх комбінації.

Класифікатор 408 сцен може бути пов'язаний з сенсорним модулем 402, трансивером 416, процесором 420, модулем зв'язку 422, модулем 414 локації, модулем 426 пересування, модулем 424 планування та комп'ютерним носієм 414. В одній конфігурації класифікатор сцени може приймати дані датчика від сенсорного модуля 402. Модуль 402 датчика може приймати дані датчика від першого датчика 406 і другого датчика 404. Відповідно до аспектів цього розкриття, сенсорний модуль 402 може фільтрувати дані для видалення шуму, кодувати дані, декодувати дані, об'єднувати дані, витягувати кадри або виконувати інші функції. В альтернативній конфігурації класифікатор 408

сцени може приймати дані датчика безпосередньо від першого датчика 406 і другого датчика 404.

Класифікатор 408 сцени може виявити невидимий предмет за рогом або за перешкодою. Класифікатор 408 сцени може приймати інформацію, наприклад, від одного з датчиків 404, 406, таку як серії зображень для введення в циклічний буфер. Ці зображення можуть бути оброблені, покращені та зареєстровані. Класифікатор сцен може класифікувати середовище на основі будь-якого сприйманого руху або зміни освітленості зображень у циклічному буфері. Класифікатор сцен може визначати середовище як статичне або динамічне або може призначити ймовірність динамічного руху на основі обробленої інформації зображення.

Класифікатор 408 сцен може виводити класифікацію на один або більше сенсорних модулів 402, приймач 416, процесор 420, модуль 422 зв'язку, модуль 418 локації, модуль 426 пересування, модуль 424 планування та машинно-зчитуваний носій 414. Класифікаційний вихід може використовуватися для управління автомобілем 428 у відповідь на класифікацію. Наприклад, якщо сцена класифікується як динамічна або має велику ймовірність бути динамічною, сигнали можуть передаватися модулю 422 зв'язку, модулю 418 локації, модулю 426 пересування, модулю 424 планування та машинно-зчитуваному носію 414 таким чином, щоб автомобіль 428 зміг вжити коригуючих дій, таких як сповільнення або зупинка.

Таким чином класифікатор 408 сцен може використовувати тіньову інформацію як сигнал замість шуму, щоб генерувати або сприймати у сцені конструктивну та корисну інформацію для управління автомобілем 428.

1.4 Система виявлення перешкод транспортного засобу

С. Зенг у своїй патентній роботі [4] пропонує таку систему (рис. 1.5).

На рисунку 1.5 до системи 10 входить радіолокаційний пристрій 12 і система 14 візуалізації. Радіолокаційний пристрій 12 використовує радіохвилі

для виявлення об'єкта, отримуючи дані про дальність, азимутальний кут та дані про швидкість зміни дальності відносно об'єкта.

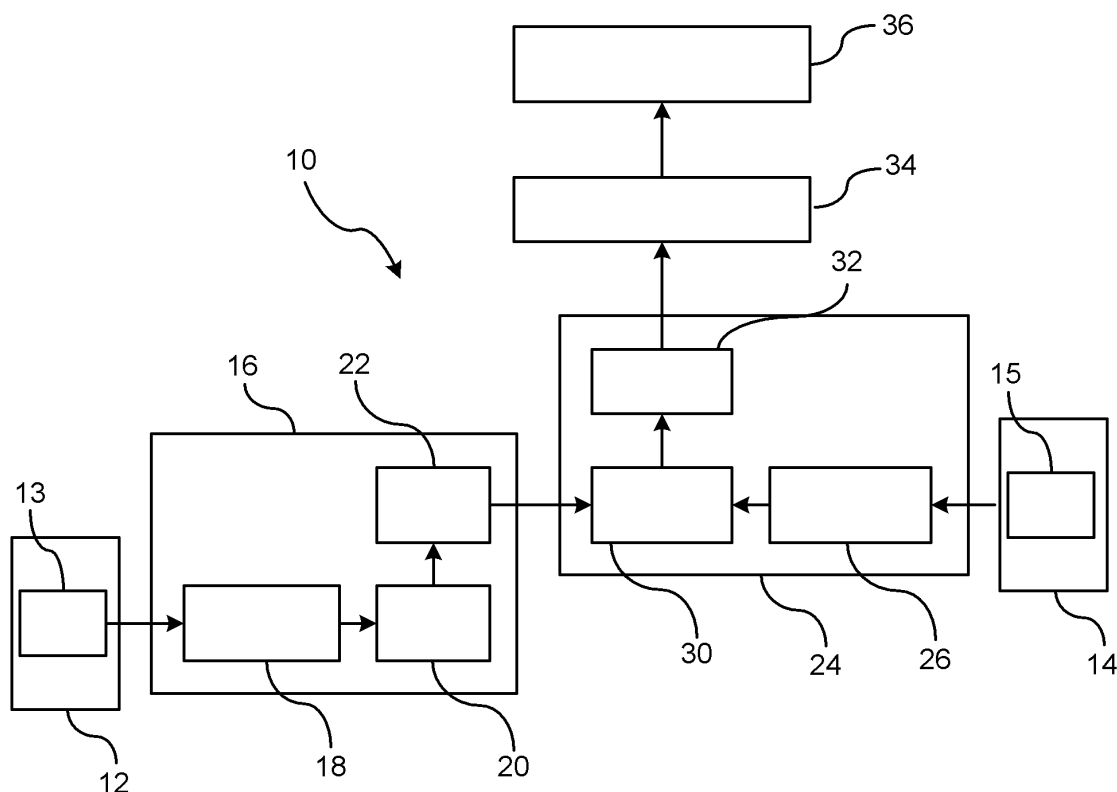


Рисунок 1.5 – Діаграма системи виявлення перешкод транспортного засобу

Радіолокаційний пристрій 12 включає приймач 13, який приймає відбитий електромагнітний сигнал від об'єктів, виявлених на шляху руху. Отримані сигнали подаються в блок 16 попередньої обробки для обробки сигналу, щоб дані могли спільно оброблятися з даними системи візуалізації 14. Блок 16 попередньої обробки включає понижуючий частотний перетворювач 18, який приймає радіолокаційну передачу, посилює сигнал і знижує частоту до проміжної частоти. Потім сигнал подається на аналого-цифровий перетворювач сигналу 20. Швидке перетворення Фур'є 22 застосовується до перетвореного цифрового сигналу для отримання частотного розподілу сигналу для фільтрації, стиснення, і зниження шумів сигналу. Після цього застосовується CFAR алгоритм для виявлення цілі в полі зору радара. Вихід 22 являється

відношенням сигнал/шум кожної комірки і подається на вхід до модуля 24 синтезу.

Система 14 візуалізації включає пристрій 15 зйомки зображення, що включає, але не обмежується цим, камеру. Пристрій захоплення зображень захоплює зображення дороги, як правило, області попереду автомобіля. Однак захоплена область може включати ділянки, відмінні від області, попереду транспортного засобу, таких як бортики або задня частина автомобіля. Дані із захоплених зображень передаються блоку попередньої обробки 26, що оснований на обробці візуальної інформації. Блок попередньої обробки 26 призначений для випрямлення, масштабування, фільтрації та зменшення шуму вхідного захопленого зображення.

Модуль 24 синтезу включає субмодуль 30 вилучення особливостей і субмодуль 32 виявлення та відстеження. Слід розуміти, що різні субмодулі можуть включати незалежний процесор або можуть включати один процесор. Дані з блоку попередньої обробки радіолокаційного модуля 16 та дані з блоку попередньої обробки камери 26 об'єднані в субмодуль 30 вилучення особливостей. Дані кожного відповідного субмодуля спільно аналізуються для виявлення особливостей потенційних об'єктів у субмодулі 30 вилучення особливостей.

Субмодуль виявлення та відстеження 32 відстежує особливості, ідентифіковані як потенційний об'єкт, відносно часу. Тимчасове згладжування, крім просторового згладжування, може використовуватися для відстеження та виявлення помітних особливостей у захоплених даних у різні моменти часу.

Ідентифіковані функції, що виводяться з модуля 24 синтезу, вводяться в класифікатор 34, такий як логічний класифікатор. Класифікатор (наприклад, підтримуюча машина для обробки векторних даних або інший тип класифікатора) може використовуватися для класифікації того, чи є відповідна особливість об'єктом у захоплених даних.

Прикладом класифікатора є SVM, яка включає набір відповідних алгоритмів навчання, що використовуються для класифікації та регресії. Алгоритми навчання – це методи навчання, які будують моделі для прогнозування потрапляння нового зразка до тієї чи іншої категорії (наприклад,

категорії відсутності перешкод). Модель SVM – це представлення категорій точок у просторі особливостей, що відображено окремими чітко розділеними категоріями. Машина підтримки відображає вхідні дані у більш розмірний простір, де побудована розділяюча гіперплощина. Прикладом використання векторної машини є побудова двох паралельних гіперплощин. Дві паралельні гіперплощини побудовані з кожної сторони роздільної гіперплощини для розділення даних. Роздільна гіперплощина максимально збільшує відстань між двома паралельними гіперплощинами. Основна концепція полягає в тому, що чим більше відстань між двома паралельними гіперплощинами, тим меншою буде швидкість помилкової класифікації при класифікації даних до відповідного класу.

Вихід із класифікатора 34 надається пристроям активної безпеки або системам активної безпеки 36, які використовують ідентифікацію об'єктів для застосувань у активній безпеці транспорту, які включають, але не обмежуються цим, сповіщення про попередження водія, такі як передні системи попередження зіткнення, автономні або напіваавтономні системи уникнення зіткнень, системи готовності до зіткнення та системи послаблення зіткнення.

1.5 Система виявлення перешкод інтегрована у дрон

Ф. Херлігі у своїй патентній роботі пропонує варіант реалізації системи виявлення перешкод інтегрованої у безпілотник (рис. 1.6).

На рисунку 1.6 показаний контролер 211, підключений до пропелерів 217a-d, джерела напруги і регулятора 213, бездротового приймача 215, відеокамери 231 і датчика висоти 233, а також передавачів 225 і 227. У цьому варіанті реалізації, на кожному з плечей дрона розташовані пропелери 217a-d, кожен з яких управляється контролером 211.

Джерело напруги та регулятор 213 подає живлення. Команди пілота передаються від трансиверів керуючого сигналу, таких як cTx 223 і приймаються бездротовим приймачем 215.

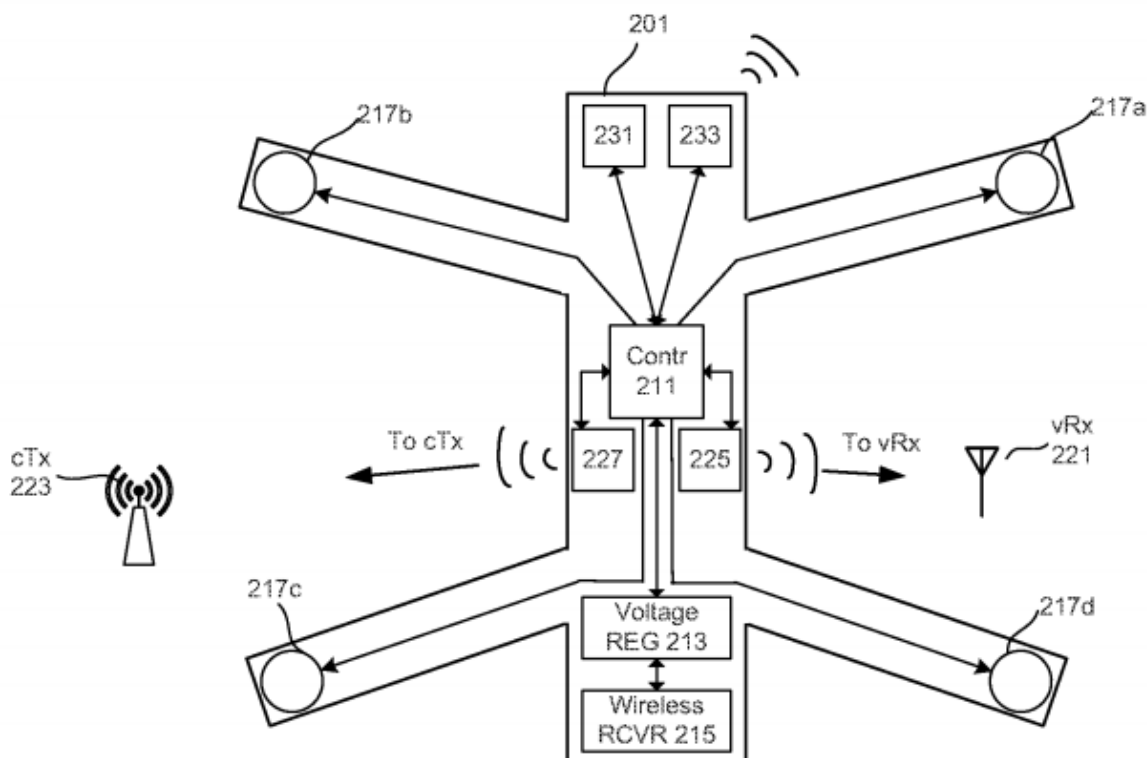


Рисунок 1.6 – Спрощене представлення системи виявлення перешкод
безпілотною 201

Потім контролер 211 використовує живлення від джерела напруги 213 для управління пропелерами 217a-d відповідно до сигналів пілота.

Безпілотною також включає відеокамеру 231 і датчик висоти 233, які подають дані на контролер 211. FM-передавач або інший тип відеопередавача 225 передає дані з відеокамери 231 на приймач відеомонітора vRx 221 (зовнішній по відношенню до дрона, наприклад на землі), який проводить моніторинг відеосигналів і передає відеодані пілоту. Дані також можуть бути відправлені назад у трансивер керуючого сигналу cTx 223 передавачем 227. Хоча передавач 227 і бездротовий приймач 215 показані як окремі елементи на рисунку 1.5, у багатьох варіантах реалізації вони будуть частиною єдиного модуля приймача. RSSI відеосигналу на приймачі з відеомонітором, що пов'язаний зі входом, може бути скомбінованим з даними RSSI для керуючих сигналів, прийнятих на бездротовий приймач 215, і датчик 233 висоти для

визначення тривимірного шляху безпілота по курсу. RSSI для керуючих сигналів може передаватися назад до трансивера керуючого сигналу, як і дані висоти у деяких варіантах реалізації.

Кожен безпілота може передавати сигнал відеоданих з відповідною частотою, на якій проводить моніторинг приймач, щоб визначити інтенсивність цих сигналів. Приймач може бути сконструйований таким чином, що він може одночасно проводити моніторинг на декількох частотах передачі. Такий приймач буде розміщений для того, щоб відстежувати положення активних дронів.

Варіантом реалізації датчика висоти може стати ІЧ-датчик. ІЧ-датчики працюють як базовий радар. Є два основних компоненти, світлодіодний ІЧ-передавач та ІЧ-приймач. Світлодіодний передавач випромінює ІЧ світло, а фотодетектор отримує відбите світло. Кількість світла і час, необхідний для повернення цього світла, визначають відстань, на якій об'єкт знаходиться відносно землі. Під час збору даних ІЧ-датчик може працювати в безперервному режимі з імпульсами, що надсилаються через рівні проміжки часу.

Інші варіанти здійснення датчика висоти можуть включати пінг-сенсор. Пінг-сенсор використовує звукові хвилі. Посилається короткий звуковий сигнал, а отримане відлуння і затримка відображає відстань до землі. Як і у випадку ІЧ-датчика, пінг-сенсор найкраще працює, коли передавач і приймач сигналу знаходяться під відносно вузьким кутом відносно поверхні, що відбиває, й на шляху знаходиться мало перешкод.

Додаткові варіанти здійснення датчика висоти можуть використовувати барометр, такий як цифровий датчик тиску. Барометри використовують для вимірювання барометричного тиску. Знаючи, що тиск змінюється з висотою, це вимірювання можна перевести у висоту. Дані з датчика, який опирається на дану залежність полегшують побудову шляху у тривимірному просторі.

Оскільки різні датчики висоти мають різні відносні переваги та недоліки, вибір датчика може бути обраний виходячи з типу об'єкта та типу траєкторії, по

якій рухається безпілотник або інший об'єкт. У багатьох варіантах реалізації може бути корисним використання більш ніж одного з тих чи інших датчиків для підвищення точності в різних умовах. Дані про висоту можна періодично передавати на базову станцію, щоб поєднати з іншими даними про місцезнаходження. Система може використовувати окремий набір приймачів для даних про висоту, використовувати інші системні приймачі, такі як трансивери сигналів керування cTx. Дані відношення можуть періодично передаватися, по мірі часу, для використання з іншими даними, де дані можуть бути або необробленими даними з датчика висоти, або оброблятися у певній мірі перед передачею.

У результаті огляду існуючих систем виявлення перешкод були виділені основні складові таких систем: модуль зв'язку, модуль обробки і керування, джерело живлення, зорова система, сенсорні модулі, модуль пересування, модуль навігації. Представлені системи можуть бути інтегровані в засоби пересування. Згідно Ф. Херлігі [5] в якості датчика висоти може бути використаний ІЧ-датчик.

2 МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ПЕРЕШКОД СИСТЕМАМИ ВИЯВЛЕННЯ ПЕРЕШКОД

2.1 Метод виявлення перешкод ультразвуковим сенсором

Серед сучасних методів виявлення перешкод існують методи які основані на ультразвукових датчиках, радарх, системах зору та стерео-камерах. Так, Д. Гібс [6] у своїй роботі описує метод виявлення перешкод за допомогою ультразвукового датчика. Початкові випробування проводилися за допомогою сенсорної головки, встановленої на заземленні. Завдання полягає в тому, щоб визначити розташування круглого стовпа 100 мм в межах дуги передавача/приймача при зворотньому вимірюванні (80 см), показаному на рис. 2.1.

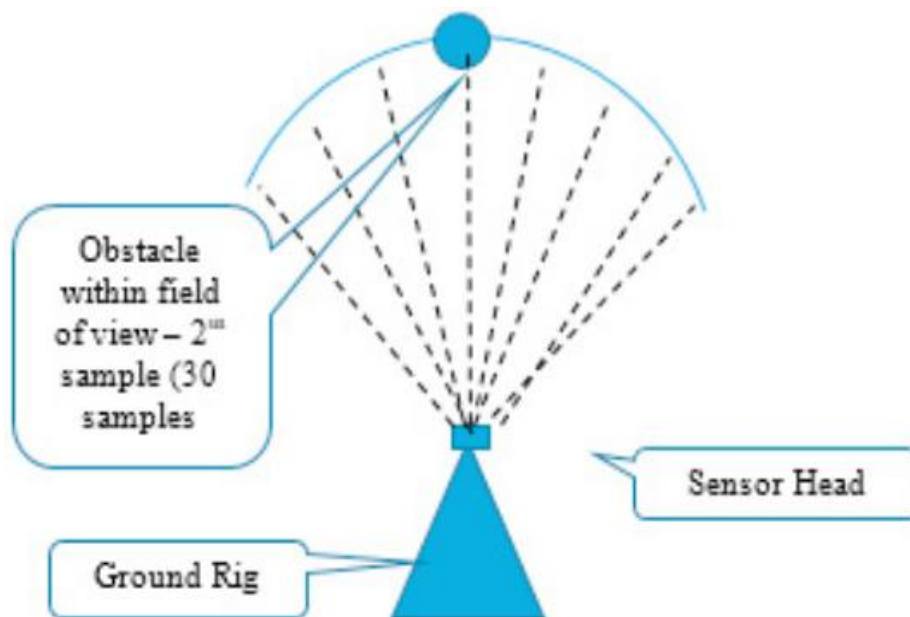


Рисунок 2.1 – Перешкода всередині поля зору сенсора

Пунктирні лінії представляють положення сканування обертових приймачів ультразвукового датчика протягом однієї секунди, в результаті чого отримується 30 зразків, кожен з яких містить два додаткових зразка. Примітка:

вимірювання відстані контролює кількість вибірок, взятих у часовому проміжку.

Далі наведена процедура, яка використовується для отримання даних для алгоритму. Наземна установка розміщується у відомому положенні стосовно перешкоди та вимірювань, що спостерігаються на цифровому дисплеї наземної установки. Це вимірювання – зворотна відстань від комбінованого передавача/приймача (SRF02). Після цього два приймачі ультразвукового датчика (R160) обертаються відносно передавача/приймача, що охоплює поле зору, а спостереження оновлюються приблизно кожні 100 мс. Спостереження сканування отримують наступним чином. Сканування розділено на 30 сегментів, кожний сегмент наростаючого фронту огинаючої обох прийнятих сигналів подається до пари компараторів із заданою пороговою напругою. Виходи цих компараторів забезпечують логічні сигнали, які потім складаються за допомогою операнду AND у вікні виявлення, що генерується мікроконтролером. Якщо виникають обидва логічні сигнали коли вікно відкрите, то існує велика ймовірність того, що перешкода знаходиться в цій точці сканування. Для огинаючої відбитого сигналу для обох приймачів ультразвукового датчика роблять вибірку та зберігають у пам'яті для подальшого аналізу в алгоритмі. Метою цього є лише вибіркові дані для аналізу, коли є велика ймовірність того, що перешкода може існувати в цій точці сканування з метою оптимізації алгоритму. У таблиці 2.1 показаний вихід для типового сканування, де «1» являє собою ймовірне місце перешкоди щодо комбінованого передавача/приймача. Ці дані все ще дуже зашумлені, і необхідний подальший аналіз, щоб локалізувати область, де перешкода існує в межах сканування.

Таблиця 2.1 – Частковий вибірковий набір даних

Зразок	Перешкода	Зразок	Перешкода
1	0	16	1
2	0	17	1
3	0	18	0
14	1	29	0

15	0	30	0
----	---	----	---

2.2 Методи виявлення перешкод радаром

У роботі Д. Германн [7] описується метод, який реалізований за допомогою радара. Принцип виявлення перешкод зображений на блок схемі рисунку 2.2:

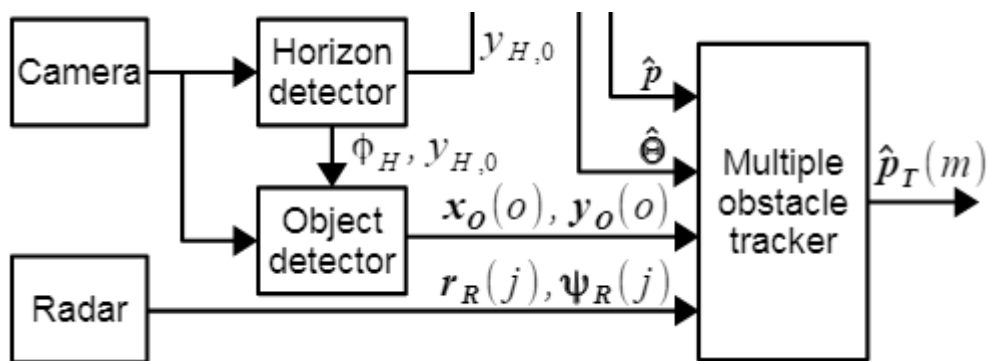


Рисунок 2.2 – Блок-схема принципу дії системи

Розроблена архітектура системи представлена на рисунку 2.3. Зверху на автомобіль встановлений автомобільний радар Delphi ESR 915 (77 ГГц) разом із камерою з роздільною здатністю 640x480 пікселів. Система зору має FoV 52°x39°, і вона проводить вимірювання зі швидкістю 10 кадрів в секунду. Радіолокатор сканує перед автомобілем кожні 50 мс з вертикальним FoV 5 ° у режимі великої дальності 175 м (± 15 °) та середньому діапазоні 50 м (±45°) (рис. 2.4).

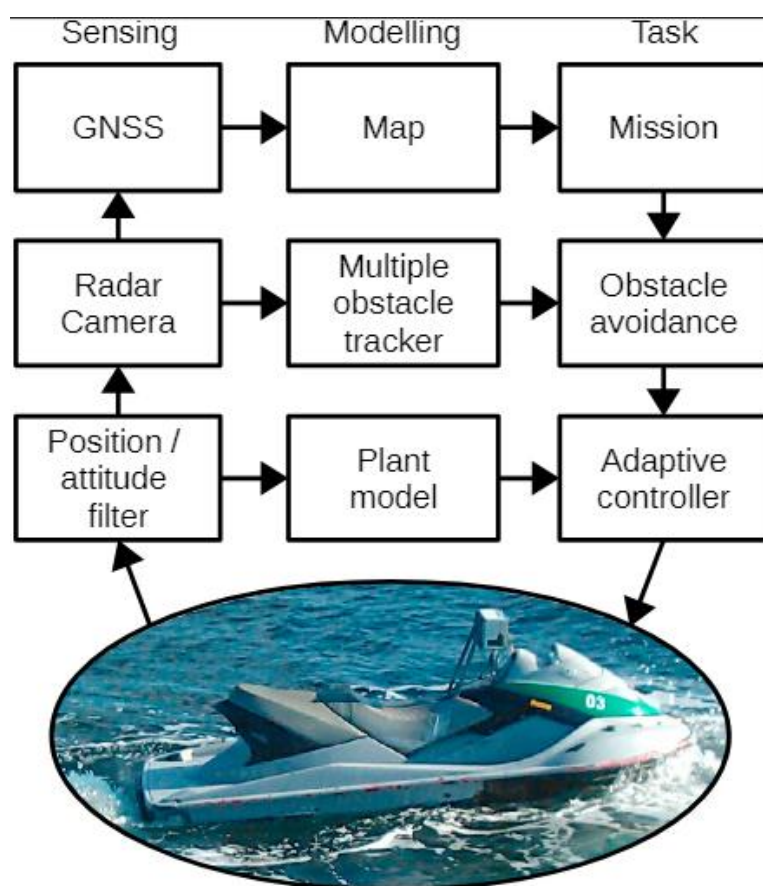


Рисунок 2.3 – Архітектура системи

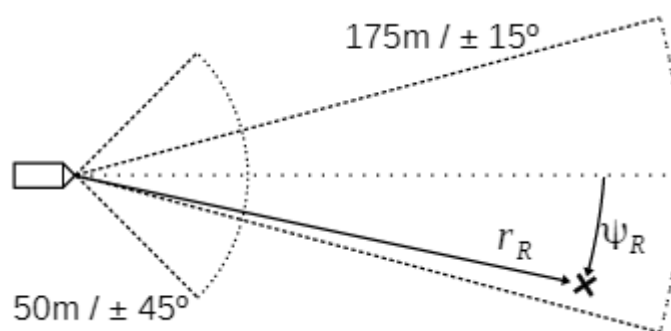


Рисунок 2.4 – Области дальньої і середньої дальності радару

У роботі Д. Баретт [8] за основу також був узятий радар (на міліметровій довжині хвилі). В основі закладеної інтелектуальної операції «вияви та уникай» лежить здатність безпілота виявляти ймовірні перешкоди, з якими він зіткнеться на своїй лінії польоту, що може призвести до повної втрати або пошкодження платформи та негативно вплине на продуктивність. Окрім здатності датчиків виявляти предмети незалежно від освітлення, диму, пилу чи

туману, вони мають унікальне розташування для того щоб виявляти перешкоди, які важко виявити за допомогою інших сенсорних технологій. Одним із таких прикладів є виявлення проводів, таких як лінії електропередачі, телефонні лінії, повітряні антени або дротяна огорожа на шляху безпілотної. Лабораторна установка зображена на рисунку 2.5:

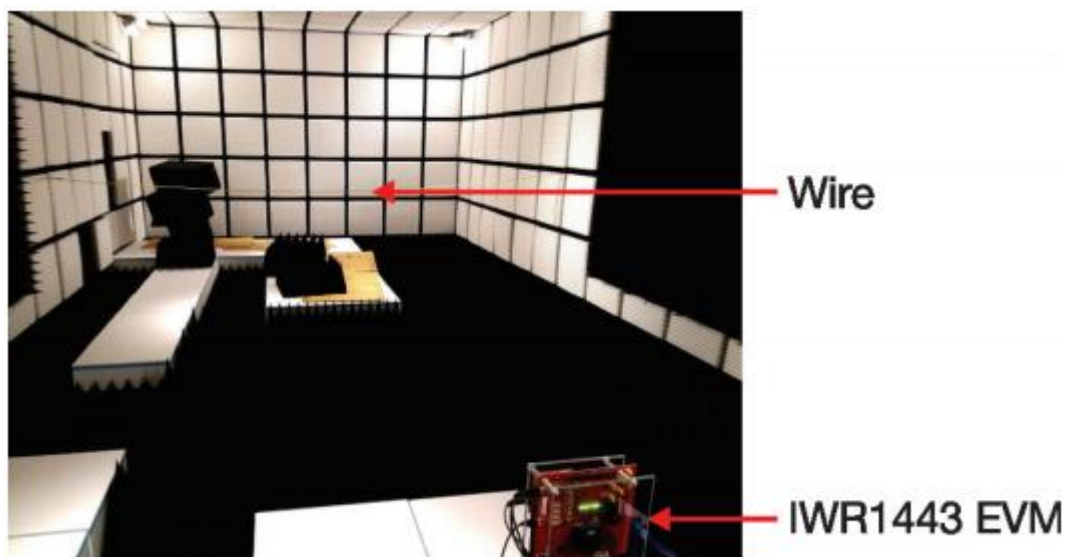


Рисунок 2.5 – Налаштування установки в звукоізолюючій кімнаті для тестування на дровових лініях

Випробувальні типи дроту включали електричний подовжувальний кабель, кабель Ethernet категорії 5, лінію неметалічного (гумового) кабелю, два мідних дроти, скручені разом, і один мідний дріт, показаний на рисунку 2.6:

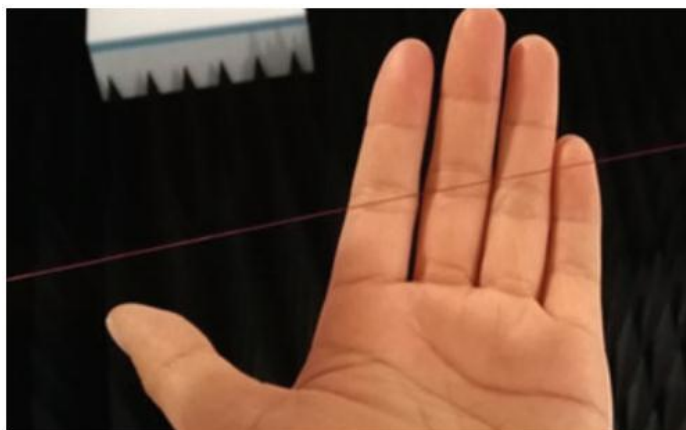


Рисунок 2.6 – Мідний дріт

Антенa IWR1443 у міліметровому хвильовому діапазоні проводила вимірювання у вертикальному та горизонтальному положенні на відстані 1 м. Окрім IWR1443 MMW EVM, була використана плата з рупорною антенною. Рупорна антенна має значно вужчий антенний промінь, щоб значно зменшити шум. Результати експерименту були представлені на рисунку 2.7:

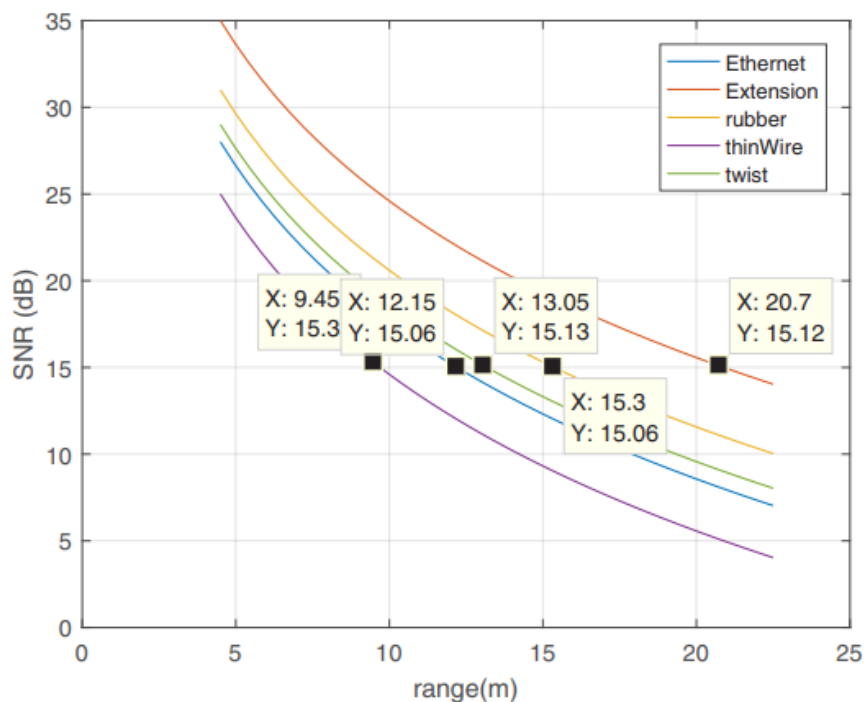


Рисунок 2.7 – Графік залежності SNR від дальності для різних типів дроту

Аналіз показав, що радар на міліметровій довжині хвилі може виявляти усі типи дроту, взятих для експерименту, починаючи з дуже тонкого і найскладнішого одножильного дроту з екстрапольованої відстані 9 м, закінчуючи відстанню 21 м для найбільшого діаметра дроту (подовжувач).

2.3 Методи виявлення перешкод стереокамерою

У роботі Ч. Кіма [9] була використана стереокамера. Зображення зі стереокамери з двома різними FoV і одометрією для виявлення стереоперешкод. Блок-схема запропонованої стереосистеми виявлення перешкод показана на рисунку 2.8.

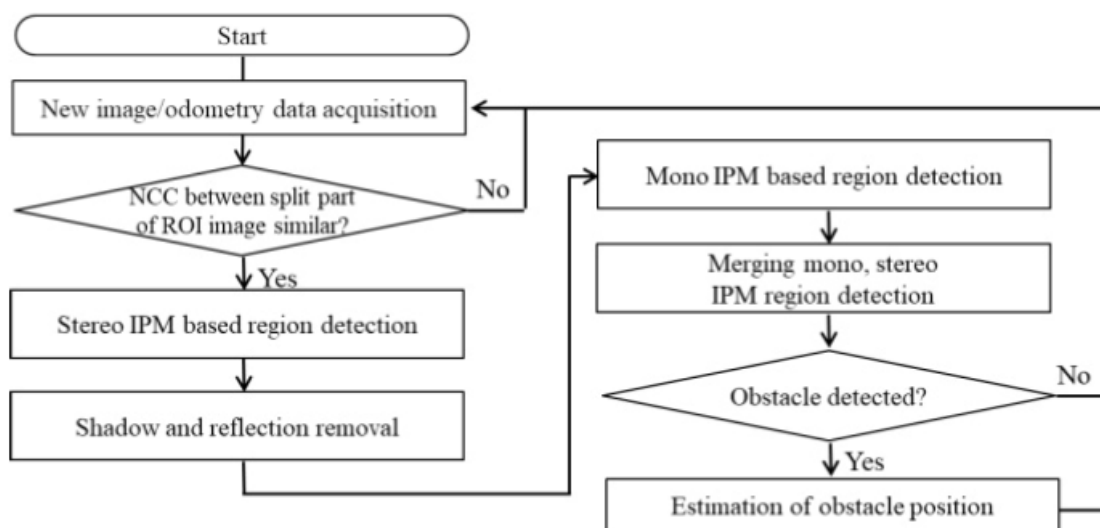


Рисунок 2.8 – Блок-схема запропонованої стереосистеми виявлення перешкод

Запропонований спосіб виявлення перешкод використовує зображення нижньої ROI для виявлення лише найближчої перешкоди. Зображення ROI на 12 частин, і нормалізована перехресна кореляція між ними розраховується для швидкого визначення існування перешкоди. Виявлення області на основі зворотнього перспективного відображення застосовується як за допомогою стереообразів, так і послідовних зображень. Триангуляція стерео відповідності використовується для усунення виявлення тіні та відбиття оскільки висота тіні і відбиття оцінюються під землею. Ці області виявлення виявляються об'єднаними, щоб розрізнити існування перешкод. Нарешті, положення перешкоди оцінюється за допомогою стерео-відповідності перешкоди. Запропонований спосіб виявлення перешкод призначений для роботи над дешевими роботами. Запропонований спосіб не використовує «тонкий» процес виявлення, необхідний для точного позначення перешкоди на зображенні, а скоріше використовує лише грубе виявлення для перевірки наявності перешкоди перед роботом.

Виявлення регіону на основі зворотнього відображення є основною ідеєю запропонованого виявлення перешкод. Обчислюється обернене перспективне відбиття між двома зображеннями і знаходиться різниця між зображенням в

перспективі і реальним зображенням. Виявлення регіонів обробляються з використанням як стерео, так і моно зворотного перспективного відображення.

Ф. д'Аполіто [10] у своїй роботі запропонував дещо інший підхід, який також реалізований за допомогою стереокамери. Для виявлення перешкоди був використаний підхід «першого поверху». Він полягає у розгляді як перешкоди всього, що знаходиться над «першим поверхом». Такий підхід складається з двох етапів:

- видалення основної площини за допомогою алгоритму RANSAC [11];
- сегментація хмари точок за допомогою вилучення евклідового кластера [12].

2.4 Методи підвищення здатності виявлення перешкод

У той же час М. Оудван [13] пропонує підвищити здатність виявлення шляхом зменшення сліпих зон. Вузол виявлення перешкод передбачений для гвинтокрилого безпілотної і містить пристрій виявлення перешкод, що має моторизовану опору обертання та блок виявлення перешкод, що обертається на опорі. Блок має щонайменше один датчик виявлення перешкод, що має лінію зору, і модуль орієнтації, сконфігурований для управління опорною. У даному випадку у блоці використовуються дві стереокамери.

Коли з'являється перша перешкода попереду дрона, можливо тримати дрон орієнтованим до цієї першої перешкоди, рухати дрон бічно за допомогою направлення блоку виявлення перешкод у бік, щоб виявити потенціальну другу перешкоду розташовану на стороні дрону, до моменту поки безпілотної зрушиться в бік відносно першої перешкоди і зможе продовжувати просуватися. Блок виявлення перешкод на рухомій опорі монтований на безпілотної показаний на рисунку 2.9.

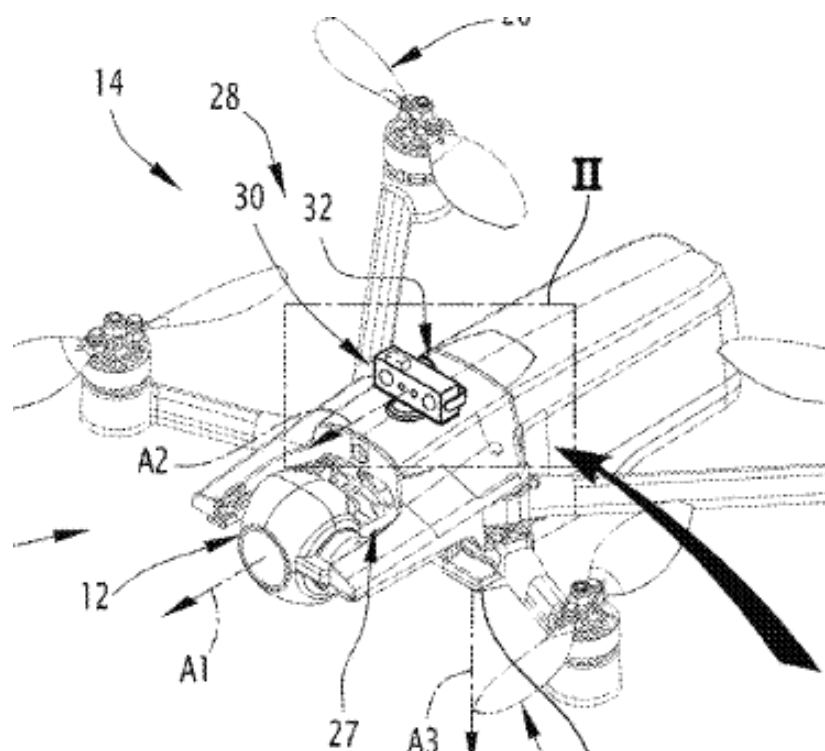


Рисунок 2.9 – Блок виявлення перешкод на рухомій опорі монтований на безпілотник

Для більш ефективного уникнення перешкод А. Ценси [14] пропонує використовувати DVS. На відміну від звичайної камери CMOS, вихід DVS – це послідовність асинхронних подій, а не звичайні кадри. Кожен піксель створює подію, коли сприйнята яскравість збільшується та зменшується під певним порогом. Ці обчислення проводяться за допомогою аналогової схеми, зміщення якої можна налаштувати для зміни чутливості пікселів та інших динамічних властивостей. Потім події помічаються часом і стають доступними для програми за допомогою цифрової схеми. DVS має можливість фіксувати лише рух: події не створюються, якщо нічого не рухається у полі зору камери і камера нерухома. За допомогою DVS можна досягти мікросекундної затримки у порівнянні з мілісекундною затримкою при роботі з CMOS. У DVS дуже низька роздільна здатність: 128×128 пікселів (рис. 2.10).

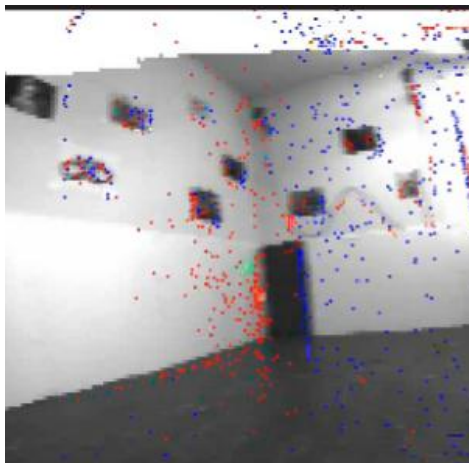


Рисунок 2.10 – Приклад зображення DVS

2.5 Формули дальності виявлення перешкод

Кожушко Я. М. [15] пропонує для розрахунку дальності дії лазера формулу (2.1), яка також підходить для розрахунку дальності виявлення перешкод:

$$D = \sqrt[4]{\frac{E_{\text{л}} \cdot S_{\text{об}} \cdot d_{\text{пр}}^2 \cdot \rho_{\text{об}} \cdot \tau_{\text{вип}} \cdot \tau_{\text{пр}} \cdot \tau_{\text{пс}}}{\pi \cdot \gamma^2 \cdot q \cdot E_{\text{пор}}}}, \quad (2.1)$$

де $E_{\text{л}}$ – енергія випромінювання лазерного джерела;

$S_{\text{об}}$ – площа розсіювання об'єкта; γ плоский кут розбіжності лазерного випромінювання;

$d_{\text{пр}}$ – діаметр об'єктива приймальної оптичної системи;

q – відношення сигнал/шум;

$\rho_{\text{об}}$ – коефіцієнт відбиття поверхні об'єкта;

$E_{\text{пор}}$ – порогова енергія прийнятого сигналу, що реєструється фотоприймачем;

$\tau_{\text{вип}}, \tau_{\text{пр}}$ – коефіцієнти пропускання випромінюючого та прийомного оптичних трактів відповідно;

τ_{nc} – коефіцієнт пропускання повітряного середовища в зоні охорони.

Б. Хеслер [16] пропонує наступну формулу (2.2) для розрахунку максимальної дальності, на якій цільова точка може бути виявлена електрооптичною системою:

$$R = \sqrt{\frac{\int_0^{\infty} r(\lambda) \cdot I_t(\lambda) \cdot d\lambda}{NEI}}, \quad (2.2)$$

де $\tau(\lambda)$ – атмосферна передача;

$I_t(\lambda)$ – потік випромінювання;

NEI – порогове опромінення.

В результаті огляду методів виявлення перешкод, було зроблено висновок, що найбільш ефективним є виявлення перешкод за допомогою радара, оскільки він здатний виявляти перешкоди незалежно від освітлення, диму, пилу чи туману. Радар може виявляти лінії електропередачі, телефонні лінії, повітряні антени або дротяні огорожі [8]. Серед методів підвищення здатності виявлення перешкод перспективним являється метод М. Оудван [13], основою якого являється рухома опора. А також метод А. Ценси [14], який пропонує використовувати DVS. Для подальшого розрахунку дальності виявлення перешкоди різними видами випромінювання була обрана формула (2.2) Б. Хеслер [16].

3 ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ РОБОТИ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ПЕРЕШКОД

Різні види випромінювання мають різні коефіцієнти поглинання і коефіцієнти розсіяння атмосферою, що має враховуватись при виборі джерела випромінювання, з яким дрон буде працювати. Загальне ослаблення випромінювання в атмосфері обумовлено двома основними процесами:

- поглинанням газовими компонентами, в результаті якого відбувається перетворення енергії випромінювання в інші її види;
- молекулярним і аерозольним ослабленням, або розсіюванням, що складається в зміні спрямованості випромінювання. Поглинання викликано наявністю в атмосфері ряду речовин (води, вуглекислого газу, озону та іншого), що мають спектральні смуги поглинання в оптичній області. Розсіювання енергії випромінювання на частинках, з яких складається середовище – це відхилення потоку від первинного напрямку й можливе поглинання енергії речовиною цих частинок. Крім того, може мати місце молекулярне розсіювання випромінювання, а іноді й випромінювання газів і часток, що складають атмосферу.

3.1 Фізичні принципи дії систем виявлення перешкод

Ультразвукові хвилі. Ультразвуковий датчик (рис. 3.1) визначає відстань до об'єкта, вимірюючи час відбиття звукової хвилі від об'єкта.

Частота звукової хвилі знаходиться в межах частоти ультразвуку (вище 20 кГц), що забезпечує концентрований напрямок звукової хвилі, так як звук з високою частотою розсіюється в навколишньому середовищі менше. Типовий ультразвуковий датчик відстані складається з двох мембран, одна з яких генерує звук, а інша реєструє відображене відлуння.



Рисунок 3.1 – Ультразвуковий датчик на дроні

Звуковий генератор створює маленький, з деяким періодом ультразвуковий імпульс і запускає таймер.

Друга мембрана реєструє прибуття відображеного імпульсу і зупиняє таймер. Від часу таймера за швидкістю звуку можливо обчислити пройдену відстань звукової хвилі. Відстань об'єкта приблизно половина пройденого шляху звукової хвилі. Принцип роботи ультразвукового датчика зображений на рисунку 3.2.

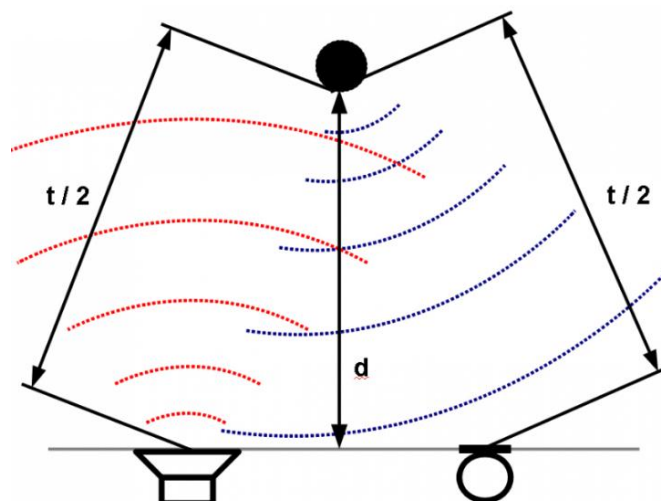


Рисунок 3.2 – Принцип роботи ультразвукового датчика

Радіохвилі. Радар (рис. 3.3) – це електромагнітна система, яка використовується для виявлення місця та відстані об'єкта від точки, де розміщений радар:

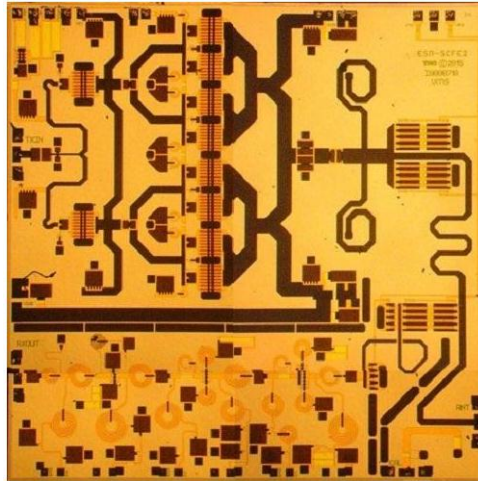


Рисунок 3.3 – Приклад радара розміром 6×6 мм

Радар працює шляхом випромінювання енергії в космос і контролю відлуння або відбитого сигналу від об'єктів. Він працює в ультрависокому діапазоні частот і мікрохвильовому діапазоні.

Радар, як правило, складається з передавача, який видає електромагнітний сигнал, який випромінюється в космос антеною. Коли цей сигнал попадає у будь-який об'єкт, він відбивається або перевипромінюється у багатьох напрямках. Цей відбитий сигнал або відлуння приймається радіолокаційною антеною, яка доставляє його до приймача, де він обробляється для визначення географічної статистики об'єкта. Діапазон визначається обчисленням часу, зайнятого сигналом для подорожі з радара до цілі та назад. Місце розташування цілі вимірюється в куті, від напрямку максимальної амплітуди відлуння, на яке направлена антена. Для вимірювання дальності та розташування рухомих об'єктів використовується ефект Доплера.

Основні частини і принцип роботи радара (рис. 3.4):

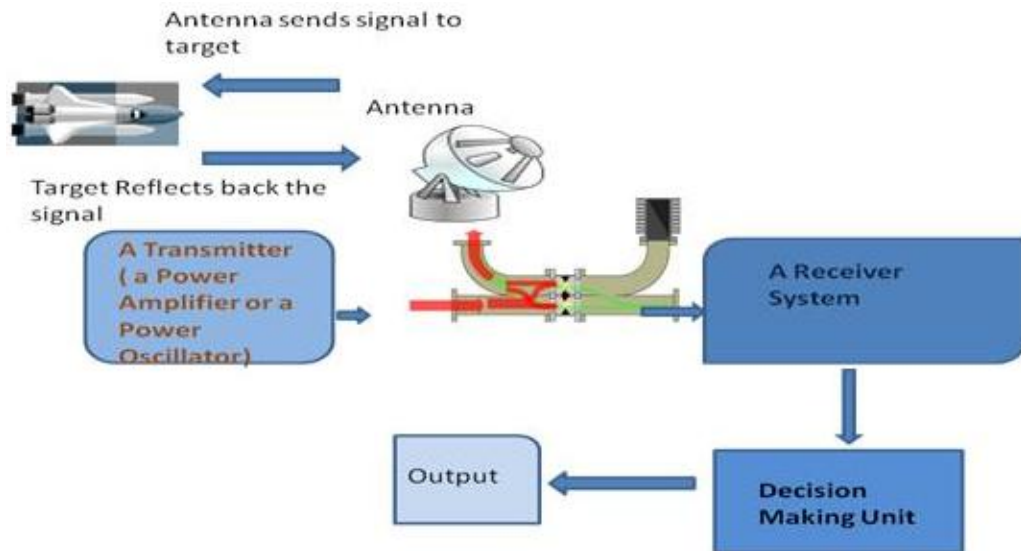


Рисунок 3.4 – Система і принцип роботи радара

Видиме випромінювання. Система зору дрона – під цим поняттям зазвичай мається на увазі цифрова камера з опорою (фіксатором) (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Камера на дроні DJI Mavic 2 Pro

Камера фіксує світлові фотони із видимого спектру (як правило) для перегляду людиною, але в цілому може бути і з інших частин електромагнітного спектру. Видимий діапазон: 380-760 нм (395-790 ТГц). Усі

камери використовують однакову основну конструкцію: світло надходить у закриту коробку через збіжну або опуклу лінзу, а зображення записується на світлочутливий носій. Механізм затвору регулює тривалість часу напрутязі якого світло може потрапляти в камеру. Більш детально принцип роботи камери зображений на рисунку 3.6.

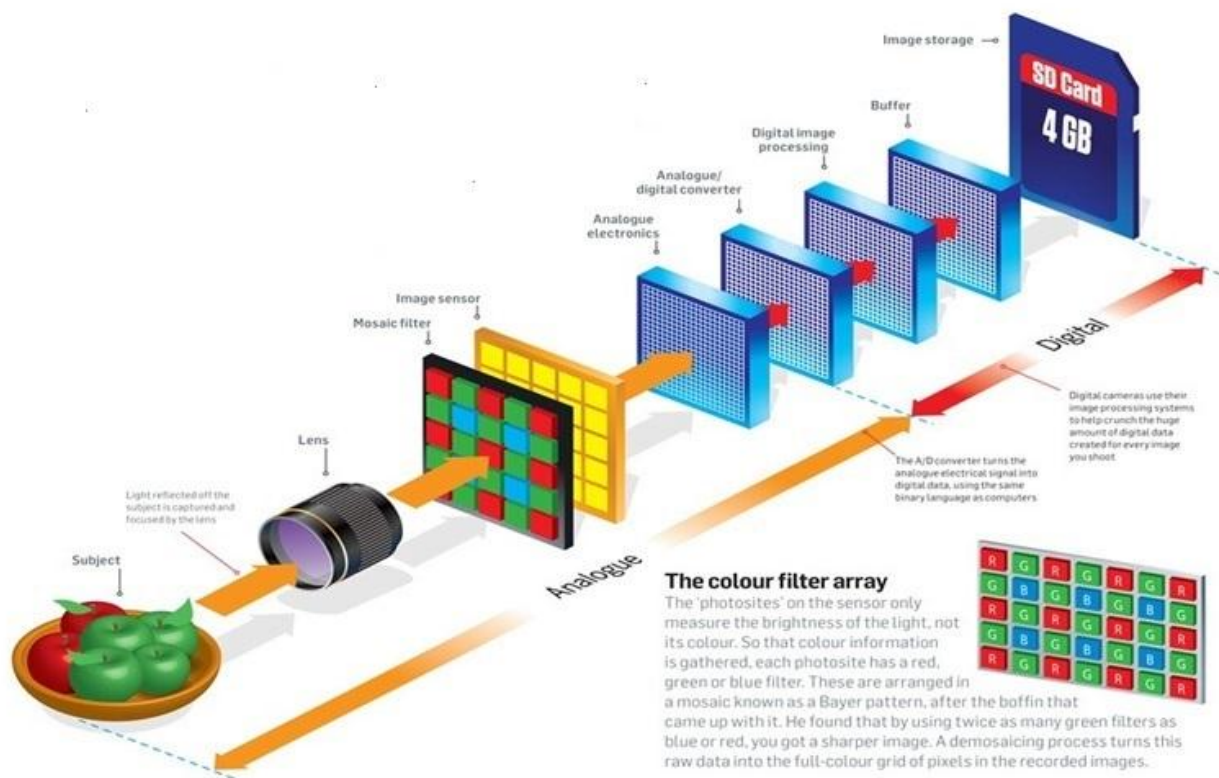


Рисунок 3.6 – Принцип роботи цифрової камери

Видиме випромінювання. Стереовізійні методи використовують дві камери, щоб побачити один і той же об'єкт (рис. 3.7). Дві камери розділені базовою лінією, відстань для якої передбачається точно відомою. Дві камери одночасно фіксують два зображення. Два зображення аналізуються, щоб відмітити відмінності між зображеннями. По суті, потрібно точно визначити однаковий піксель в обох зображеннях, відомий як проблема відповідності між двома камерами.

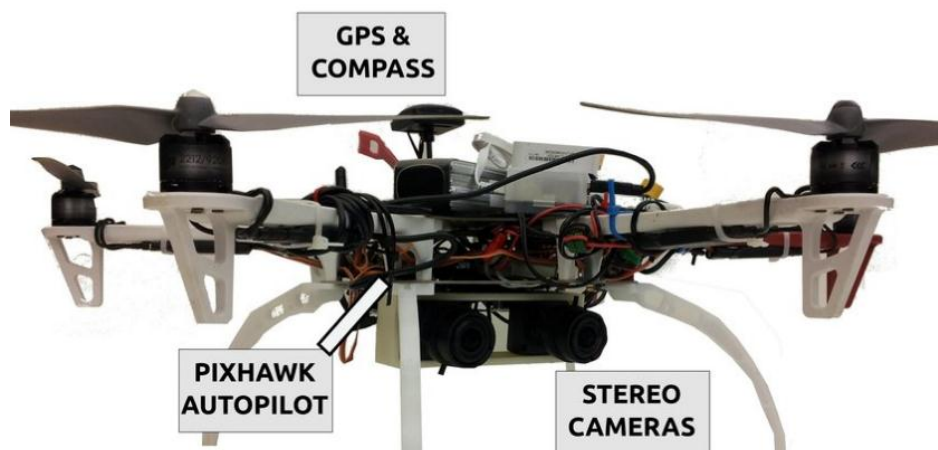


Рисунок 3.7 – Стереокамера на дроні

Такі функції, як кути, можна легко знайти в одному зображенні, а те саме можна знайти в іншому зображенні. Можна знайти невідповідність між зображеннями, щоб отримати орієнтовні області на іншому зображенні, відповідні тим самим областям першого зображення, для яких можна використовувати невеликий пошук. Невідповідність допомагає отримати глибину точки, яка дозволяє проектувати її у 3D-світі, який використовується для навігації. Принцип роботи стереокамери зображений на рисунку 3.8:

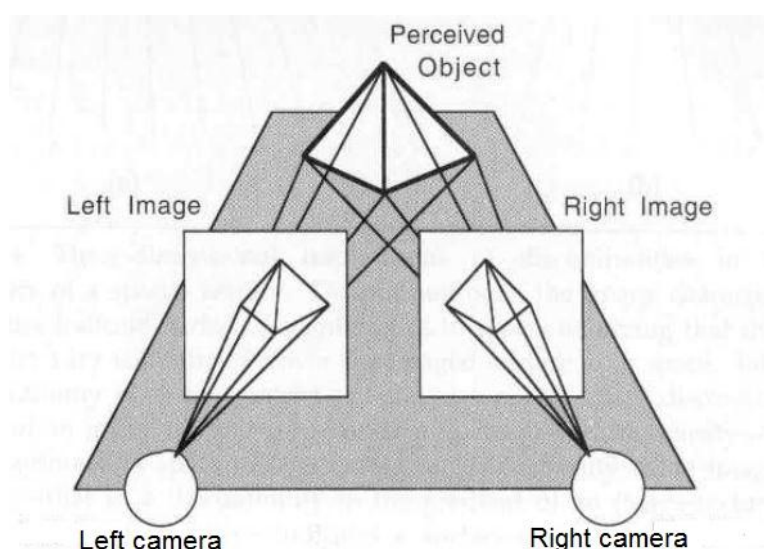


Рисунок 3.8 – Принцип роботи стереокамери

ІЧ-випромінювання. ІЧ-датчик (рис. 3.9).

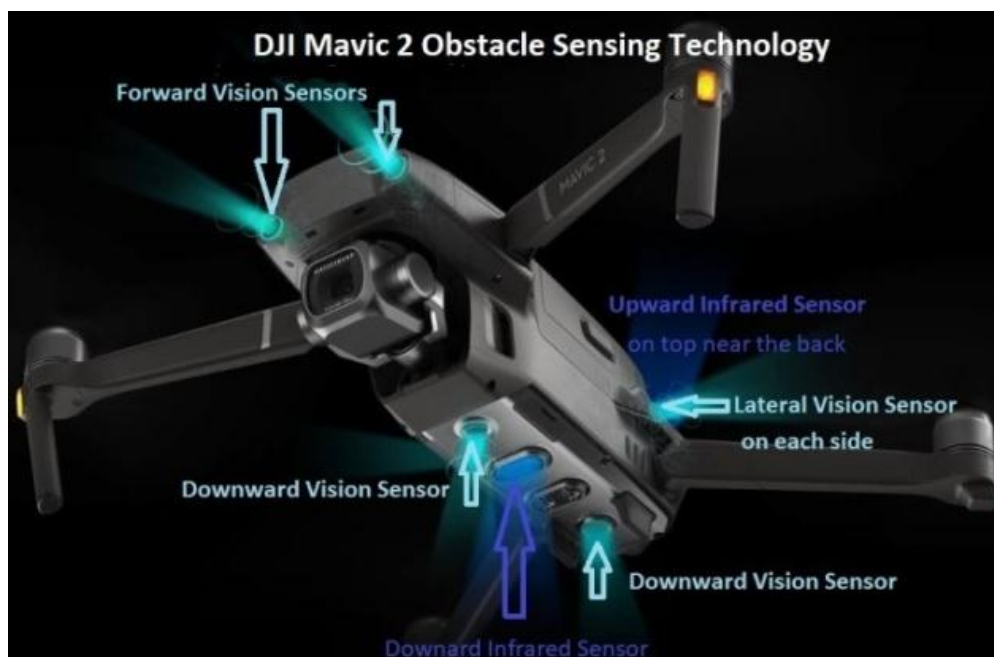


Рисунок 3.9 – ІЧ-датчик на дроні DJI Mavic 2

Принцип роботи ІЧ-датчика, що працює як датчик виявлення об'єктів, показаний на рисунку 3.10.

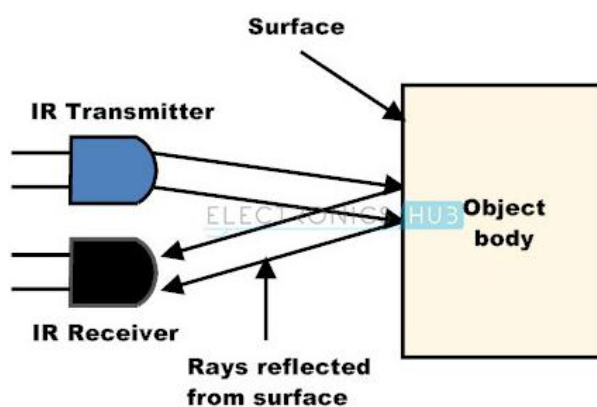


Рисунок 3.10 – Принцип роботи ІЧ-датчика

ІЧ-датчик складається з ІЧ-світлодіода та ІЧ-фотодіода.

Діапазон ІЧ-випромінювання 0,75-1000 $\mu\text{м}$ (0,3-430 ТГц). Коли ІЧ-передавач випромінює випромінювання, воно досягає об'єкта, і частина випромінювання відбивається назад до ІЧ-приймача.

3.2 Ослаблення різних видів випромінювання в залежності від погодних умов і поглинання атмосферою

На рисунку 3.11 представлені графіки залежності коефіцієнту передачі від довжини хвилі (оптичний діапазон) для основних атмосферних газів [17].

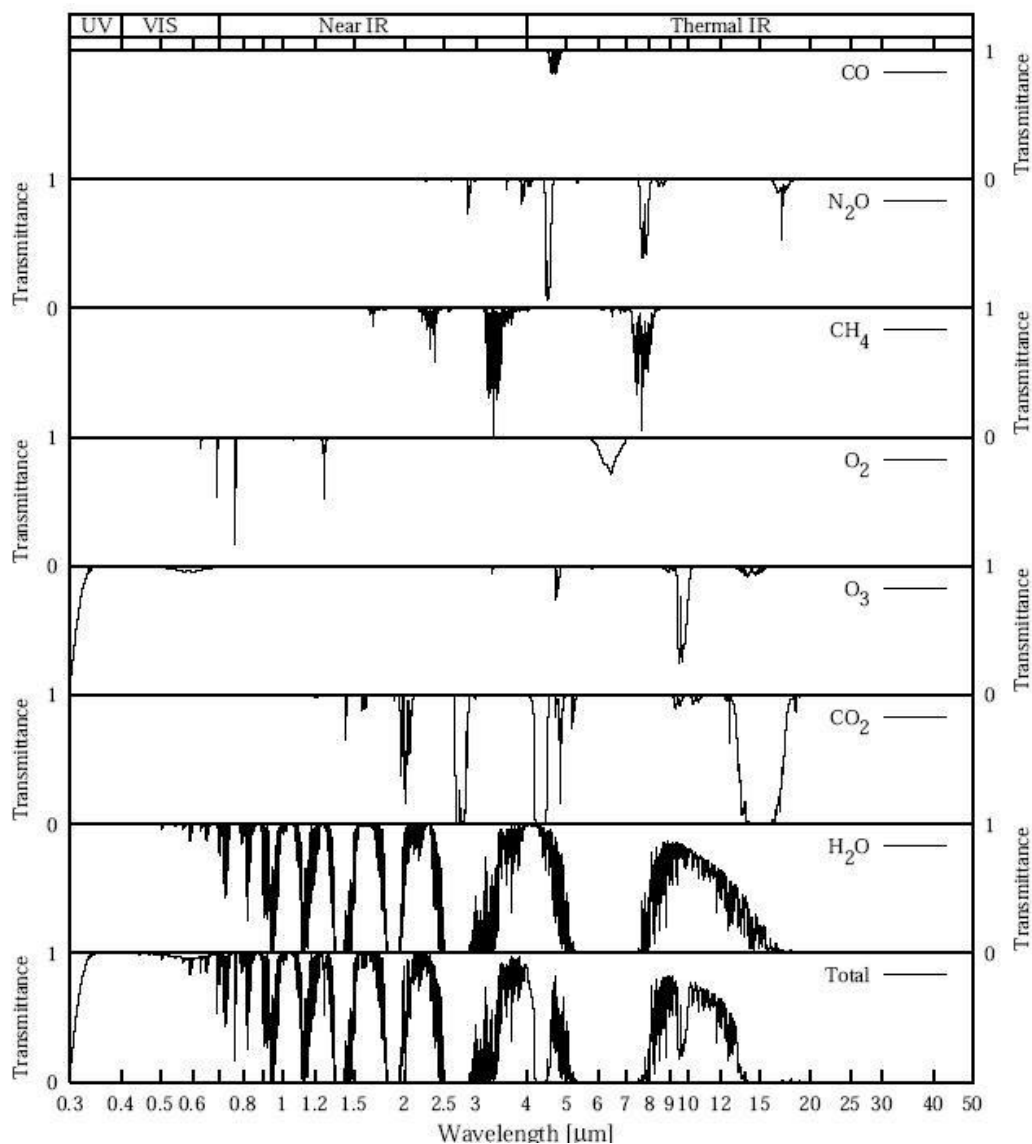


Рисунок 3.11 – Графіки залежності коефіцієнту передачі від довжини хвилі (оптичний діапазон) для основних атмосферних газів

Залежність ослаблення ультразвуку від частоти в залежності від різних погодних умов й поглинання атмосферою (рис. 3.12) [18].

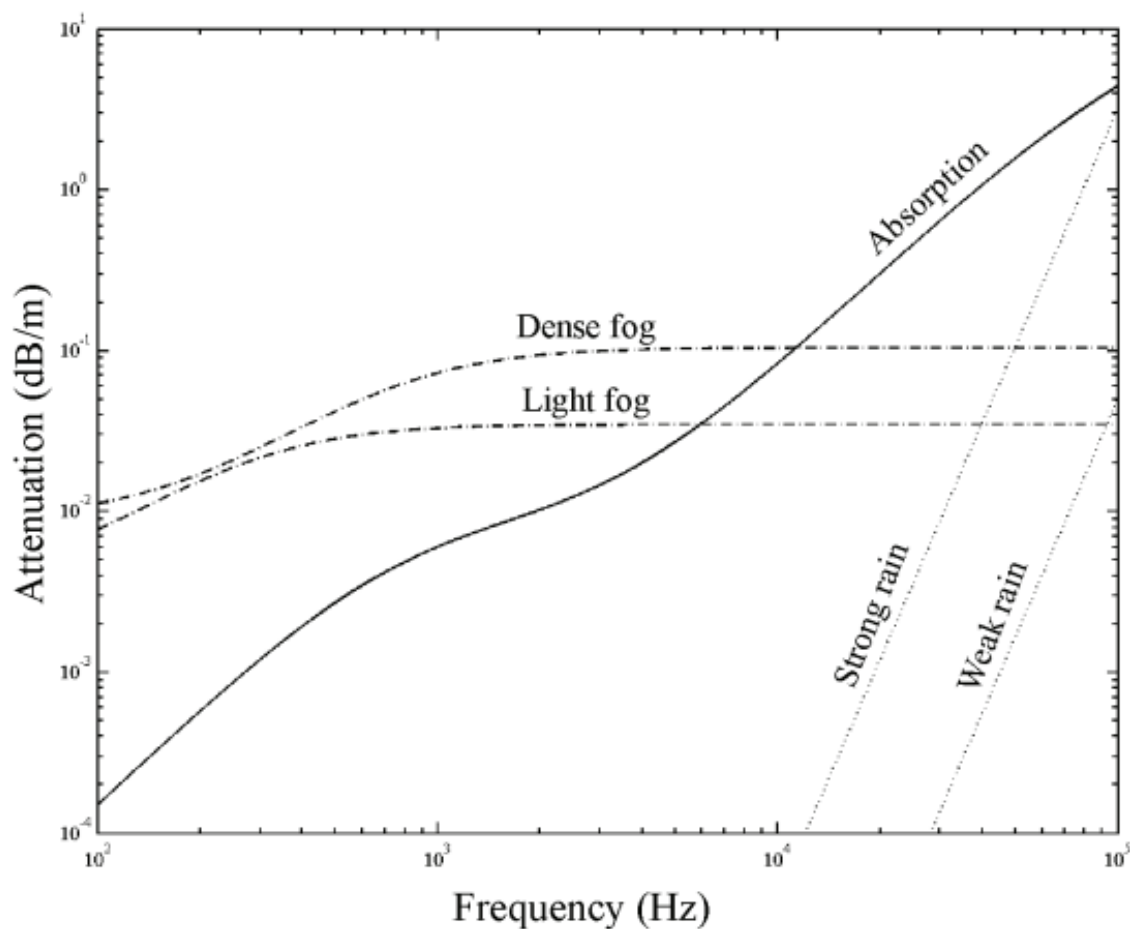


Рисунок 3.12 – Залежність ослаблення від частоти ультразвуку в залежності від погодних умов й поглинання атмосферою

На рисунку 3.13 представлені графіки залежності величини ослаблення від довжини хвилі для міліметрового діапазону для основних атмосферних газів [19].

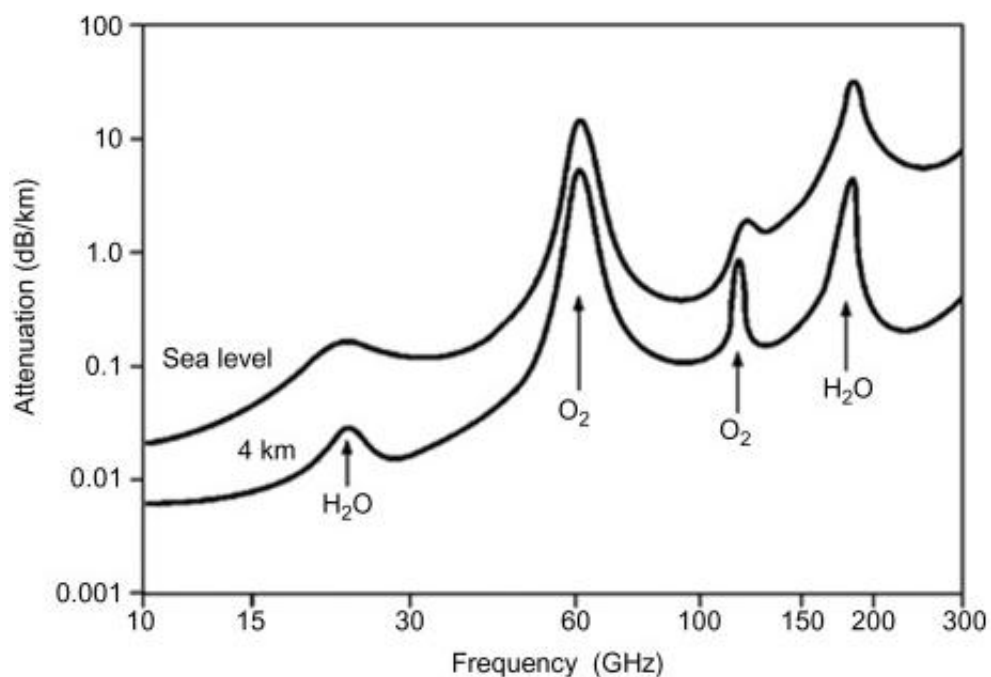


Рисунок 3.13 – Графіки залежності ослаблення від довжини хвилі для міліметрового діапазону для основних атмосферних газів

На рисунку 3.14 представлена таблиця, в якій відображена залежність зворотних коефіцієнтів згасання звукових коливань від атмосферних умов [20]:

Atmospheric condition	μ^{-1} (m) at 50 Hz	μ^{-1} (m) at 200 Hz
Mostly sunny, light wind	990	62
Mostly sunny, moderate wind	980	61
Mostly sunny, strong wind	950	59
Mostly cloudy, light wind	2900	180
Mostly cloudy, moderate wind	2800	180
Mostly cloudy, strong wind	2600	1160

Рисунок 3.14 – Таблиця зворотних коефіцієнтів згасання звукових коливань в залежності від різних атмосферних умов

Таблиця ослаблення сигналу на різних частотах (і частотах радара) в залежності від погодних умов зображено на рисунку 3.15 [21]:

Table 2.5 Approximate ranges of extinction coefficients of atmospheric obscurants (Np/km).

Atmospheric Obscurant	Spectral Region				
	Visible 0.4 to 0.7 μm	Mid IR 3 to 5 μm	Far IR 8 to 12 μm	MMW (35 GHz) 8.6 mm	MMW (95 GHz) 3.2 mm
Gases	Very low: $\cong 0.02$	Low/med: 0.25 to 0.73	Very low/med: 0.03 to 0.8	Very low: 0.02 to 0.06	Very low/low: 0.03 to 0.2
Haze	Low/med: 0.2 to 2.0	Very low/med: 0.02 to 1.0	Very low/low: 0.02 to 0.4	Very low: $\cong 0.001$	Very low: $\cong 0.001$
Fog	High: 2.0 to 20	Very low/med: 1.0 to 20	Med/high: 0.4 to 20	Very low/low: 0.001 to 0.1	Very low/low: 0.01 to 0.4
Rain	Low/med: 0.3 to 1.6	Low/med: 0.3 to 1.6	Low/med: 0.3 to 1.6	Very low/med: 0.05 to 1.0	Low/med: 0.3 to 2.0
Snow	Med/high: 2.0 to 12	Med/high: 2.0 to 12	Med/high: 2.0 to 12	Very low/med: 0.004 to 1.0	Very low/med: 0.03 to 1.0
Dust	Low/high: 0.2 to 4.0	Low/high: 0.2 to 4.0	Low/high: 0.2 to 4.0	Very low: 0.0005 to 0.005	Very low: 0.0005 to 0.005

Рисунок 3.15 – Таблиця ослаблення сигналу на різних частотах (і частотах радара) в залежності від погодних умов

Таблиця видимості й ослаблення видимої довжини хвилі 555 нм від різних погодних умов зображена на рисунку 3.16 [22]:

International visibility code					
Weather conditions	Precipitation		Visibility (m)	Attenuation (dB/km)	
		(mm/h)			
Dense fog			0		
Thick fog			50	315	
Moderate fog			200	75	
Light fog			500	28.9	
Very light fog	Storm	100	770	18.3	
			1000	13.8	
Light mist	Snow	Strong rain	25	1900	6.9
				2000	6.6
Very light mist	Snow	Average rain	12.5	2800	4.6
				4000	3.1
Clear air	Snow	Light rain	2.5	5900	2
				10,000	1.1
Very clear air	Drizzel	0.25	18,100	0.6	
			20,000	0.54	
			23,000	0.47	
			50,000	0.19	

Рисунок 3.16 – Таблиця видимості й ослаблення видимої довжини хвилі 555 нм від різних погодних умов

Таблиця видимості й ослаблення ІЧ-випромінення 8-12 μm в залежності від різних погодних умов зображена на рисунку 3.17 [23]:

Weather Condition	Extinction Coefficient
Haze	0.105
Light fog	1.9
Moderate fog	3.5
Heavy fog	9.2
Light rain	0.36
Moderate rain	0.69
Heavy rain	1.39
Light snow	0.51
Moderate snow	2.8
Heavy snow	9.2
Very clear and dry	0.05
Clear	0.08

Рисунок 3.17 – Таблиця видимості й ослаблення ІЧ-випромінення 8-12 μm в залежності від різних погодних умов

Результатами даного розділу являються розглянуті фізичні принципи дії систем виявлення перешкод. Також розглянуте ослаблення різних видів випромінювання в залежності від погодних умов і поглинання атмосферою. Найменше атмосфера впливає на видимий діапазон (зокрема на $\lambda = 555\text{nm}$), на деякі довжини хвиль у ІЧ-діапазоні, серед яких $\lambda = 4\ \mu\text{m}$ і $\lambda = 8-12\ \mu\text{m}$, та на деякі довжини хвиль у міліметровому діапазоні, серед яких $\lambda = 3.2\ \text{mm}$ (93.75 ГГц).

4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ПЕРЕШКОД

4.1 Розрахунок дальності виявлення перешкоди різними видами випромінювання

Основаючись на результатах огляду методів виявлення перешкод й фізичні принципи роботи систем виявлення перешкод, для подальших розрахунків були обрані наступні види випромінювання: видиме випромінювання ($\lambda = 555 \text{ нм}$), ІЧ-випромінювання ($\lambda = 8\text{-}12 \mu\text{м}$) й радіохвилі ($\lambda = 3.2 \text{ мм}$). В якості прототипу для розрахунків взятий один з найбільш популярних дронів [24] на сьогоднішній день – Mavic 2 Pro [25]. Для повної функціональності дрону, необхідне мінімальне освітлення ($E_v = 300 \text{ лк}$).

Для розрахунків скористаємося формулою (2.2). Для цього розраховуємо потік випромінювання (енергетичну величину) по формулі (4.1):

$$I_t = \Phi_e = \frac{E_v}{683} \cdot S_e, \quad (4.1)$$

де S_e – площа опромінення ($S_e = 1 \text{ м}^2$). Тоді при підстановці численних значень у формулу (4.1):

$$I_t = \frac{300}{683} \cdot 1 = 0.439 \text{ [Вт]}.$$

Для обчислення NEI [26] обчислюємо енергетичну освітленість (енергетичну величину) по формулі (4.2):

$$\text{NEI} = E_e = \frac{E_v}{683}, \quad (4.2)$$

де E_v – порогова освітленість сенсора ($E_v = 3.2$ лк). В якості порогової освітленості взяті дані з даташиту Exmor CMOS сенсора (1 inch; 13.2×8.8 mm) [27], який є аналогічним тому, що встановлений на Mavic 2 Pro. Тоді при підстановці численних значень у формулу (4.2):

$$NEI = \frac{3.2}{(10^{-3})^2} = 4.685 \times 10^3 \text{ [Вт/км}^2\text{]}$$

Опираючись на дані рисунків (3.14-3.17), обчислюємо атмосферну передачу сигналу на різній довжині хвилі при різних погодних умовах по формулі (4.3):

$$\tau = e^{-\beta}, \quad (4.3)$$

де β – коефіцієнт ослаблення. Результати розрахунку представлені у таблиці 4.1 й на рисунку 4.1:

Таблиця 4.1 – Результати обчислення атмосферної передачі сигналу на різній довжині хвилі при різних погодних умовах

$\lambda = 555$ нм		$\lambda = 8-12$ мкм	
1		2	
Погодні умови	Атмосферна передача, τ	Погодні умови	Атмосферна передача, τ
Дуже сильний туман	0	Сильний туман	$1.01 \cdot 10^{-4}$
Сильний туман	$3.075 \cdot 10^{-9}$	Помірний туман	0.03
Помірний туман	$4.016 \cdot 10^{-4}$	Слабкий туман	0.15

Продовження таблиці 4.1

1		2	
Слабкий туман	0.02	Дуже слабкий туман (або сильний дощ)	0.249
Дуже слабкий туман (або сильний дощ)	0.141	Димка (або помірний дощ)	0.502
Димка (або помірний дощ)	0.385	Легка димка (або невеликий дощ)	0.698
Легка димка (або невеликий дощ)	0.676	Ясна погода (або мілкий дощ)	0.923
Ясна погода (або мілкий дощ)	0.822	Дуже ясна погода	0.951
Дуже ясна погода	0.925		
Гранично ясна погода	0.986		
$\lambda = 3.2 \text{ мм}$			
Погодні умови		Атмосферна передача, τ	
Помірний дощ		0.018	
Помірний сніг		0.135	
Помірний туман		0.449	
Гази		0.67	
Пил		0.99	
Легка димка		0.998	

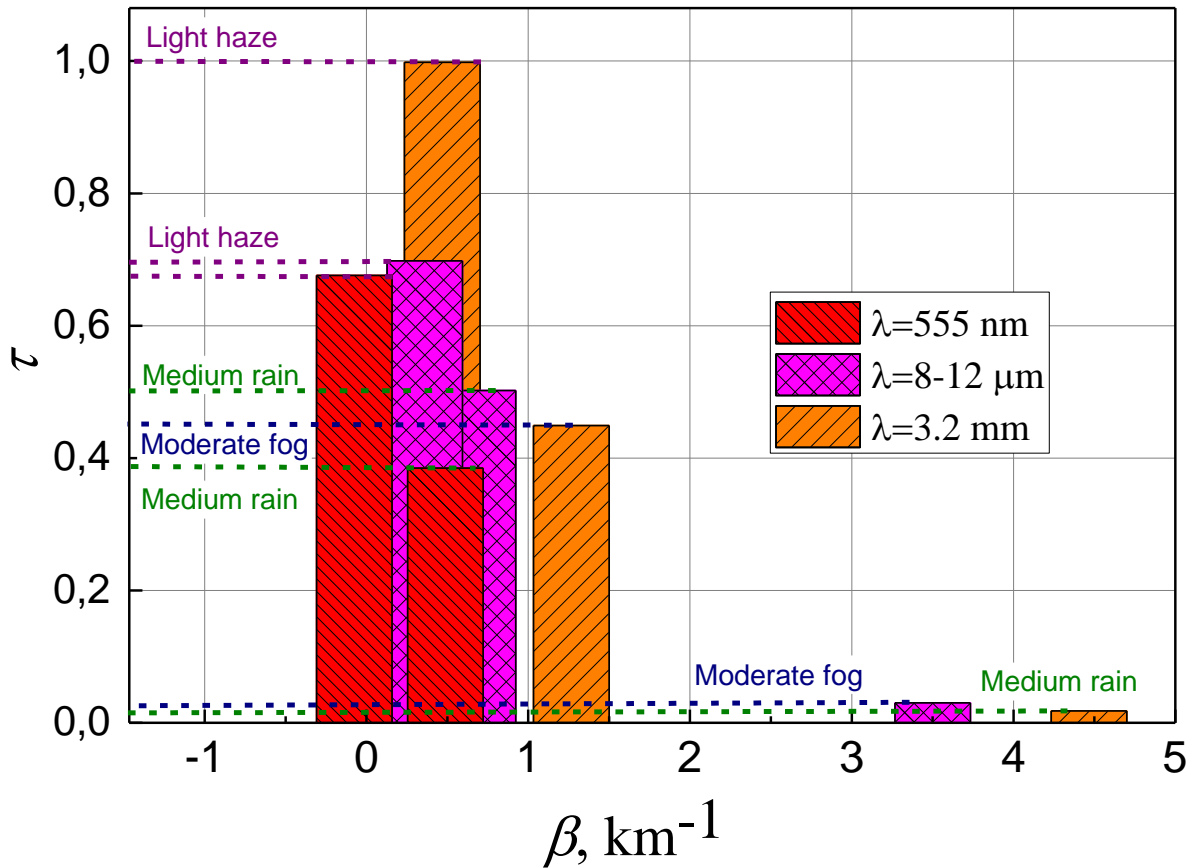


Рисунок 4.1 – Графік залежності атмосферної передачі сигналу на різних довжинах хвилі від коефіцієнта ослаблення для різних погодних умов

Далі обчислюємо дальність виявлення об'єкту по формулі (4.4):

$$R = \sqrt{\frac{\tau \cdot I_t}{NEI}} \quad (4.4)$$

Результати розрахунку представлені у таблиці 4.2 й на рисунку 4.2:

Таблиця 4.2 – Результати обчислення дальності виявлення об'єкту на різній довжині хвилі при різних погодних умовах

$\lambda = 555 \text{ нм}$		$\lambda = 8-12 \text{ }\mu\text{м}$	
Погодні умови	Дальність виявлення, км	Погодні умови	Дальність виявлення, км
Дуже сильний туман	0	Сильний туман	$9.733 \cdot 10^{-5}$
Сильний туман	$5.369 \cdot 10^{-7}$	Помірний туман	$1.683 \cdot 10^{-3}$
Помірний туман	$1.94 \cdot 10^{-4}$	Слабкий туман	$3.745 \cdot 10^{-3}$
Слабкий туман	$1.371 \cdot 10^{-3}$	Дуже слабкий туман (або сильний дощ)	$4.832 \cdot 10^{-3}$
Дуже слабкий туман (або сильний дощ)	$3.634 \cdot 10^{-3}$	Димка (або помірний дощ)	$6.857 \cdot 10^{-3}$
Димка (або помірний дощ)	$6.009 \cdot 10^{-3}$	Легка димка (або невеликий дощ)	$8.087 \cdot 10^{-3}$
Легка димка (або невеликий дощ)	$7.963 \cdot 10^{-3}$	Ясна погода (або мілкий дощ)	$9.303 \cdot 10^{-3}$
Ясна погода (або мілкий дощ)	$8.779 \cdot 10^{-3}$	Дуже ясна погода	$9.443 \cdot 10^{-3}$
Дуже ясна погода	$9.312 \cdot 10^{-3}$		
Гранично ясна погода	$9.614 \cdot 10^{-3}$		

Продовження таблиці 4.2

$\lambda = 3.2 \text{ мм}$	
Погодні умови	Дальність виявлення, км
Помірний дощ	$1.31 \cdot 10^{-3}$
Помірний сніг	$3.562 \cdot 10^{-3}$
Помірний туман	$6.49 \cdot 10^{-3}$
Гази	$7.927 \cdot 10^{-3}$
Пил	$9.634 \cdot 10^{-3}$
Легка димка	$9.673 \cdot 10^{-3}$

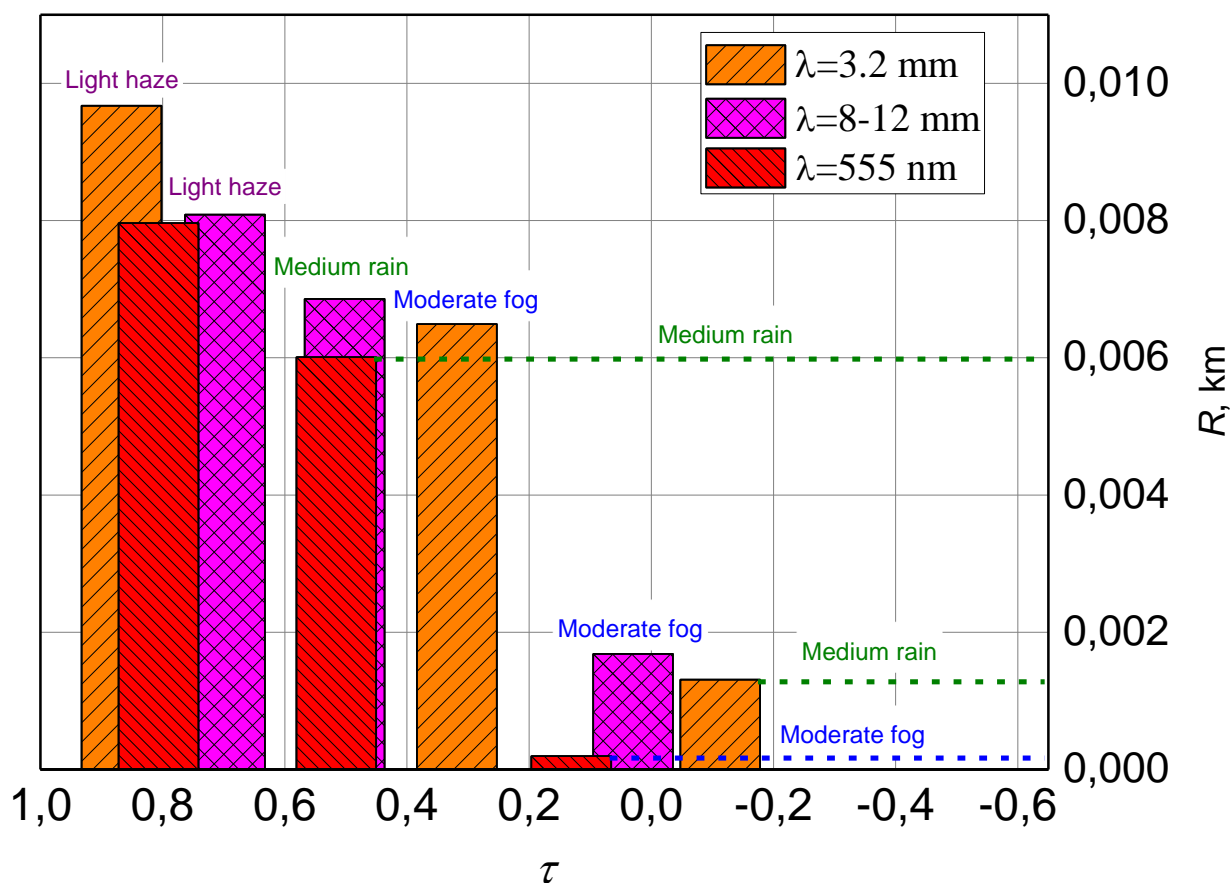


Рисунок 4.2 – Графік залежності дальності виявлення від атмосферної передачі

Для зручності отриманні дані представлені у вигляді залежності SNR від коефіцієнта передачі в таблиці 4.3 і на рисунку 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати обчислення дальності виявлення об'єкту на різній довжині хвилі при різних погодних умовах

$\lambda = 555 \text{ нм}$		$\lambda = 8-12 \text{ мкм}$	
Погодні умови	SNR, дБ	Погодні умови	SNR, дБ
Дуже сильний туман	0	Сильний туман	$4.388 \cdot 10^{-4}$
Сильний туман	0	Помірний туман	0.133
Помірний туман	$1.745 \cdot 10^{-3}$	Слабкий туман	0.704
Слабкий туман	0,088	Дуже слабкий туман (або сильний дощ)	1.244
Дуже слабкий туман (або сильний дощ)	0,659	Димка (або помірний дощ)	3.024
Димка (або помірний дощ)	2.113	Легка димка (або невеликий дощ)	5.195
Легка димка (або невеликий дощ)	4.9	Ясна погода (або мілкий дощ)	11.142
Ясна погода (або мілкий дощ)	7.496	Дуже ясна погода	13.118
Дуже ясна погода	11.247		
Гранично ясна погода	18.538		

Продовження таблиці 4.3

$\lambda = 3.2 \text{ мм}$	
Погодні умови	SNR, дБ
Помірний дощ	0.08
Помірний сніг	0.632
Помірний туман	2.591
Гази	4.819
Пил	20.022
Легка димка	26.994

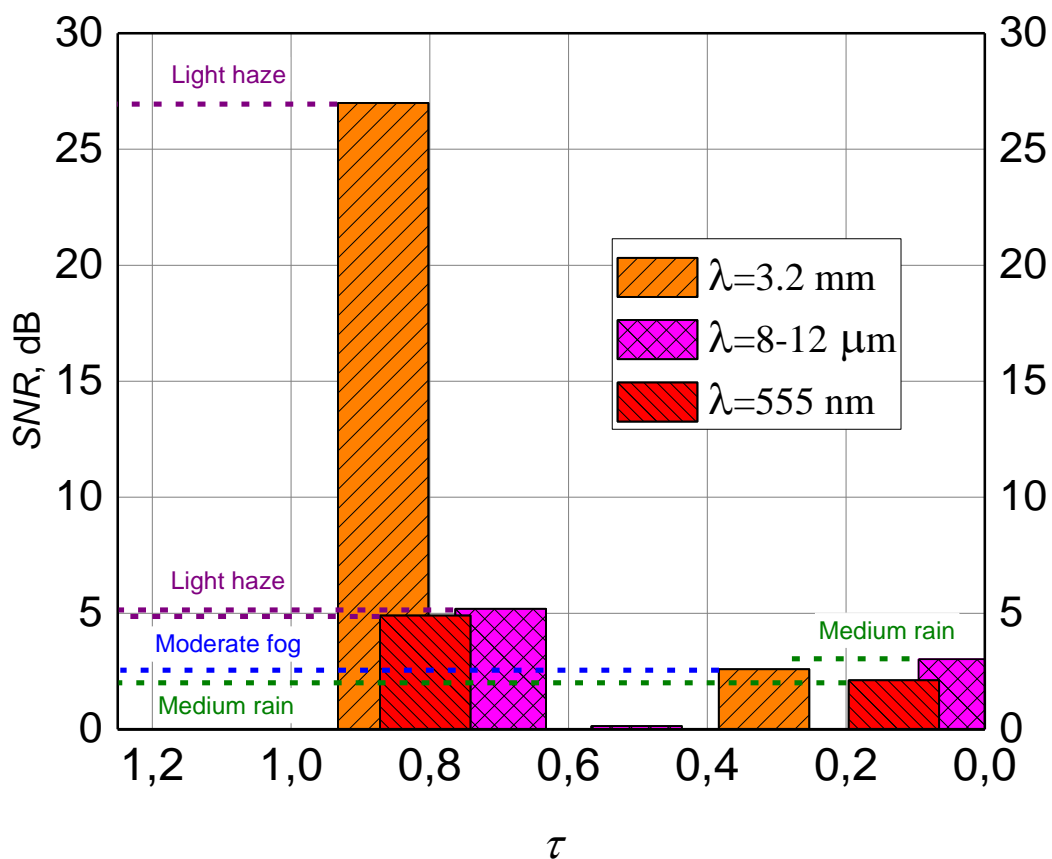


Рисунок 4.3 – Графік залежності SNR від атмосферної передачі

Опираючись на результати розрахунків можна зробити висновок, що обрані види випромінювання є досить перспективними і можуть компенсувати одне одного при різних атмосферних умовах.

4.2 Розробка структурної схеми системи виявлення перешкод

Основаючись на результатах огляду систем виявлення перешкод, методів виявлення перешкод, фізичних принципах роботи систем та результатах розрахунку була створена схема електрична структурна системи виявлення перешкод дрона (СВП) (рис. 4.4), а також описані блоки і компоненти, з яких вона складається і послідовність їх роботи:

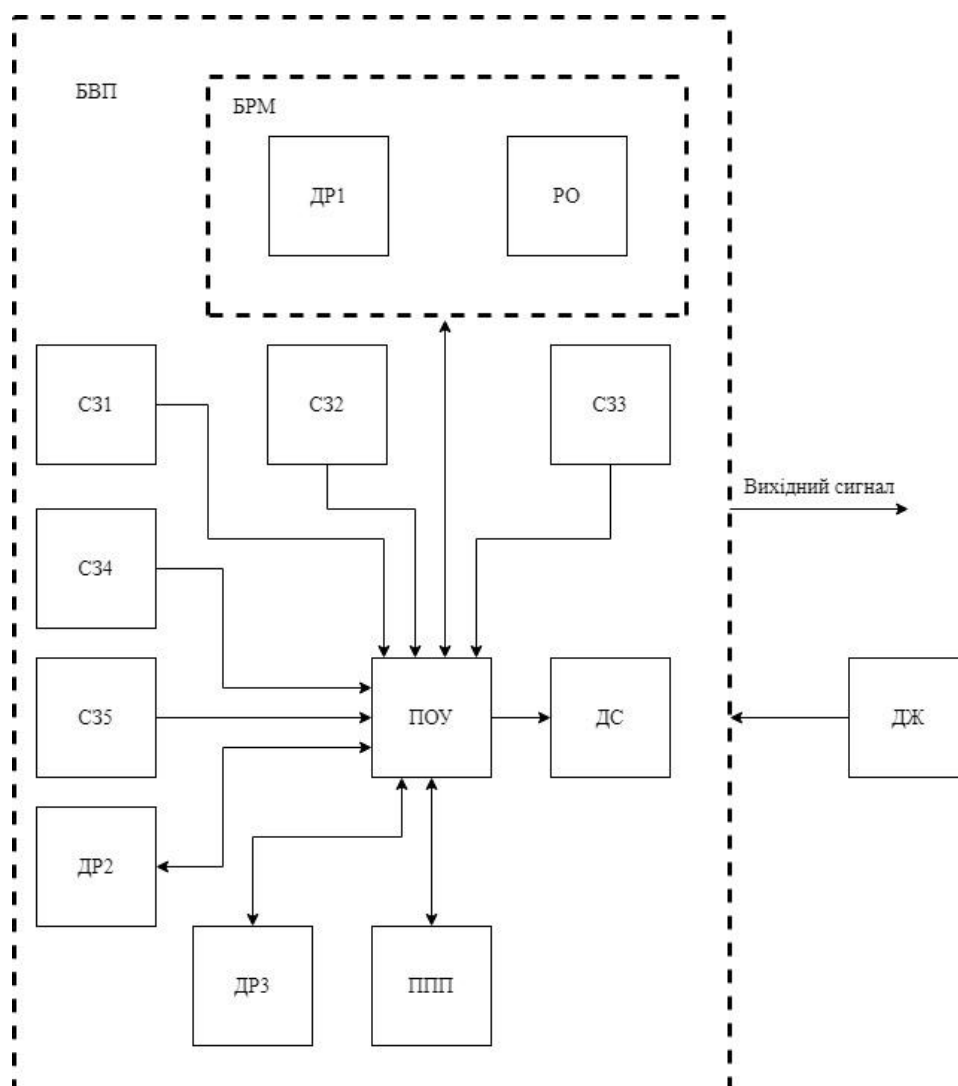


Рисунок 4.4 – Схема електрична структурна

Блок виявлення перешкод (БВП) реалізований наступним чином. Розвідка місцевості реалізована за допомогою датчиків розвідки (ДР1, ДР2, ДР3). Датчик розвідки (ДР1) й рухома опора (РО) об'єднані в один блок – блок розвідки місцевості (БРМ). Відео трансляція з дрону ведеться за допомогою систем зору (С31, С32, С33, С34) попереду, позаду, з боків і знизу. Автоматичне швидке уникнення загроз (перешкод) попереду дрону реалізовано за допомогою системи зору С35. Для безпеки пересування дрону в умовах темряви використовується джерело світла (ДЖ). Отримання і передача інформації оператору відбувається за допомогою приймально-передаючого пристрою (ППП). Функції пристрою обробки й управління (ПОУ):

- прийом, обробка інформації та відправка інформації за допомогою ППП або вихідного сигналу;
- керування живленням;
- керування БРМ;
- зберігання даних, які надходять з С35.

Живлення системи відбувається за допомогою джерела живлення (ДЖ).

Робота СВП реалізована наступним чином. Інформація про обрану оператором сторону дрона, якою він буде рухатись уперед, надходить до ППП. Далі інформація надходить до ПОУ. ПОУ включає відповідні СЗ, ДР (за необхідністю) й повертає у напрямку руху працюючий БРМ (за необхідністю). Інформація від них поступає у ПОУ, обробляється й передається в ППП, звідки інформація передається оператору. ДС вмикається ПОУ у випадку надходження відповідної команди з ППП на ПОУ. С35 надсилає інформацію до ПОУ, де вона обробляється й у випадку виявлення загрози (перешкоди), надсилає відповідний вихідний сигнал дрону.

4.3 Принцип роботи системи виявлення перешкод

Дана система являється напіваавтоматичною – більшість складових виконують програму, яка закладена у пам'ять ПОУ. Керування живленням

здійснюється ПОУ. Коли інформація про сторону, якою дрон буде рухатись уперед, надходить до ППП, вона передається до ПОУ. ПОУ обробляє отриману інформацію й в залежності від її змісту, надсилає команди на ввімкнення живлення відповідним СЗ, ДР й БРМ. БРМ також отримує команду повороту – в залежності від напрямку руху дрона. Після чого з ввімкнених СЗ, ДР і БРМ надходить інформація до ПОУ про навколишню обстановку з напрямку польоту. Звідки ця інформація (крім інформації с СЗ5), йде до ППП і відправляється оператору.

У випадку виявлення активної загрози (що знаходиться на потенційно небезпечній відстані) СЗ5, ПОУ надсилає вихідний сигнал.

Робота БРМ також керується оператором. При погіршенні погодних умов або для більш надійного визначення перешкод, оператор може дистанційно надіслати команду на підключення БРМ. БРМ компенсує роботу СЗ в умовах помірного туману й легкої димки (табл.).

ДС керує оператор – надсилає відповідну команду, яка надходить до ППП. ППП передає інформацію до ПОУ, де вона обробляється. Після чого ПОУ дає команду на ввімкнення живлення ДС.

В результаті розробки системи виявлення перешкод була розрахована дальність виявлення перешкоди наступними видами випромінювання: видиме випромінювання ($\lambda = 555$ нм), ІЧ-випромінювання ($\lambda = 8-12$ μ м) й радіохвилі ($\lambda = 3.2$ мм). Результати розрахунків показали, що обрані види випромінювання є досить ефективними в певних умовах. Так, наприклад, ММВ є найефективнішими в умовах помірного туману і легкої димки, у той час як ІЧ-випромінювання і видиме випромінювання може компенсувати дальність виявлення ММВ в умовах помірного дощу. У таблиці 4.2 також представлена дальність виявлення вищезгаданих видів випромінювання для інших погодних умов. Була створена схема електрична структурна системи виявлення перешкод дрона (СВП) (рис. 4.4), а також описані блоки і компоненти, з яких вона складається і послідовність їх роботи. Також був описаний принцип роботи даної системи.

ВИСНОВКИ

У результаті огляду у першому розділі існуючих систем виявлення перешкод були вивчені системи виявлення перешкод БПЛА, монокулярна система виявлення повітряних об'єктів, транспортні системи виявлення перешкод. Проаналізувавши дані системи, були виділені основні складові подібних систем: модуль зв'язку, модуль обробки і керування, джерело живлення, зорова система, сенсорні модулі, модуль пересування, модуль навігації. Представлені системи можуть бути інтегровані в засоби пересування. Згідно Ф. Херлігі [5], в його системі виявлення перешкод в якості датчика висоти може бути використаний ІЧ-датчик.

У результаті огляду у другому розділі методів виявлення перешкод, були розглянуті наступні методи: метод виявлення перешкод ультразвуковим сенсором, методи виявлення перешкод радаром, методи виявлення перешкод стереокамерою. Був зроблений висновок, що найбільш ефективним є виявлення перешкод за допомогою радара, оскільки він здатний виявляти перешкоди незалежно від освітлення, диму, пилу чи туману. Радар може виявляти лінії електропередачі, телефонні лінії, повітряні антени або дротяні огорожі [8].

У роботі були розглянуті методи підвищення здатності виявлення перешкод, такі як метод рухомої опори та метод DVS. Обидва методи є досить перспективними. Так, основою метода М. Оудван [13] являється рухома опора, яка повертає блок виявлення перешкод за командою оператора.. Метод А. Ценси [14] пропонує використовувати DVS, що допоможе вчасно реагувати на активні загрози (динамічні перешкоди).

У результаті розгляду формул дальності виявлення перешкоди для подальших розрахунків була обрана формула Б. Хеслер [16].

Результатами третього розділу являються розглянуті принципи дії систем виявлення перешкод. А саме, були розглянуті ультразвукові датчики, радари, камери, стереокамери, ІЧ-датчики. Також розглянуте ослаблення різних видів

випромінювання в залежності від погодних умов і поглинання атмосферою. Найменше атмосфера впливає на видимий діапазон (зокрема на $\lambda = 555$ нм), на деякі довжини хвиль у ІЧ-діапазоні, серед яких $\lambda = 4$ $\mu\text{м}$ і $\lambda = 8-12$ $\mu\text{м}$, та на деякі довжини хвиль у міліметровому діапазоні, серед яких $\lambda = 3.2$ мм (93.75 ГГц).

В результаті роботи у четвертому розділі була розрахована дальність виявлення перешкоди наступними видами випромінювання: видиме випромінювання ($\lambda = 555$ нм), ІЧ-випромінювання ($\lambda = 8-12$ $\mu\text{м}$) й радіохвилі ($\lambda = 3.2$ мм). Основуючись на отриманих результатах були побудовані: графік залежності SNR від коефіцієнта атмосферної передачі (рис. 4.3), графік залежності дальності виявлення від атмосферної передачі (рис. 4.2), таблиця 4.2 з результатами розрахунку дальності виявлення об'єкту на різних довжинах хвиль при різних погодних умовах та таблиця 4.3 з результатами розрахунку SNR об'єкту на різних довжинах хвиль при різних погодних умовах. Опираючись на результати розрахунків можна зробити висновок, що дані види випромінювання є досить ефективними в певних погодних умовах. Так, наприклад, MMW є найефективнішими в умовах помірного туману і легкої димки, у той час як ІЧ-випромінювання і видиме випромінювання може компенсувати дальність виявлення MMW в умовах помірного дощу. Основуючись на результатах огляду систем виявлення перешкод, методів виявлення перешкод, фізичних принципах роботи систем та результатах розрахунків була створена схема електрична структурна СВП дрона (рис. 4.4), а також описані блоки і компоненти, з яких вона складається і послідовність їх роботи. Також був описаний принцип роботи даної системи. Призначення розробленої системи – це виявлення перешкод в несприятливих погодних умовах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Tain-Wen Suen, Feng-Ling Liu, Y. Han, "UAV navigation obstacle avoidance system and method thereof", Patent US10393527B2, 2019.
2. O. Kotaba, J. Lukas, M. Sopata, "Systems and methods for monocular airborne object detection", Patent US9097532B2, 2015.
3. F. M. Naser, I. Gilitschenski, "Infrastructure-free nlos obstacle detection for autonomous cars", Patent US20200143179A1, 2020.
4. S. Zeng, W. Zhang, and B. B. Litkouhi, "Fusion of obstacle detection using radar and camera", Patent US 9.429,650 B2, 2016.
5. N. Ferris, P. Herlihy, "Three-dimensional pathway tracking system", Patent US20190077507A1, 2019.
6. Gibbs, G., Jia, H., & Madani, I. (2017). Obstacle Detection With Ultrasonic Sensors And Signal Analysis Metrics. Inair , 28, 173-182.
7. Hermann, D., Galeazzi, R., Anderson, J. C., & Blanke, M. (2015). Smart Sensor Based Obstacle Detection For High Speed Unmanned Surface Vehicle. Ifac , 4 (48), 190-197.
8. Using mmWave sensors to enhance drone safety and productivity [Електронний ресурс] // Texas Instruments. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ti.com/lit/wp/spyy001/spyy001.pdf>
9. Kim, Chul-hong, et al. "An Application of Stereo Camera with Two Different FoVs for SLAM and Obstacle Detection." 51 (2018): 148-153.
10. d’Apolito, F.; Sulzbachner, C. (2017): Obstacle Avoidance System Development for the Ardrone 2.0 using the tum_ardrone Package. IEEE Proceedings of the 4th Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems.
11. Plane model Consensus online documentation: http://pointclouds.org/documentation/tutorials/planar_segmentation.php#planar-segmentation, last visited 2017.

12. Rusu, R. (2009): "Semantic 3D Object Maps for Everyday Manipulation in Human Living Environments," PhD Dissertation, TU Muenchen.

Using mmWave sensors to enhance drone safety and productivity, SPYY001, Texas Instruments, 2017.

13. M. Oudwan, H. S. Fournier de Clausonne, "Obstacle detection assembly for a drone, drone equipped with such an obstacle detection assembly and obstacle detection method", US20200117197A1, Oct. 8, 2019.

14. A. Censi and D. Scaramuzza, "Low-latency event-based visual odometry," 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Hong Kong, 2014, pp. 703-710, doi: 10.1109/ICRA.2014.6906931.

15. Ya.M. Kozhushko, "The analysis of impact of severe weather conditions on the range of laser alarm systems for detection of diffusion reflective objects" // Weapons systems and military equipment. – 2016. – №3. – C.47.

16. Björn Hässler, Atmospheric Transmission Models for Infrared Wavelengths, Master thesis, Linköping University, (1998).

17. Sokolik, I., EAS8803 class lecture, Absorption by atmospheric gases in the IR, visible and UV spectral regions, School of Earth and Atmospheric Studies, Georgia Institute of Technology. Atlanta Georgia. September 3 2009.

18. Silva, S. R. editor (2009), Advances in SONAR Technology, InTech Publishing Inc., ISBN 978-3-902613-48-6, Vienna, Austria.

19. Kang, Min-soo & Kim, Bong-Su & Kim, Kwang-Seon & Byun, Woo-Jin & Song, Myung Sun & Oh, Seung-Hyeub. (2010). Wireless PtP system in E-band for gigabit ethernet.

20. R. J. Kozick, B. M. Sadler, and D. K. Wilson, "Signal processing and propagation for aeroacoustic sensor networks," in Distributed Sensor Networks, Second Edition: Image and Sensor Signal Processing, edited by S. S. Iyengar and R. R. Brooks (CRC Press, Boca Raton, FL, 2013), pp. 245–290.

21. Anon, 2012 –. Sensor and Data Fusion: A Tool for Information Assessment and Decision Making, 2nd ed., PM 222. Bellingham, WA: SPIE, 2012.

22. Ghasemi, A., A. Abedi, and F. Ghasemi, Propagation Engineering in Wireless Communications, 2nd ed., New York: Springer, 2016.

23. Plesa, C.; Turcanu, D.; Bodoc, V. The use of infrared radiation for thermal signatures determination of ground targets. Rom. J. Phys. 2006, 51, 63–72.

24. Swider M. The best drone 2020: DJI, Parrot and more for beginners and pros [Электронный ресурс] / M. Swider, M. Wilson // TechRadar. – 2020. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.techradar.com/news/best-drones>.

25. MAVIC 2 PRO/ZOOM User Manual [Электронный ресурс] // DJI. – 2019. – Режим доступа до ресурсу: https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2/Mavic_2_Pro_Zoom_User_Manual_v2.0_en_20191211.pdf.

26. Кононюк А.Е Основы фундаментальной теории искусственного интеллекта Книга 3 Зрительное восприятие изображений искусственным интеллектом Часть Системы тепловидения как расширяющие средства зрения в СИИ. Киев, Украина: «Освіта України», 2017. – 480 с.

27. Johnson A. Sony Cyber-shot DSC-QX100 First-impressions Review [Электронный ресурс] / Allison Johnson // Digital Photography Review. – 2013. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.dpreview.com/reviews/sony-cybershot-dsc-qx100/2>.