

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ АЕРОНАВІГАЦІЇ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідуючий кафедрою

Синеглазов В.М.

“ ____ ” _____ 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)
ВИПУСНИКА ОСВІТНЬО-КВАЛІФІКАЦІЙНОГО РІВНЯ
“МАГІСТР”

Тема: Система автоматизованого проектування системи візуальної
навігації

Виконавець: Таранов Д.В.

Керівник: професор Аблесімов О.К.

Нормоконтролер: доцент Тупіцин М. Ф.

Київ 2021

Національний авіаційний університет

Національний авіаційний університет

Факультет аеронавігації електроніки та телекомунікацій

Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані

технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **В. М. Синєглазов**

«___» _____ **2021 р.**

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи студента

Таранова Дениса Володимировича

1. Тема проекту (роботи): “ Система автоматизованого проектування системи візуальної навігації ”

2. Термін виконання проекту (роботи): з _____ 20__ р. до _____ 20__ р.

3. Вихідні данні до проекту (роботи): Розробка системи автоматизованого проектування системи візуальної навігації

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

1. Структура систем навігації 2. Структурна модель системи візуальної навігації 3. Алгоритмічне забезпечення системи візуальної навігації 4 . Оптимізація системи візуальної навігації методом об'єднання різних алгоритмів визначення ключових точок.

5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу:

1. Загальна структура безпілотного апарату 2. Загальна структура системи візуальної навігації 3. Принцип роботи алгоритму RANSAC 4. Схема фільтру згорткових мереж 5. Вхідне зображення з камер БПЛА 6. Визначення, опис та зіставлення особливих точок або наземних орієнтирів між двома зображеннями,

поточним та попереднім. 7. Схема часу обробки бортовим мікрокомп'ютером кількох кадрів різного розміру.

Анотація

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Система автоматизованого проектування системи візуальної навігації»

СИСТЕМА ВІЗУАЛЬНОЇ НАВІГАЦІЇ, СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ВІЗУАЛЬНА НАВІГАЦІЯ, ВІДЕОНАВІГАЦІЯ.

Об'єкт дослідження – система візуальної навігації безпілотного літального апарату.

Мета роботи – оптимізація алгоритмів роботи системи візуальної навігації завдяки використанню більш оптимальних алгоритмів визначення ключових точок та подальшого дублювання системи.

Метод дослідження – проектування, дослідження та вимірювання.

Розроблена система дозволяє зменшити навантаження на мікрокомп'ютер та задіяти звільнені потужності у дублюванні системи визначення ключових точок з використанням згорткових нейронних мереж для збільшення точності визначення координат БПЛА.

Матеріали роботи рекомендується використовувати при проведенні досліджень та розробці системи автоматизованого проектування систем візуальної навігації.

ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

- БПЛА – безпілотний літальний апарат
- СНС – супутникова навігаційна система
- ІНС – інерціальна навігаційна система
- СВН – система візуальної навігації
- МЕМС – мікроелектромеханічні системи
- ПЗ – програмне забезпечення
- ПК – персональний комп'ютер
- ОС – оптична система
- ТЗ – технічне завдання

Зміст

| | |
|--|----|
| Зміст..... | 6 |
| Вступ..... | 9 |
| Розділ 1. Класифікація існуючих БПЛА. Огляд і аналіз систем навігації та існуючі алгоритми розпізнавання ключових точок..... | 12 |
| 1.1 Класифікація існуючих БПЛА..... | 12 |
| 1.2 Комплекс технічних засобів системи візуальної навігації та її алгоритмічне забезпечення. | 16 |
| 1.2.1 Структура..... | 17 |
| 1.3 Огляд існуючих систем навігації..... | 20 |
| 1.3.1 Система визначення курсу та просторового положення (AHRS). 20 | |
| 1.3.2 Інерційний вимірювальний блок (IMU) | 22 |
| 1.3.3 Інтегровані навігаційні системи (INS) | 23 |
| 1.4 Алгоритми розпізнавання ключових точок на зображенні | 26 |
| 1.4.1 SIFT..... | 27 |
| 1.4.2 SURF..... | 28 |
| 1.4.3 KAZE | 30 |
| 1.4.4 AKAZE | 30 |
| 1.4.5 FAST | 31 |
| 1.4.6 AIM..... | 31 |
| 1.4.7 ORB..... | 31 |
| 1.4.8 BRISK | 32 |
| 1.4.9 BRIEF | 32 |
| 1.5 Алгоритм випадкової вибірки консенсусу (RANSAC)..... | 33 |
| Розділ 2. Згорткові нейронні мережі та аналіз їх використання для пошуку ключових точок. | 38 |
| 2.1 Згорткові нейронні мережі..... | 38 |
| 2.2 Операція згортки | 40 |
| 2.3 Агрегувальні шари | 45 |
| 2.4 Повнозв'язні рівні | 46 |

| | |
|--|----|
| 2.5 Ріні втрат та вибір функції втрат | 47 |
| 2.6 Функції активації | 49 |
| Розділ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ..... | 51 |
| 3.1 Результати ефективності визначення, опису та зіставлення локальних наземних орієнтирів методами комп'ютерного зору системи візуальної навігації під час польоту..... | 51 |
| 3.2 Обговорення результатів аналізу продуктивності алгоритмів комп'ютерного зору, підходів вирішення навігаційного завдання засобами системи візуальної навігації та оптимізація швидкості покадрової обробки для збільшення точності системи..... | 56 |
| Розділ 4. Охорона праці..... | 58 |
| 4.1 Вступ..... | 58 |
| 4.2 Аналіз умов праці..... | 58 |
| 4.2.1 Мікроклімат робочої зони | 59 |
| 4.2.2 Виробничі випромінювання..... | 60 |
| 4.2.3 Освітлення робочого місця | 60 |
| 4.2.4 Вплив шуму на програміста..... | 62 |
| 4.2.5 Електробезпека. Статична електрика..... | 63 |
| 4.3 Розробка заходів з охорони праці..... | 64 |
| 4.4 Пожежна безпека..... | 66 |
| Висновки | 68 |
| Розділ 5. Охорона навколишнього середовища..... | 68 |
| 5.1 Проблема використання бензинових двигунів у БПЛА та їх шкідливість для навколишнього середовища | 70 |
| 5.2 Проблема використання Li-Ion акумуляторів..... | 71 |
| Захист навколишнього середовища та контроль переробки Li-Ion акумуляторів. | 76 |
| 5.3 Висновки | 77 |
| Висновок | 77 |
| Список літератури..... | 78 |

Вступ

На сьогоднішній день безпілотні літальні апарати (БПЛА) мають все більший вплив на різні сфери життя людини, починаючи від цивільних задач, таких як доставка товарів покупцям, закінчуючи військовими моделями для розвідки та різних бойових задач. Але маючи такий широкий спектр використання, БПЛА потребують все більшої кількості обладнання на борту, їх мініатюризації та систем навігації які б задовольняли потреби людини. Вже розроблено велику кількість навігаційних систем для роботи БПЛА в різних умовах, але всі вони не покривають всіх потреби користувачів цієї технології. Саме тому алгоритми управління літальними апаратами завжди підлягають вдосконаленню. Основні системи навігації які використовуються в БПЛА вже можуть задовільнити більшість потреб, до них входять інерційно навігаційні системи (ІНС) та супутникові навігаційні системи (СНС), хоч вони і мають свої недоліки.

Недоліки інерціальної навігаційної системи - ІНС: помилка в визначення параметрів навігації накопичується з часом, і точність вихідної інформації залежить від точності чутливих елементів. В якості чутливих елементів використовуються точні дорогі гіроскопи і акселерометри, що значно ускладнює і здорожує систему. Щоб підвищити довготривалу точність, необхідно періодично коригувати дані ІНС за показаннями зовнішніх пристроїв. В той час СНС потребує постійного сигналу GPS, ГЛОНАСС та аналогічних систем супутникової навігації, що перешкоджає автономності систем.

Тобто СНС працює лише в умовах зв'язку з супутниковою системою, а ІНС має досить велику похибку, тим більше без зв'язку з паралельною системою навігації, наприклад СНС. Тобто обидві ці системи не можуть працювати в автономному режимі, без зв'язку від станції або супутника. Тому для вирішення питання були розроблені різні алгоритми протидії, одним з яких є візуальна система навігація.

В якості альтернативи СНС можна розглядати системи візуальної навігації, що активно розвиваються. Ці системи засновані на порівнянні та ідентифікації

зображень орієнтирів (запам'ятованих еталонів з відомими координатами) з поточними зображеннями підстилаючої поверхні, зробленими на борту БПЛА.

Важливість цієї технологію важко переоцінити, адже вона допомагає вирішити велику кількість проблем, такі як розпізнавання товарів, обличь, об'єктів місцевості. Саме про алгоритми роботи та визначення об'єктів місцевості, для коректного управління БПЛА в умовах відсутності сигналів управління в цій роботі і буде йти мова.

Візуальна навігаційна система допомагає в тих випадках, коли є ймовірність втрати сигналу GPS. Часто втрата сигналу GPS викликає аварії БПЛА. Система візуальної навігації (СВН) дозволяє знизити ймовірність аварії, оскільки БПЛА можуть «повернутися додому» або «продовжити завдання» лише за допомогою візуальних об'єктів на землі. Перспективним способом вирішення цієї проблеми є візуальна навігація, тобто орієнтація шляхом порівняння зображень, зроблених з конкретною опорною картою.

Базові технологічні компоненти дозволяють вирішити кілька завдань:

1. Автономна навігація з наявністю або ненадійною супутниковою навігацією, велика кількість інформації, доступної через геофізичні поля тощо.
2. Організація автономного польоту окремого БПЛА за відсутності або небезпечного зв'язку з оператором, можливі зміни поточної ситуації, стан БПЛА, цільові завдання тощо.
3. Організація автономного польоту Автономна група (підгрупи) з низкою БПЛА (можливо, швидко взаємозамінних) цілей приватних, вимагають індивідуального управління.

Сучасні технології вирішення навігаційних завдань за допомогою БПЛА пропонують комплексне використання інерційної, супутникової та візуальної навігаційних систем.

Хоч і алгоритми роботи системи візуальної навігації вже були створені, частково скомбіновані та протестовані, потенціал розвитку досі залишається дуже великим. Саме тому в цій роботі буде розглянуто типовий БПЛА та його основні системи навігації а також запропоновано новий підхід для вдосконалення системи візуальної навігації, зокрема запропоновано

використовувати комбінації існуючих алгоритмів визначення ключових точок на вхідному зображенні та метод дублювання цих алгоритмів за допомогою згорткових нейронних мереж. Виходячи з оглянутих систем відеонавігації, всіх задіяних алгоритмів, було запропоновано використати алгоритми SIFT згорткові нейронні мережі для пошуку ключових точок на зображенні та методи оптичного потоку для співставлення зображень між еталонними та поточними та визначення поточних координат БПЛА.

Розділ 1. Класифікація існуючих БПЛА. Огляд і аналіз систем навігації та існуючі алгоритми розпізнавання ключових точок

1.1 Класифікація існуючих БПЛА

БПЛА являють собою пристрої, управління якими здійснюється без екіпажу. Основними складовими БПЛА є: повітряна платформа зі спеціальною системою посадки, силова установка, блок живлення для неї, система живлення, бортова радіоелектронна апаратура (контрольна апаратура на борту та електронні елементи в цільовому навантаженні). Бортове обладнання складається з бортового комп'ютера або спеціальних процесорів, приймача сигналів радіонавігаційної системи, висотоміра, гіровертикалі, бортової системи зв'язку та передачі даних і машини управління.

Для практичного застосування та розробки БПЛА важливим є вивчення питання про їх класифікацію. Найважливішими ознаками класифікації є: за обсягом вирішуваних завдань, за масою, за тривалістю польоту, з

практичний зліт, за типом літака, за базою, за використанням, за типом системи управління, за типом польоту, за типом крила, за типом, за типом, за паливною системою, за типом паливного бака, за номером використання та за асортиментом. Класифікація відомих БПЛА наведена в табл.

| Ознака | Види |
|--------------------------------------|--|
| За масштабом завдань, що вирішуються | <ul style="list-style-type: none">• Тактичні• Оперативно-тактичні• Оперативно-стратегічні |
| За масою | <ul style="list-style-type: none">• Малорозмірні• Середньорозмірні• Великорозмірні• Важкі |
| За тривалістю польоту | <ul style="list-style-type: none">• Малої тривалості• Середньої тривалості• Великої тривалості |

| | |
|------------------------------|--|
| За практичною стелею польоту | <ul style="list-style-type: none"> • Маловисокі • Середньовисокі • Висотні • Стратосферні |
| За типом літального апарату | <ul style="list-style-type: none"> • За літаковою аеродинамічною схемою • За гелікоптерною аеродинамічною схемою • Легші за повітря |
| За базуванням | <ul style="list-style-type: none"> • Наземні • Морські • Космічні |
| За використанням | <ul style="list-style-type: none"> • Військові • Цивільні (державні, приватні, комерційні) • Антитерористичні |
| За типом системи керування | <ul style="list-style-type: none"> • Дистанційно пілотовані • Дистанційно керовані • Автоматичні • Дистанційно керовані авіаційною системою |
| За правилами польоту | <ul style="list-style-type: none"> • Візуальні • Приладові • Візуально-приладові |
| За типом крила | <ul style="list-style-type: none"> • Фіксовані • Плаваючі |
| За напрямком | <ul style="list-style-type: none"> • За напрямком підйому (горизонтальні, вертикальні, мультипідйомні) • За напрямком посадки (горизонтальні, вертикальні, парашутні, мачтові, безпосадкові, мультиспускові) |
| За типом | <ul style="list-style-type: none"> • За підйомом (аеродромні, запускні, палубні, водні, ручні, нетипово підйомні, мультипідйомні) |

| | |
|--------------------------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> • За посадкою (аеродромні, точкові, палубні, водні, безпосадкові, нетипово посадкові, мультипосадкові) |
| За паливною системою | <ul style="list-style-type: none"> • Монозаправні • Полізаправні (наземна, платформна (морська, бортова)) |
| За типом паливного бака | <ul style="list-style-type: none"> • Базові • Базово-резервні |
| За кількістю використань | <ul style="list-style-type: none"> • Одноразові • Багаторазові |
| За радіусом дії | <ul style="list-style-type: none"> • Близького радіусу • Малого радіусу • Середнього радіусу • Дальнього радіусу • Великої дальності польоту |

Маса БПЛА поділяє їх на малі - до 200 кг, середні - 200-2000 кг, великі - 2000-5000 кг, важкі - понад 5000 кг.

Тривалість польоту БПЛА різна і поділяє їх на малої тривалості – менше 6 год, середньої тривалості – 6-12 год, великої тривалості більше 12 год.

Практична стеля польоту БПЛА виділяє їх на категорії: маловисотні – менше 1 км, середньовисокі – 1-4 км, висотні – 4-12 км, стратосферні – більше 12 км.

Літальні апарати за типом поділяються за літаковою аеродинамічною схемою, за гелікоптерною аеродинамічною схемою та легші за повітря.

БПЛА за базуванням поділяються на наземні, які пересуваються по земній поверхні, морські, орієнтовані на роботу у водному середовищі, космічні, орієнтовані на вихід у космос.

БПЛА широко використовуються в усіх сферах людської діяльності, які в загальному можна поділити на: військові, цивільні та антитерористичні. В свою чергу цивільні поділяються на: державні, комерційні, транспортні.

Тип системи управління визначає різні види БПЛА. Дистанційно пілотовані літальні апарати керуються безпосередньо оператором в межах видимості через наземну станцію. Дистанційно керовані працюють автономно, але можуть керуватися пілотом, який використовує лише зворотній зв'язок через інші підсистеми контролю. Автоматичні літальні апарати виконують попередньо запрограмовані дії. Дистанційно керовані авіаційні системи керуються вбудованими системами.

БПЛА згідно правил польотів поділяються на візуальні, якщо вони знаходяться і виконують політ в межах видимості пілота, який керує і

контролює їх в світлий час доби; приладовий, якщо політ виконується в автоматичному режимі не лише в межах видимої зони, але й в сліпих зонах в темний час доби; візуально приладовий, коли під час польоту використовуються візуальні та приладові правила.

БПЛА за типом крила поділяються на фіксовані – літакового та гелікоптерного типів, плаваючі – використовуються в конвертопланах.

БПЛА за напрямком поділяються по напрямку підйому – горизонтальні, вертикальні, мультипідйомні. Напрямок та підйомна сила залежать від типу крила, а також від можливості підійматися та сідати як самостійно, так і за допомогою допоміжної техніки.

За типом підйому/посадки: запускаємі використовують систему запуску, палубні підіймаються з палуби з використанням керівного крюка або тросу.

Паливна система БПЛА виділяє їх на такі види: монозаправні – одноразова заправка паливної системи виконуються в промислових умовах виробником на заводі, полізаправочні – багаторазова заправка, яка може, в свою чергу, бути наземною – виконується на землі, платформна – морська (на борту морського судна) та бортова (на борту пілотованого літального апарату).

Тип паливного баку БПЛА є важливою конструкторською характеристикою, що визначає базові літальні апарати, які мають основний паливний бак, та базово-резервні – мають основний та резервний паливні баки.

БПЛА за кількістю використань поділяються на одноразові, якщо не передбачена система посадки, та багаторазові, які використовуються велику кількість разів і можуть вирішувати різні задачі.

Радіус дії БПЛА варіюється в широких межах. Виділяють п'ять основних видів: ближнього радіусу дії – до 40 км, малого – до 70 км, середнього – до 300 км, дальнього – до 1500 км, великої тривалості польоту – не менше 1500 км.

1.2 Комплекс технічних засобів системи візуальної навігації та її алгоритмічне забезпечення.

Візуальна навігаційна система допомагає в тих випадках, коли є ймовірність втрати сигналу GPS. Часто втрата сигналу GPS викликає аварії БПЛА. Система візуальної навігації (СВН) дозволяє знизити ймовірність аварії, оскільки БПЛА можуть «повернутися додому» або «продовжити завдання» лише за допомогою візуальних об'єктів на землі. Перспективним способом вирішення цієї проблеми є візуальна навігація, тобто орієнтація шляхом порівняння зображень, зроблених з конкретною опорною картою.

Базові технологічні компоненти дозволяють вирішити кілька завдань:

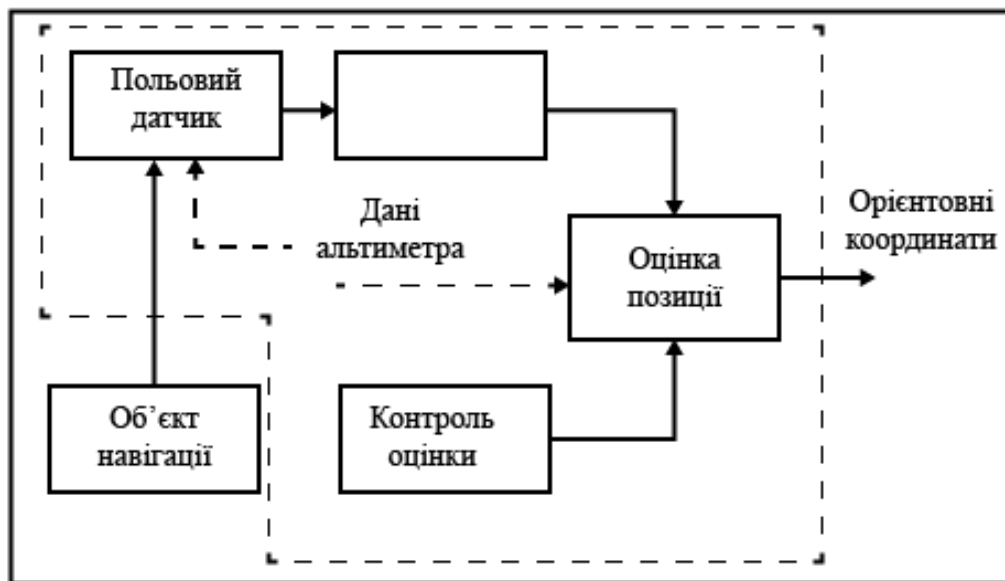
1. Автономна навігація з наявністю або ненадійною супутниковою навігацією, велика кількість інформації, доступної через геофізичні поля тощо.
2. Організація автономного польоту окремого БПЛА за відсутності або небезпечного зв'язку з оператором, можливі зміни поточної ситуації, стан БПЛА, цільові завдання тощо.
3. Організація автономного польоту Автономна група (підгрупи) з низкою БПЛА (можливо, швидко взаємозамінних) цілей приватних, вимагають індивідуального управління.

Сучасні технології вирішення навігаційних завдань за допомогою БПЛА пропонують комплексне використання інерційної, супутникової та візуальної навігаційних систем.

1.2.1 Структура

На малюнку показана узагальнена блок-схема. Більш чіткі поточні зображення представляють собою пристрій, що перетворює інформацію датчиків об'єктного поля - орієнтиру навігації у вигляді, зручний для порівняння з опорною картою місцевості, що зберігається у вбудованому мікрокомп'ютері. Sharpex виконує вибірку, квантування і масштабування сигналів від датчика поля відповідно до параметрів і умов спостережень навігаційних орієнтирів: поточної висоти польоту та кутів огляду об'єкта. Модуль розміщення оцінки виконує наступні основні операції. В результаті об'єднання за конкретним алгоритмом модуль оцінює координати опорної точки, обчислює значення середнього квадратичного шляху літака і передає оцінку в систему управління на борту, де створюється команда корекції траєкторії польоту БПЛА. Як подібність до зображень, вони найчастіше використовують функцію взаємної кореляції або нормалізовану кореляційну кореляцію. Перед польотом комп'ютерна система завантажує цифрову карту місцевості, що складається з аерофотознімків або супутникових знімків території, над якою має здійснюватися літак. Карти сайту пов'язують заздалегідь визначені видимі орієнтири з їх координатами GPS. Під час польоту підсистема використовує камеру, щоб знайти ці орієнтири на землі. Обробка зображень виконується безпосередньо на ЦП. Як тільки система знайшла одну або кілька відомих опорних точок, вона надає оцінку координат

навігаційної системи БПЛА. Таким чином, ця система «доповнює» дані GPS і коригує навігацію автопілота. Обробка зображень виконується безпосередньо на ЦП.



Структура системи візуальної навігації

Можемо виділити, що необхідний вибір компонентів СВН включає:

автопілот, вбудований мікрокомп'ютер, акумулятор для їх автономного живлення і камера.



Багато систем візуальної навігації мають вбудований комп'ютер і просто надсилають зняті зображення на наземну станцію, де потужні та загальні калькулятори виконують обробку зображень та навігацію БПЛА. Однак цей метод не забезпечує виконання основних завдань навігації, а саме польоту в зоні радіоелектронної боротьби за наявності шуму. У цьому випадку підключення даних до наземної станції не може використовуватися, і система не працює. Наша модель СВН побудована за принципом виконання всіх розрахунків

автономно на борту БПЛА. Обмеження ваги та обчислювальної потужності бортового обладнання БПЛА викликає труднощі у виборі деяких компонентів для СВН. Вага та потужність вбудованого комп'ютера, який виконує обробку зображень і вимірювання розпізнавання образів, обмежені, а параметри безпосередньо впливають на вибрані характеристики камери. Оскільки зображення камери можуть бути за шириною і такі висоти висока роздільна здатність, що бортовий комп'ютер не матиме достатньо часу процесора для їх обробки. З іншого боку, якщо зображення з камери надто шумні розмитість обробки та розпізнавання. Алгоритми для вбудованого комп'ютера будуть працювати дуже погано. Це необхідно виберіть автопілоти на борту мікрокомп'ютер і камера в оптимальному співвідношенні. Технічні характеристики камери повинні давати можливість створювати якісні зображення, але достатньо, щоб вбудований мікрокомп'ютер встигав лікувати їх і мають в як умога вище обчислювальні навички. Автопілот, у свою чергу, повинен забезпечувати функціональність для керування карданом, можливість інтеграції з СВН, легкий обмін даними з СВН і повинен мати автоматичний режим, щоб пролітати повз навігаційні точки. Виконання цих умов сприяє поділу вищезгаданої оболонкової конструкції на окремі відділи. Особлива увага приділяється можливості виконання контрольних перевірок та заміни обладнання, що досягається за наявності люків і муфт, а також модернізація або зміна функціональності обладнання. Ці вимоги особливо добре задовольняють модульну конструкцію будівлі, коли заміна блоку або корпусного простору його інтегрованим обладнанням дозволяє БПЛА забезпечити нову якість без зміни основних конструктивних рішень. Цей модульний принцип конструкції БПЛА є досить просунутим, оскільки надає можливості для модернізації БПЛА та розширення його застосування.

Крім навігації та керування БПЛА, автопілот запрограмований на керування обладнанням на борту:

- стабілізація камери;
- синхронізована за часом і з координатами роботи затвора камери.

Оскільки основним напрямком, обраним для розвитку БПЛА, є пошук технічного компромісу між зменшенням його габаритів і ваги та підвищенням загальної продуктивності функціональності за рахунок обмежень на розвиток виробництва та експлуатації, актуальними залишаються критерії вибору приладобудування БПЛА, а саме: ціна, розмір, точність. Виходячи з інформації представленої вище, ефективність роботи БПЛА сильно залежить від алгоритмічного забезпечення СВН. Однією з ніш є забезпечення коректного знаходження ключових точок незалежно від висоти польоту та кута огляду місцевості, а також відповідного співставлення відеопотоку та еталонних мап завантажених у пам'ять БПЛА

1.3 Огляд існуючих систем навігації

В автономному режимі польоту, коли з якоїсь причини пряме управління БПЛА оператором із землі неможливе, а супутниковий сигнал недоступний, особливого значення набувають інерційні засоби навігації. Принцип дії інерційної навігації полягає у визначенні прискорення об'єкта та його кутових швидкостей за допомогою встановлених на БПЛА приладів. За цими даними відбувається обчислення координат БПЛА, його курсу, швидкості, пройденої відстані.

Існує ряд комплексних пристроїв, здатних забезпечити автономну навігацію БПЛА – це насамперед AHRS, IMU та INS. Вони часто є т.зв. безплатформні системи, які не мають власної платформи, що стабілізує, і цілком прив'язані до носія. Розглянемо докладніше кожен тип цих приладів окремо.

1.3.1 Система визначення курсу та просторового положення (AHRS)

AHRS є найпростішою навігаційною системою, що призначена для надлегких БПЛА, радіус дії яких не перевищує кількох десятків кілометрів. Вона має трисічну структуру і як правило будується на MEMS компонентах. AHRS

складається з гіроскопів, акселерометрів і магнітометрів, що дозволяють робити точне визначення курсу та розташування БПЛА. Перед початком польоту, система здійснює автоматичний пошук Півночі для подальшого точного обчислення координат БПЛА. Дані приладів обробляються обчислювальним блоком з урахуванням мікропроцесора з допомогою спеціальних алгоритмів компенсації нульового усунення (зазвичай цієї мети використовується 6-частиний фільтр Калмана). Завдяки цьому вдається досягти курсової точності в межах 1-го градуса при роздільній здатності вимірювань 0,01 градуса. При виборі AHRS також варто звертати увагу на такі параметри:

1. Діапазон вимірювання крену та тангажу. Стандартно він складає тангаж $\pm 90^\circ$ та крен $\pm 180^\circ$. Проте слід пам'ятати, що з тангажі понад 40° точність вимірювань різко падає.
2. Масогабаритні характеристики. AHRS не повинна перешкоджати несенню БПЛА іншого корисного навантаження, наприклад, у вигляді оптико-електронної системи.
3. Кліматичні властивості. Оскільки БПЛА часто використовуються в несприятливих погодних умовах, тому ступінь захисту корпусу AHRS має бути не меншим за IP 67, а діапазон робочих температур повинен становити від -40 до $+80^\circ\text{C}$.
4. Швидкість приладу. Так затримка пуску бажано має бути більше 3с, частотний відгук – щонайменше 50Гц, а швидкість передачі даних щонайменше 2400 бод.
5. Стійкість до перевантажень. В ідеалі вона повинна перевищувати стійкість до перевантажень самого БПЛА і не менше 1000g.
6. Протоколи передачі. Чим більше, тим краще (тим більше зовнішніх пристроїв може бути задіяно). Мінімальний список доступних протоколів для AHRS: RS232/RS485/TTL.

1.3.2 Інерційний вимірювальний блок (ІМУ)

ІМУ є модульною інерційною навігаційною системою, архітектура якої може бути сформована індивідуально під конкретне завдання. Основу цих приладів зазвичай складає поєднання триосьових акселерометра та гіроскопа, до яких може бути доданий магнітометр, барометр, температурний датчик і т.д. В результаті комплектується досить складна та багатофункціональна вимірювальна система, що дозволяє виконати польотне завдання БПЛА середньої дальності (в радіусі від 100км до 1000км). При виборі конкретної моделі ІМУ слід звертати увагу на такі моменти:

Елементна база, на якій комплектуються прилади. Найчастіше це може бути або волоконно-оптичні компоненти, або МЕМС. Останні поступаються точно волоконно-оптичним системам, зате виграють за масогабаритними характеристиками.

1. Частота дискретизації, що рекомендується, повинна становити не менше 1кГц.
2. Можливість інтеграції з іншими пристроями (переважно з ГНСС-приймачами, радаром та засобами візуального стеження).
3. Час затримки запуску та час оновлення даних. Чим більш розгалужену структуру має ІМУ, тим більше.
4. Точнісні характеристики (визначення точності розташування, курсова точність, точність визначення крену та тангажу тощо). Тут слід на увазі, що при різкому зниженні або зльоті значення цих характеристик може сильно коливатися.
5. Широкий діапазон гіроскопічних вимірів (щонайменше ± 1000 °/с) і чутливість акселерометра (на відміну гіроскопа, тут існує зворотна залежність – що менше діапазон виміру, тим краще краще).
6. Особливості підключення приладу найчастіше для цієї мети використовуються різні типи авіаційних роз'ємів.

1.3.3 Інтегровані навігаційні системи (INS)

Якщо до ІМУ підключити ГНСС (Глобальну навігаційну супутникову систему), ми отримаємо прилад, іменованій INS, у якому дані інерційних вимірювальних пристроїв поєднуються з супутниковими даними з допомогою спеціальних алгоритмів злиття інформації. INS потенційно мають більш високу точність ніж просто інерційні навігаційні системи або супутникові навігатори, тому вони можуть використовуватися як бортові навігаційні системи на БПЛА великої дальності (з радіусом польоту понад 1000км). Крім перерахованих вище характеристик інерційних вимірювальних приладів, для INS також важливим є правильний вибір ГНСС, які відрізняються різними параметрами:

1. Одноантенний або двоантенний супутниковий приймач (триантенний у таких системах використовується рідко). Від цього залежить кількість визначених кутів орієнтування.
2. Кількість доступних супутникових каналів. Кожен канал відповідає за отримання інформації від певного супутникового угруповання, яких на даний момент налічується декілька:
3. GPS (США) – найстаріша і найпоширеніша супутникова система, що характеризується широкою зоною охоплення;
4. Galileo (ЄС) – на відміну з інших супутникових систем, вона спочатку має переважно цивільне застосування, тобто. більш доступна, але не відрізняється великою надійністю, оскільки досі перебуває у стадії формування;
5. QZSS (Японія) – високоточна (квазізенітна) супутникова система, але зона охоплення в неї поки що бажає кращого;
6. ГЛОНАСС (Росія) – найбільш супутникова система навігації;

7. BEIDOU або BD (Китай) – найперспективніша супутникова система, судячи з темпів розвитку орбітального угруповання;
8. NavIC (Індія) – найбільш «молода» і найменш затребувана супутникова система, у зв'язку з тим, що вона надійно працює тільки на п-ві Індостан і навколишніх акваторіях.
9. Як відомо, станція ДПС також може бути одночастотною або працювати відразу на кількох частотах. На БПЛА застосовуються переважно одночастотні супутникові приймачі, оскільки їх показання точніше як RTK (режим реального часу).
10. Бажано також, щоб ДПСС, встановлена на БПЛА, могла отримувати псевдо-діапазонні супутникові сигнали, тобто. «сирі» дані із супутника, а не передані наземними ретрансляторами. Це значно підвищує надійність навігаційної системи загалом.

Застосування високоточних інерційних навігаційних систем (ІНС) загалом виконує вимоги точності та автономного управління але також повністю не вирішує проблему з наступних причин:

1. Такі системи дорогі (від 30-50 тис. Доларів)
2. Маса інерціальної системи «середньої точності» на лазерних або волоконно-оптичних гіроскопах становить від 8 кг, що робить проблематичним їх використання на БЛА малої і навіть середньої дальності
3. Принциповим обмеженням ІНС є зростання помилки визначення координат з плином часу автономної роботи. Точність автономного числення координат для сучасних ІНС складає близько 1 морської милі за годину польоту (для систем високої точності), що не дозволяє забезпечити високоточне визначення координат цілей.

Таким чином, ми маємо типове протиріччя, що описується ТРИЗ: методи, які призводять до поліпшення точності навігації, одночасно призводять до втрати системою автономності та завадостійкості. Це протиріччя вирішується шляхом впровадження відеонавігації.

Одна з компаній вже представила самодостатню систему відеонавігації в якій забезпечується корекція інерціальної системи по швидкості і координат від відеокамери під час відсутності сигналів СНС.

Очевидно, що така технологія відноситься до числа критичних, що визначають ефективність і саму можливість застосування безпілотних засобів в умовах утрудненого прийому даних СНР. Важливо відзначити, що технологія може бути застосована і для пілотованих засобів, а також для наземних роботизованих транспортних засобів, що працюють усередині приміщень і для наведення високоточної зброї.

В основу принципу покладені 3 базових способу

1. Розрахунок пройденої відстані на основі аналізу потокового відео, що надходить від пристроїв оптико-електронного моніторингу. Десятки відмітних точок автоматично відображаються в кожному кадрі. Аналіз їх переміщення від кадру до кадру дає інформацію про переміщення об'єкта. Велика кількість таких точок гарантує точність визначення кутів переміщення, курсу та орієнтації. Основним обмеженням методу є можливість лише відносного визначення координат і орієнтації, що може призвести до збільшення навігаційних помилок з часом. Ще одним недоліком є його неповнота - всі відстані точні до довільної константи. Важкі можуть бути складними, що призведе до неможливості знайти правильні точки на зображеннях: недостатнє освітлення, неможливість використання в разі хмар, неможливість використання на гладкій поверхні без характерних спеціальних точок (плоска, рівномірна освітлена поверхня води «без мерехтіння» і хвилі; однорідна і рівна піщана пустеля без рослинності)
2. Використання даних місцевості може частково компенсувати недоліки першого методу. Використовуючи перекриття потоку фото-відео даних, місцевість відновлюється. Порівняння з цифровою моделлю місцевості дозволяє визначити місце розташування літака. На відміну від методу 1, при використанні скануючого лазерного висотоміра можна визначити місце розташування за відсутності денного світла, але, як і метод 1, цей підхід не

працює на воді або піску і дає значну похибку при відсутності чіткого рельєфу. Найбільшою перевагою перед попереднім методом є можливість знаходити не тільки відносне, а й абсолютне положення камери, оскільки знання карти прив'язує камеру до конкретних точок на місцевості з відомими абсолютними координатами. Це призводить до того, що помилка навігації не збільшується з часом. Основним недоліком методу є чутливість до надмірних похибок у вихідних координатах камери, взятих з інерціальних навігаційних пристроїв, які потім метод повинен задати.

3. Використання цифрових зображень місцевості також дозволяє визначити координати місця розташування та орієнтацію шляхом порівняння поточної інформації про види. Цей метод забезпечує високу точність визначення абсолютних координат навіть за відсутності рельєфу. Це також дозволяє знайти абсолютне положення камери, навіть якщо її приблизні координати невідомі. Це досягається шляхом сканування всієї бази даних зображень сайту та порівняння їх із поточним зображенням. Крім того, за допомогою «прив'язаного» зображення можна точно визначити координати наземних об'єктів, виявлених оптико-електронною апаратурою.

1.4 Алгоритми розпізнавання ключових точок на зображенні

БПЛА можуть бути керовані оператором за допомогою пульта, проте такий підхід суттєво звужує радіус їхньої дії. Найбільш поширеними на сьогодні є автономні БПЛА, які при здійсненні своєї місії використовують координати GPS, проте існує можливість створення фальшивого сигналу GPS чи радіоелектронних завад, що призводить відповідно до перехоплення БПЛА, або його «засліплення». Одним з способів вирішення цієї проблеми є використання допоміжних систем, які будуть працювати на фізичних принципах, що відрізняються від принципів роботи основної навігаційної системи. У випадку, коли основна навігаційна система працює на базі сигналів GPS, допоміжною може бути оптична навігаційна система, яка визначає положення шляхом співставлення зображення, отриманого з відеокамери БПЛА з картою, що

прошита в Базі знань БПЛА. Проте такий підхід містить ряд технічних труднощів.

По-перше поточний ландшафт та той, що міститься на прошитій карті можуть відрізнятися, особливо якщо місія здійснюється в зоні бойових дій — об'єкти, такі як будівлі, дороги можуть бути знищені. По-друге, зазвичай висота, на якій здійснюють свої місії БПЛА та висота на якій здійснюється аерофотозйомка для формування прошитої карти суттєво відрізняються.

Отже, необхідно співставляти зображення з урахуванням масштабування, проективного перетворення та часткової зміни об'єктів. Незважаючи на відмінності зображень, деякі частини залишаються незмінними, тому для розпізнавання спільних точок доцільно застосовувати алгоритми, які знаходять ключові точки зображень та їх дескриптори, за допомогою яких ці точки можна порівнювати. Вже існує велика кількість алгоритмів для визначення ключових точок а саме:

1.4.1 SIFT

Д. Г. Лоу представив масштабне інваріантне перетворення ознак (SIFT) у 2004 р., який є найвідомішим алгоритмом виявлення та опису ознак. Детектор SIFT заснований на операторі різниці Гаусса (DoG), який є наближенням до лапласіана Гаусса (LoG). Характерні точки виявляються шляхом пошуку локальних максимумів за допомогою DoG у різних масштабах зображень предмета. Метод опису витягує околиці 16×16 навколо кожного виявленого об'єкта та далі сегментує область на підблоки, відображаючи загалом 128 значень bin. SIFT є надійно інваріантним до поворотів зображення, масштабу та обмежених афінних варіацій, але його основним недоліком є висока обчислювальна вартість. Рівняння (1) показує згортку різниці двох гауссів (розрахованих у різних масштабах) із зображенням "I(x,y)".

$$D_{x,y,\sigma} = (G_{x,y,k\sigma} - G_{x,y,\sigma}) * I(x,y)$$

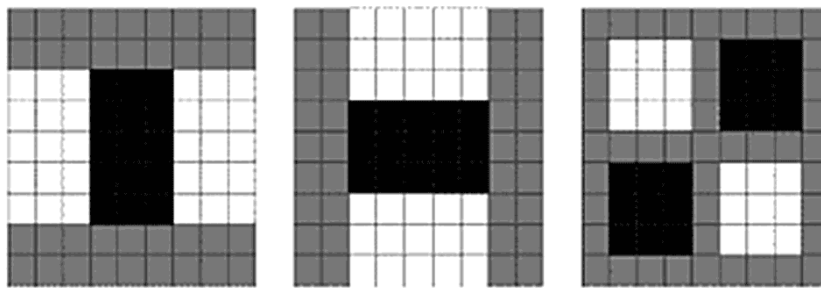
Де G являє собою функцію Гауса

1.4.2 SURF

Г. Бей та співавтори представив Speeded Up Robust Features (SURF) у 2008 році, який також спирається на новий аналіз зображень у масштабі Гауса. Детектор SURF заснований на визначнику матриці Гессе і використовує інтегровані зображення для покращення швидкості виявлення функції.

Виявлення особливих точок за допомогою алгоритму SURF базується на обчисленні визначника матриці Гессе.

Значення Гессе використовується для визначення локального мінімуму або максимальної яскравості зображення. У цих точках значення гессена досягає екстремального значення. Похідні обчислюються за допомогою згортки пікселів зображення з фільтрами, показаними на фіг. 1, де білі зони відповідають значенню +1, чорні – значенню –2 (на третьому фільтрі значення –1), а сірі –



нулю.

D_{xx}

D_{yy}

D_{xy}

$$\det(h) = D_{xx}D_{yy} - (0,9D_{xy})^2,$$

де D_{xx} , D_{yy} , D_{xy} - згортки фільтрів (див. рис. 1); коефіцієнт 0,9 коригує приблизну оцінку розрахунків.

Інтегроване представлення зображення використовується для ефективного обчислення фільтрів. Інтегроване представлення — це матриця, розмірність якої збігається з розмірністю вихідного зображення, а елементи обчислюються за формулою

$$I_{x,y} = \sum_{i=0}^x \sum_{j=0}^y I(i,j)$$

Де $I_{x,y}$ - яскравість пікселя з координатами (x, y) інтегрованого зображення;

$I(i, j)$ - яскравість пікселя з координатами (i, j) вихідного зображення.

Опис SURF на 64 біни описує кожну виявлену функцію з розподілом вейвлет-відповідей Хаара в певному околиці. Функції SURF є інваріантними

щодо обертання та масштабування, але вони мають малу афінну інваріантність. Однак опис можна розширити до 128 значень bin для обробки більших змін точки зору. Основною перевагою SURF перед SIFT є низька вартість обчислень. Рівняння (2) представляє матрицю Гессена в точці « $x = (x, y)$ » у масштабі « σ ».

$$H_{x,\sigma} = \begin{pmatrix} L_{xx}(x,\sigma) & L_{xy}(x,\sigma) \\ L_{xy}(x,\sigma) & L_{yy}(x,\sigma) \end{pmatrix}$$

Де “ $L_{xx}(x,\sigma)$ ” – це згортка гаусової похідної другого порядку з зображенням “ I ” в точці “ x ”, а також для “ $L_{xy}(x,\sigma)$ ” і “ $L_{yy}(x,\sigma)$ ”.

Для знаходження особливих точок використовується матриця Гессе. Визначник матриці Гессе (Hessian) досягає екстремуму в точках максимальної зміни градієнта яскравості. Після знаходження ключових моментів метод SURF генерує їх дескриптори. Дескриптор — це набір із 64 (або 128) чисел для кожної ключової точки. Ці числа представляють коливання градієнта навколо ключової точки. Поворотний інваріант.

Алгоритм включає такі основні етапи:

1. Знаходження екстремумів у просторі масштабів. На першому етапі відбувається пошук по всіх масштабах і розташуваннях на зображенні. Він реалізується, за допомогою функції різниці гаусіанів для виявлення потенційних точок які не залежать від масштабу і орієнтації.
2. Локалізація ключових точок. Для кожного місцезрешування точки-кандидата знаходиться детальна модель для визначення розташування і масштабу. Ключові точки вибираються на основі міри їх стійкості.
3. Визначення орієнтації. На основі локальних напрямків градієнта кожній ключовій точці призначаються одна чи декілька орієнтацій. Всі подальші операції виконуються на даних зображення, які були перетворені по відношенню до призначеної орієнтації, масштабу і місцеположення кожної характеристики, забезпечуючи тим самим інваріантність цих перетворень.
4. Дескриптори ключових точок. В області навколо кожної характерної точки вимірюються локальні градієнти зображення в обраному масштабі. Вони перетворюються в представлення, що дозволяє значні спотворення локальних форм і зміни освітлення

Таким чином, зображення порівнюються з конкретними точками, тобто замість зображень порівнюються їх моделі, побудовані на основі цих ключових моментів. Спеціальними точками будуть лише ті точки на зображенні, які найімовірніше можна знайти на іншому зображенні, з яким порівнюється оригінал.

1.4.3 KAZE

Р. Ф. Alcantarilla та ін. у 2012 році представив функції KAZE, які використовують простір нелінійного масштабу за допомогою нелінійної дифузійної фільтрації [15]. Це робить розмивання зображень локально адаптованим до об'єктів, таким чином зменшуючи шум і одночасно зберігаючи межі областей на зображенні предмета. Детектор KAZE заснований на нормалізованому масштабі визначнику матриці Гессе, який обчислюється на кількох рівнях масштабу. Максимуми реакції детектора вибираються як ознаки за допомогою рухомого вікна. Опис об'єкта вводить властивість інваріантності обертання шляхом знаходження домінуючої орієнтації в коловій околиці навколо кожного виявленого об'єкта. Функції KAZE інваріантні до обертання, масштабу, обмеженої афінності та мають більшу відмінність у різних масштабах із вартістю помірного збільшення часу обчислень. Рівняння показує стандартну нелінійну формулу дифузії.

$$dLdt = \text{div}(c, x, y, t, L)$$

Де «с» — функція провідності, «div» — розбіжність, «∇» — оператор градієнта, а «L» — яскравість зображення.

1.4.4 AKAZE

Р. Ф. Alcantarilla та ін. представив алгоритм Accelerated-KAZE (AKAZE) у 2013 році, який також базується на нелінійній дифузійній фільтрації, як KAZE, але його нелінійні масштабні простори побудовані за допомогою обчислювальної системи під назвою Fast Explicit Diffusion (FED). Детектор AKAZE заснований на визначнику матриці Гессе. Якість інваріантності обертання покращено за допомогою фільтрів Шарпа. Максимуми відгуків детектора в просторових місцях вибираються як характерні точки. Дескриптор

AKAZE заснований на алгоритмі змінених локальних різниць двійкового (MLDB), який також є високоефективним. Функції AKAZE інваріантні до масштабу, обертання, обмежені афінності та мають більшу відмінність у різних масштабах через нелінійні масштабні простори.

1.4.5 FAST

Для точки-кандидата P 16-піксельне коло будується за допомогою алгоритму Брезенхема. Точка є кутовою, якщо для неї на колі є N сусідніх пікселів, інтенсивність яких більше $I_P + t$ або інтенсивність усіх менше $I_P - t$, де I_P – інтенсивність точки P , t – граничне значення. Крім того, необхідно порівняти інтенсивність у вертикальних і горизонтальних точках кола з інтенсивністю в точці P . Якщо для 3 з цих точок виконується умова $I_{P_i} > I_P + t$ або $I_{P_i} < I_P - t$, $i = 1, \dots, 4$, потім виконайте повний тест для всіх 16 точок.

1.4.6 AIM

Побудовано приміщення змінного масштабу, в якому розраховуються функції LoG з різними параметрами вирівнювання. Точка вважається ключовою, якщо вона є локальним екстремумом різниці Гауса. Після цього задається набір передбачуваних ключових точок (точки з низькою контрастністю та на межі об'єктів видаляються) і розраховується їх орієнтація. Для цього будується зважена гістограма сусідніх градієнтів, вибирається напрямок, що відповідає максимальній складовій гістограми. Точка призначається всім напрямкам, які відповідають значенням компонентів гістограми, більшим за заданий поріг. Він є інваріантним щодо переміщень, обертань та масштабу, який не зміщує локальні екстремуми.

1.4.7 ORB

Е. Rublee та ін. представив Oriented FAST і Rotated BRIEF (ORB) у 2011 році. Алгоритм ORB являє собою суміш модифікованих методів виявлення FAST (Features from Accelerated Segment Test) та нормалізованого за напрямком BRIEF (Binary Robust Independent Elementary Features). FAST кути виявляються в кожному шарі піраміди шкали, а кути виявлених точок оцінюються за допомогою показника Harris Corner, щоб відфільтрувати бали найвищої якості.

Оскільки метод опису BRIEF дуже нестабільний з обертанням, було використано модифіковану версію дескриптора BRIEF. Функції ORB є інваріантними щодо масштабу, обертання та обмежених афінних змін.

Використовує FAST для пошуку сигнальних точок. FAST приймає як параметр порогове значення інтенсивності між центральним пікселем і колом навколо нього. ORB використовує модифікацію

FAST-9 (радіус кола прийнято рівним 9), оскільки він виявився найефективнішим за продуктивністю. Після визначення потенційних ключових точок для їх визначення використовується детектор кутів Харріса. Щоб отримати N ключових балів, спочатку низький поріг використовується, щоб отримати більше N балів, потім вони сортуються за допомогою метрики Харріса і вибираються перші N балів. Для побудови дескриптора отриманих точок використовується модифікація CARD, яка є інваріантною повороту за рахунок подальших перетворень.

1.4.8 BRISK

S. Leutenegger et al. висунув Binary Robust Invariant Scalable Keypoints (BRISK) у 2011 році [18], який виявляє кути за допомогою алгоритму AGAST та фільтрує їх за допомогою FAST Corner score під час пошуку максимумів у піраміді простору масштабу. Опис BRISK базується на визначенні характерного напрямку кожної ознаки для досягнення інваріантності обертання. Для забезпечення інваріантності освітлення результати простих тестів яскравості також об'єднуються, а дескриптор будується як двійковий рядок. Функції BRISK є незмінними щодо масштабу, обертання та обмежених афінних змін.

1.4.9 BRIEF

Опис, який дозволяє представити вихідне зображення у вигляді двійкових рядків, створених для областей. Гладке зображення розбивається на ділянки і для них однозначно вибирається набір точок $nd(x, y)$. Потім порівнюється інтенсивність для них. В результаті ми отримуємо двійковий рядок з nd розмірністю (128, 256 або 512). Отримані описи порівнюються за допомогою метрики Хеммінга

1.5 Алгоритм випадкової вибірки консенсусу (RANSAC)

Алгоритм консенсусу випадкової вибірки (RANSAC) для надійної оцінки значення параметра був застосований до широкого спектру параметричних об'єктів (наприклад, площина, фундаментальна матриця). У багатьох реалізаціях алгоритм тісно інтегрований з кодом, що відноситься до конкретного параметричного об'єкта. У цій статті ми вводим загальну реалізацію RANSAC, яка не залежить від оцінюваного об'єкта. Таким чином, користувач може ігнорувати віддалені елементи даних, потенційно знайдені в їх введених даних. Для ілюстрації використання алгоритму реалізуємо необхідні компоненти для оцінки значень параметрів гіперплощини та гіперсфери.

Алгоритм RANSAC заснований на спостереженні, що якщо ми можемо витягнути невелику підмножину з даних, які є достатньо великими для оцінки параметрів моделі і які не містять викидів, то всі внутрішні фактори погодяться з цією моделлю. Це робиться шляхом випадкового малювання підмножин даних, оцінки відповідних моделей та оцінки того, скільки елементів даних узгоджується з кожною моделлю, її консенсусним набором. Максимальний набір консенсусу, отриманий таким чином, вважається вільним від викидів і використовується як вхідні дані для оцінки моделі найменших квадратів. Припускаючи, що ми не маємо попередніх знань про елементи даних, ми призначаємо однакову ймовірність усім підмножинам (у статистичній літературі це відоме як проста випадкова вибірка). За бажанням, мінімальний поріг розміру найбільшого консенсусного набору може бути використаний для зменшення ймовірності прийняття помилкової моделі.

RANSAC є паралельним алгоритмом гіпотези та перевірки. Тобто кілька унікальних гіпотез можуть бути створені та перевірені незалежно лише з мінімальною кількістю необхідної координації, перевіряючи, чи є локальний набір консенсусу

Найчастіше узгодження полягає в тому, що відстань між моделлю та даними менше попередньо визначеного порогу.

Щоб завершити опис алгоритму, нам потрібно відповісти на такі запитання:

а) Як встановити поріг для включення до консенсусного набору?

б) Який розмір підмножини ми маємо вибрати?

в) Скільки підмножин нам потрібно намалювати, щоб переконатися, що одна з них вільна від викидів?

Усвідомлений вибір порогу, τ , вимагає знання про розподіл ймовірностей внутрішніх відстаней. У більшості випадків ми не володіємо цією інформацією, і поріг встановлюється емпірично. Для отримання порогової величини, припускаючи нульовий середній гауссовий розподіл, див.4].

Оскільки наша мета полягає в тому, щоб отримати підмножину, вільну від викидів, ми спостерігаємо, що ймовірність вибрати підмножину, вільну від викидів, розміром s з урахуванням n елементів даних, з яких o є викидами, дорівнює:

$$\binom{n-o}{s} \binom{o}{s} = \frac{n!}{s!(n-s)!} \frac{o!}{s!(o-s)!} = \frac{n! o!}{s!^2 (n-s)! (o-s)!}$$

З наведеного вище рівняння зрозуміло, що для збільшення ймовірності слід вибрати мінімально можливе значення для s , яке є мінімальною кількістю елементів, необхідних для оцінки моделі.

Нарешті, ми отримуємо кількість підмножин, необхідних для того, щоб одна з них була вільною від викидів. Оскільки підмножини малюються незалежно із заміною, для того, щоб переконатися, що одна підмножина вільна від викидів, потрібно перевірити всі n підмножин. У більшості випадків це занадто складно для обчислень, хоча якщо n достатньо малий або s це все ще можливо.

Щоб полегшити обчислювальний тягар, ми послабимо вимогу щодо підмножини, вільної від викидів, змінивши її на імовірнісну вимогу. Тепер ми вимагаємо отримати вільну від викидів підмножину з ймовірністю p . Припускаючи, що ймовірність внутрішнього елемента дорівнює w , ймовірність викиду дорівнює $\epsilon = 1 - w$. Тоді нам потрібно виконати щонайменше N вибірок підмножини, де $(1 - w^s)^N = 1 - p$, що дає нам:

$$N = \frac{\log(1-p)}{\log(1-w^s)} = \frac{\log(1-p)}{\log(1-\epsilon^s)}$$

Нарешті, слід підкреслити, що навіть коли ми малюємо мінімальну підмножину, вільну від викидів, ми не зможемо оцінити модель. Для успішної оцінки мінімальна підмножина, вільна від викидів, необхідна, але недостатня. Зазвичай підмножина повинна задовольняти додаткові обмеження, специфічні для проблеми (наприклад, три неколінеарні точки, щоб відповідати тривимірній площині).

Таким чином, для використання загального алгоритму RANSAC нам потрібно:

1. Метод оцінки параметричної сутності за мінімальною кількістю елементів даних.

2. Метод для оцінки параметра найменших квадратів.

3. Метод, який перевіряє, чи узгоджується даний елемент даних з моделлю.

Перший метод малює підмножину, малюючи елементи даних із заміною, використовуючи рівномірний розподіл (MATLAB: $\text{ceil}(\text{rand}(1,s)*n)$). Тобто значення s генеруються незалежно за допомогою рівномірного розподілу на інтервалі $[1,n]$. Оскільки елементи малюються із заміною, елемент даних можна намалювати кілька разів для однієї підмножини. Таким чином, кількість можливих підмножин дорівнює n^s , тоді як кількість дійсних підмножин менша, n . Це призведе до вироджених конфігурацій, коли один і той же елемент даних малюється кілька разів, оскільки ми генеруємо мінімальні підмножини. Хоча це не є оптимальним, його легко реалізувати, і вимога, щоб усі дійсні підмножини мали однакову ймовірність (1), задовольняється.

Невелика модифікація, яка забезпечує створення лише дійсних підмножин, полягає в тому, щоб видалити вибраний елемент даних і змінити рівномірний розподіл таким чином, що ймовірність вибору k -го елемента дорівнює $1/n-k$.

Таким чином генеруються лише дійсні підмножини, і всі вони мають однакову ймовірність $1/n-1/(n-s+1)$.

Інший метод простої випадкової вибірки полягає в тому, щоб незалежно генерувати випадкове значення на основі рівномірного розподілу в інтервалі $[a, b]$ для кожного з елементів даних, потім сортувати значення та брати s елементів даних, які відповідають найвищим. Зрозуміло, що цей підхід породжує лише n

дійсний підмножини. Тепер ми покажемо, що всі вони мають однакову ймовірність.

Нехай $x_i=1$ – наші незалежно однаково розподілені (iid) випадкові величини. Ймовірність включення елемента i до підмножини – це ймовірність того, що x_i більше $n - s$ випадкових величин. Як змінні генеруються незалежно, ми маємо:

$$p_{x_i > x_{j,1} \cap x_i > x_{j,2} \dots \cap x_i > x_{j,n-s}} = 1 - p(x_i > x_{j,1})$$

Якщо $p(x_i > x_j)$ є константою, то ймовірність включення елемента i до підмножини є постійна, що означає, що ймовірність для кожної підмножини є постійною і рівною. Оскільки наші випадкові величини є iid, їх спільний розподіл є симетричним відносно діагоналі, $p(x_i = x_j)$, яка дає нам:

$$p_{x_i > x_j} = 1 - p(x_i > x_j) / 2$$

Тепер ми покажемо, що $p(x_i = x_j)$ є константою, використовуючи той факт, що змінні iid з рівномірного розподілу:

$$\begin{aligned} p_{x_i > x_j} &= \int_a^b p(x_i = \lambda \cap x_j = \lambda) d\lambda \\ &= \int_a^b p_{x_i = \lambda} p_{x_j = \lambda} d\lambda \\ &= \int_a^b \frac{1}{b-a} \frac{1}{b-a} d\lambda \\ &= \frac{1}{b-a} \end{aligned}$$

Розділ 1.6 Система автоматизованого проектування

Розробка системи автоматизованого проектування складається з декількох етапів, зокрема етапу проектування та моделювання.



На етапі проектування маємо визначити комплекс технічних та алгоритмічних засобів.

До комплексу технічних засобів відносяться:

Камера та її система керування підвісом, контроллер та джерело живлення.



До алгоритмічного забезпечення відносяться:

Визначення орієнтирів за допомогою нейронних мереж або алгоритмів для визначення ключових точок, усунення перешкод, використання алгоритму RANSAC для вирішення задачі зіставлення зображень та оцінки фундаментальної матриці для визначення параметрів розташування камери, алгоритм визначення координат.

Тобто для визначення координат потрібні заздалегідь завантажені карти місцеві з визначиними орієнтирами та їх GPS координатами. За допомогою

згорткових нейронних мереж або алгоритмів визначення ключових точок, таких як SURF та SIFT, визначаються ці орієнтири в потоці вхідних зображень.

Розділ 2. Згорткові нейронні мережі та аналіз їх використання для пошуку ключових точок.

2.1 Згорткові нейронні мережі

Згорткові нейронні мережі (CNN) — це підтип глибоких нейронних мереж, які в основному використовуються для розпізнавання об'єктів та класифікації зображень. Згорткові нейронні мережі сприймають і обробляють дані у вигляді тензорів, що дозволяють працювати з даними зображення в природному вигляді. Кожне вхідне зображення має параметри як ширини, так і довжини, а також глибини, які визначаються кодуванням зображення. Найпоширенішим з них є кодування RGB, коли колір кожного пікселя на зображенні кодується значеннями 14 для трьох кольорів – червоного, зеленого та синього. Такі категорії значень, які описують зображення, називаються каналами. Інший вимір тензорів формується під час роботи мережі і містить карти виявлених властивостей зображення. Таким чином, згорткові нейронні мережі розглядають кожне зображення як чотиривимірний набір даних. Як правило, кожна мережа має певну необхідну ширину та довжину зображення, хоча існують також масштабовані мережі.

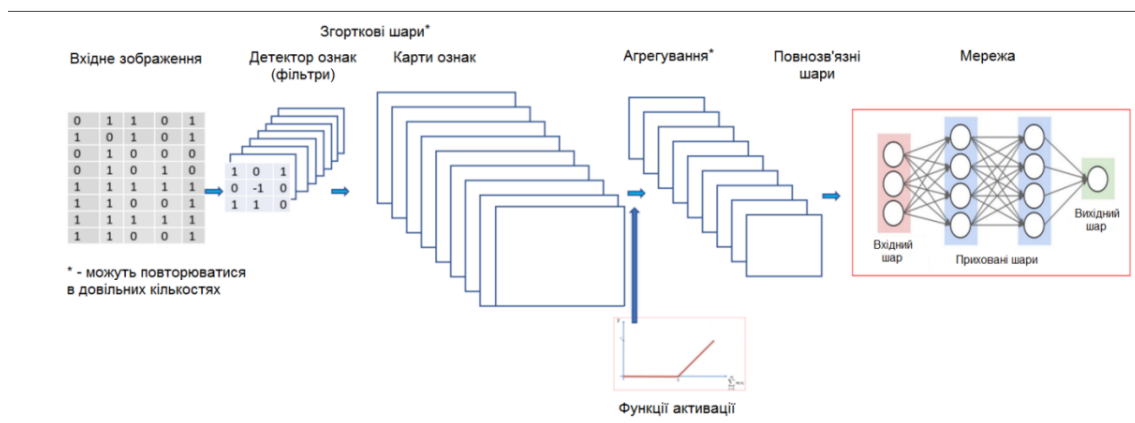
Для широкомасштабних завдань розпізнавання модель повинна мати високу здатність до навчання і високий відсоток правильних припущень щодо властивостей зображення. У порівнянні з традиційними нейронними мережами з прямим поширенням з такою ж кількістю шарів, згорткові нейронні мережі мають вищу здатність до навчання, оскільки містять набагато менше параметрів і зв'язків. Традиційні повністю підключені нейронні мережі вимагають набагато більше даних для належного навчання розпізнавання зображень, оскільки кожне вхідне зображення може мати розмірність принаймні кілька сотень тисяч, що вимагатиме відповідної кількості прикладів з різними значеннями для кожного виміру.

Інша відмінність від згорткових нейронних мереж полягає в тому, що вони зазвичай не вимагають попередньої обробки даних, оскільки вони безпосередньо

використовують дані зображення, що спрощує структуру мережі, враховуючи порядок вихідних даних. Незважаючи на численні переваги, їх застосування все ще потребує значних ресурсів, особливо для задач із зображенням високої роздільної здатності, тому існує потреба в розробці згорткових нейронних мереж з високим рівнем операційної оптимізації.

Крім додатків для задач розпізнавання та класифікації зображень, згорткові нейронні мережі широко використовуються в модифікаціях обробки природної мови (NLP) за рахунок модифікацій, зокрема вони показали високу ефективність при семантичному розборі, а також моделюванні та класифікації речень.

Структура згорткової нейронної мережі відповідає загальноприйнятій структурі нейронної мережі. Мережа складається з вхідного шару, ряду прихованих шарів і вихідного шару. Приховані шари зазвичай складаються з шарів згортки, агрегаційних (субдискретних) шарів, нормалізуючих і повністю когезійних шарів. Ці шари пов'язані між собою шарами з певними функціями активації. Основним елементом згорткової нейронної мережі є шар згортки, де операція згортки застосовується до даних з попереднього шару. Загальна структурна схема для побудови згорткової нейронної мережі наведена на мал.



Згорткові нейронні мережі стали дуже популярними в задачах розпізнавання зображень, оскільки вони уникають або зменшують основні проблеми, пов'язані з обробкою зображень у традиційних повністю підключених мережах. Велика кількість з'єднань у таких мережах і велика кількість параметрів у кожному зображенні вимагають великої кількості вхідних прикладів, а якщо вони відсутні, 16 мереж швидко перенавчаються, тобто модель

стає занадто складною та вчиться на нехарактерних другорядних ознаках, які існують у вхідному. Ще більшою проблемою є те, що такі моделі не стійкі до порушень чи змін зображень, наприклад до розміщення об'єкта в іншій частині зображення або до зміни кута його зору. Крім того, такі мережі не в змозі враховувати топологію вхідних даних: зображення є структурованими даними, де близько розташовані пікселі сильно корелюють, що робить необхідним знаходити локальні функції та відносини для ефективної ідентифікації зображень.

У згорткових нейронних мережах ці проблеми вирішуються використанням кількох ідей, найважливішою з яких є локальна обробка значень на прихованих рівнях. Кожен з рівнів розбитий на частини, кожна з яких сприймає лише дані попереднього рівня, який розташований на невеликій території. Такі ділянки називають локальними сприйнятливими полями. Використовуючи локальні рецептивні поля, мережа може визначити найпростіші елементи та функції зображення, такі як криві або грані між областями зображення. Іншою ідеєю згорткових нейронних мереж є розділені вагові коефіцієнти, використання яких знижує чутливість мережі до зміни положення об'єктів на зображенні, малих поворотів і спотворення: так, детектор для простої функції в зображенні використовується в конкретній території та в іншій її частині. Завдяки цьому детектори локальних рецептивних полів у різних областях матимуть однакову вагу, і в результаті різні частини зображення для подібних функцій виконуватимуть однакові перетворення.

Крім того, важливим елементом є операція часткової вибірки, яка дозволяє зменшити загальний розмір даних, одночасно зменшуючи їх сприйнятливості до значних перешкод. Зазвичай підвибірка в архітектурі мережі чергується з операціями згортки, таким чином поступово зменшуючи розмірність даних і збільшуючи кількість карт функцій.

2.2 Операція згортки

Операції згортки виконуються в шарах згортки нейронної мережі і є їх найважливішим елементом. Фактично, згортка — це математична операція, яка,

діючи на ядро або детектор функції k на вхідне зображення у вигляді тензора x , призводить до карти функцій m . Кожен детектор функцій складається з певної кількості фільтрів, кожен з яких є тензором параметрів з розміром, який зазвичай покриває лише невелику частину зображення за шириною та висотою, але має відповідати розміру по глибині. Такі фільтри є параметричною частиною нейронної мережі, до якої застосовується навчання. Крім виявлення символів і переходів, фільтри також можна використовувати як інструменти для підвищення різкості або розмиття зображень.

Крім того, фактична кількість фільтрів також може бути одним із гіперпараметрів нейронної мережі, оскільки збільшення кількості фільтрів призводить до збільшення кількості потенційно виявлених функцій і закономірностей, але для багатьох може призвести до повторів і пошуку ознак, які не характерні для ускладнень і потенційно заново вивчення моделі. Таким чином, кількість фільтрів відповідає кількості карт функцій, які визначають глибину виходу, а отже, і глибину входу для наступного рівня мережі, що, отже, визначає кількість необхідних параметрів на наступному кроці.

Під час навчання фільтри можуть визначати властивості зображення, яке групується у функціональні карти. Кожен фільтр відповідає за створення однієї карти функцій. Карта функцій формується за рахунок того, що фільтр переміщує зображення і визначає функції сусідів рецептивних полів. Кроки можуть бути різними і є одним з параметрів моделі. Навіть якщо абсолютне положення кожного елемента зображення на карті не зберігається, це не має значення, тому що відносне розташування функцій по відношенню один до одного залишається незмінним, а отже, властивості зображення зберігаються.

Загалом операцію можна записати математично так:

$$m_t = x * k_t = a = -\infty \text{ a } +\infty \text{ a } k(a+t)$$

Значення кожного детектора функцій за межами визначеного діапазону вважаються нульовими, тому нескінченну суму можна замінити на кінцеву зі значеннями в заданому діапазоні. Використовуючи комутативну властивість для операції математичної згортки, ми отримуємо спрощену функцію, яка підходить

для використання в нейронних мережах і створення детекторів для шару згортки, і яка пов'язана з функцією кореляції для значень зображення:

$$M_{i,j} = K * X_{i,j} = \sum_{m,n} K_{m,n} X_{i-m,j-n}$$

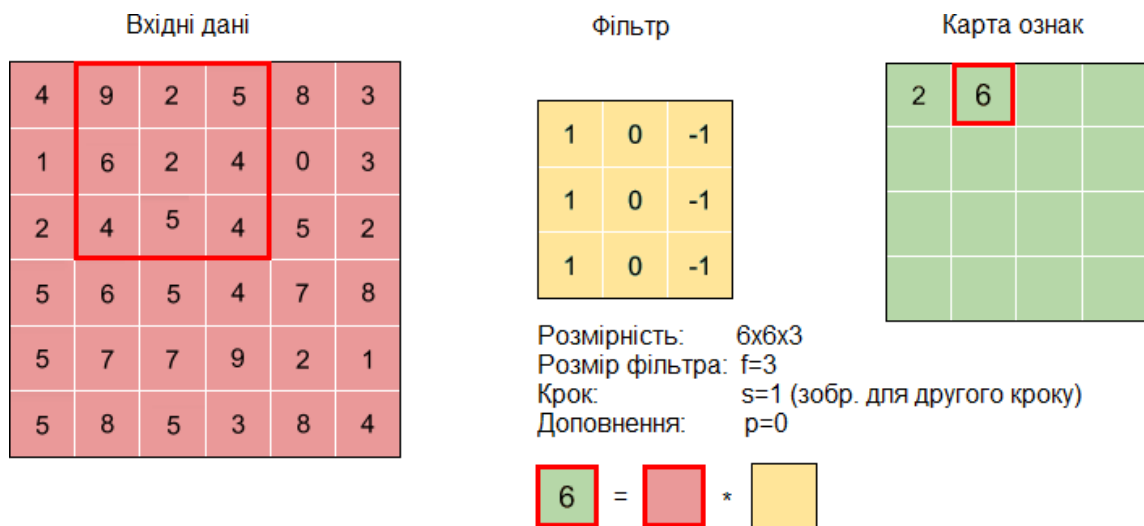
де $M(i, j)$ – елемент карти ознак з координатами i та j ,

X – вхідне зображення,

K – детектор ознак,

m, n – розмірності детектора ознак.

Приклад фільтра для операції згортки для двовимірного випадку показано на мал. 1.2.



Таким чином, кожен елемент у карті функцій можна інтерпретувати як результат скалярного добутку значень з області (приймального поля до нейрона), яка пов'язана з сусідніми значеннями з тієї ж карти.

Функції, які можуть виявляти фільтри, відрізняються залежно від рівня мережі, в якій вони розташовані. Для перших рівнів можуть бути прості переходи кольору або зміни яскравості, на більш глибоких рівнях фільтри можуть виявляти складні кути, округлість або зображення. Це можливо за допомогою використання результатів судом на попередніх рівнях на попередніх і збільшення кількості точок у вихідному зображенні, що впливає на кожне значення карти ознак на більш глибоких рівнях. Ця ж властивість збільшує вплив функції на результат, коли він знаходиться ближче до центру зображення, оскільки значення, що належать такій функції, впливатимуть на більше значень

однієї карти функції, ніж функція на краю зображення, охоплюючи більш сприйнятливі поля фільтра.

Крок s є одним із гіперпараметрів мережі, тобто параметром, який необхідно визначити в процесі навчання на етапі проектування. Збільшення кроку призводить до зменшення розмірності вихідних даних (і відповідно до зниження складності моделі) і зменшення перекриття сприйнятливих полів для різних значень.

Заповнення r є ще одним гіперпараметром і може використовуватися в тих випадках, коли небажано зменшувати розмірність карт функцій у порівнянні з вхідними даними, а також контролювати їх загалом. Він полягає в збільшенні вхідного зображення на певну кількість нульових значень з кожного краю. Використання нульового додавання також дозволяє збільшити ефект значень зображення, розміщених на краю, тому що без використання крайні значення використовуються у функціях лише один раз, тобто інформація втрачається з країв зображення. Результат додавання нулів до 1 шару для прикладу на рис. 1.2 показаний на рис. 1.3.

Вхідні дані

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 4 | 9 | 2 | 5 | 8 | 3 | 0 |
| 0 | 1 | 6 | 2 | 4 | 0 | 3 | 0 |
| 0 | 2 | 4 | 5 | 4 | 5 | 2 | 0 |
| 0 | 5 | 6 | 5 | 4 | 7 | 8 | 0 |
| 0 | 5 | 7 | 7 | 9 | 2 | 1 | 0 |
| 0 | 5 | 8 | 5 | 3 | 8 | 4 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Розмір фільтрів визначається з розрахунком на те, що фільтри зі збільшенням знайдуть більші функції, які зазвичай зустрічаються рідше, але можуть бути більш значущими [5]. У сучасних дослідженнях спостерігається тенденція до його зменшення, оскільки це зменшує використання ресурсів, оскільки кількість параметрів у фільтрах збільшується прямо зі збільшенням

розмірності. Для збереження розмірів сприйнятливих полів у таких випадках використовують вертикальне послідовне розташування обмоток. Це також покращує продуктивність мережі, оскільки збільшує глибину замість ширини великих обмоток. Іноді навіть 1-вимірні судоми використовуються для зменшення глибини даних перед виконанням операцій з великими ресурсами.

Розмір карти функцій залежить від заданих гіперпараметрів і може бути розрахований наступним чином:

$$d_m = d_x - f + 2 * p * s + 1$$

де d_m – розмірність карт ознак (ширина або висота),

d_x – відповідна розмірність вхідних даних,

f – розмірність фільтрів,

p – доповнення нулями,

s – розмір кроку обходу зображення.

Також можна паралельно використовувати фільтри з різними розмірами на одному рівні. Цей тип згортки називається груповою згорткою і вимагає групування вихідних даних для кожного виміру окремо від інших груп, що також вимагатиме використання різних конвульсій у цих групах на наступних рівнях. Це підвищує ефективність мережі, оскільки кожна група конвульсій виступає як окремий шар згортки і широко використовується в сучасних архітектурах.

Крім того, іноді використовується операція розширення, яка полягає в застосуванні фільтруючих елементів не до сусідніх пікселів, а до елементів з певним кроком. Це дозволяє значно зменшити розмірність даних, якщо вони містять багато зайвої інформації, а також узагальнити функції.

Після використання фільтрів і виконання необхідних операцій серед описаних вище до отриманих даних додається зміщення b , яке також є одним із параметрів мережі. Усі виконані перетворення є лінійними, тому для внесення нелінійних змін у дані використовується функція активації, властивості якої більш детально розглянуті в розділі 1.5. Загальний процес перетворень у шарі згортки можна описати рівнянням:

$$y = fw * x + b$$

де y – вихідний результат обчислень на згортковому шарі,

w – детектор ознак,

x – вихідні дані,

b – зсув.

2.3 Агрегувальні шари

Агрегаційні шари або субдискретні шари є одним з найважливіших структурних елементів у згорткових нейронних мережах, як і шари згортки. Такі шари можуть бути як глобальними, так і локальними, тобто застосовуватися лише до окремих груп вхідних даних, які будуть сприйнятливими полями для нейронів у відповідному шарі. Основним завданням шарів агрегації є зниження розмірності даних і водночас збереження найважливіших властивостей шляхом формування зв'язку між кількома елементами (нейронами) з попереднього шару з одним елементом у цьому шарі. Тому при побудові мережі їх зазвичай використовують з певною періодичністю між шарами згортки. Слід зазначити, що шари агрегації зберігають глибину вхідних даних, при цьому значно перешкоджаючи перенавчанню.

Розрізняють два підтипи шару агрегації: середній і максимальний. Іноді також використовуються мінімальні або L2 шари агрегації. Середні шари дають кожному елементу середнє значення серед тих, що належать до відповідної групи нейронів попереднього шару, тоді як шари максимізації дають максимальне значення. Формально операції для обох типів агрегації реєструються таким чином:

$$r_{i,j} = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i-m, j-n}^{i, j} x_{i-m, j-n}$$

для усередненого агрегування,

$$r_{i,j} = \max_{i-m, j-n}^{i, j} x_{i-m, j-n}$$

для максимізаційного агрегування,

де $r(i, j)$ – значення елемента поточного рівня з координатами i та j ,

x – вхідні дані з попередніх рівнів,

m, n – розмірність рецептивного поля.

Важливою функцією рівнів агрегації є підвищення стійкості мережі до перешкод, таких як зміна точки зору об'єкта або зміна його положення. Вибираючи значення з набору за певним критерієм (середнє або максимізація), зміна вхідних даних на незначні значення мало впливає на результати рівня агрегації. Таким чином, подібні функції, такі як переходи, кути або заокруглення, матимуть подібні базові значення, незважаючи на деякі зміни положення чи освітлення. У такій задачі краще максимізувати агрегацію.

Шари агрегації мають кілька ідентичних гіперпараметрів з операцією згортки: так, має бути визначений крок обходу зображення, який часто вибирають, щоб уникнути накладання; додавання нулів, а також розмірність сприйнятливого поля, хоча більшість мереж використовують вікно розміром 2x2. Шари агрегації можуть значно зменшити розміри вхідних даних і вплив окремих елементів з малими значеннями на результат, тому використання такого невеликого рецептивного поля виправдане. Існують також мережеві архітектури, які взагалі не використовують рівні агрегації, замінюючи їх шарами згортки зі збільшенням тону. Розмірність отриманих даних для шарів агрегації може бути розрахована за допомогою значень гіперпараметрів, подібно до обчислення розмірності карт функцій для рівнів згортки.

Іноді замість операції агрегації використовується операція підвибірки, щоб знайти суму елементів рецептивного поля кожного нейрона, а потім цю суму помножити на параметр, за яким слідує параметр зміщення та нелінійна функція активації. Формально таку операцію можна записати так:

$$p_{i,j} = f(w * m, n x i - m, j - n + b)$$

де $p(i, j)$ – значення елемента поточного рівня з координатами i та j ,

x – вхідні дані з попередніх рівнів,

m, n – розмірність рецептивного поля.

2.4 Повнозв'язні рівні

Повнозв'язними рівнями (англ. fully-connected layers) в згорткових нейронних мережах називають такі рівні, де всі нейрони з наступного шару

поєднані зв'язками з нейронами попереднього шару, як і у більшості шарів у звичайних нейронних мережах. Використання таких рівнів на початковому та прихованому рівнях мережі не є виправданим, оскільки це ускладнює модель і навіть може ігнорувати попередні висновки про особливості та закономірності згортки та агрегації. Однак повністю підключені рівні зазвичай використовуються на передостанньому кроці мережі, щоб підготуватися до пошуку результатів на виході мережі.

Для роботи на рівні повного зв'язку елементи матриць і шарів з попереднього кроку вирівнюються в послідовність значень. Такі шари, як і згорнуті, виконують обчислення скалярного добутку даних і параметрів з додаванням зсувів. Отже, загальна формула для повнозв'язного рівня схожа на формулу рівня згортки:

$$y=f(wT*x+b)$$

З відмінністю, що w позначає не детектор ознак, а масив параметрів рівня.

На повністю підключених рівнях використовується функція активації, результат який буде або використовуватися на наступному рівні, або служити для обчислення результатів вихідної мережі. Таким чином, типи функцій активації, які використовуються на цьому рівні, відрізняються від тих, що використовуються для згортки та агрегації, і залежать від положення рівня та загального призначення мережі. Так, деякі з найпопулярнішими функціями активації для генерування вихідних даних є функція Softmax і функція сигмовидної форми.

Повністю зв'язані рівні можна розглядати як згорнуті рівні з розмірністю детектора функцій 1×1 , де реалізовані всі зв'язки.

2.5 Рівні втрат та вибір функції втрат

Рівень втрат зазвичай є останнім рівнем мережі і відповідає за оновлення параметрів під час навчання. На цьому рівні попередньо визначена функція втрат обчислює різницю між істинними значеннями навчальних даних (істинні дані) і результатами мережі (прогноз), а на наступному кроці навчання мережі ці дані використовуються для використання алгоритми навчання.

Вибір і налаштування функції втрат є одним з найважливіших елементів побудови нейронної мережі, оскільки від цього значною мірою залежить швидкість і якість навчання мережі, а також здатність мережі оцінювати точність результатів. Значення функції втрат є критерієм оцінки ефективності мережі, оскільки з її допомогою всі переваги, недоліки та помилки мережі слід звести до одного значення, яке має характеризувати мережу, щоб результати для різних моделей могли бути відсортованими. Крім того, функція втрат повинна враховувати специфікації конкретного завдання, для якого використовується мережа.

Двома основними типами функцій втрат для нейронних мереж є функції перехресної ентропії та функції помилки середнього квадрата. Однак для згорткових мереж в задачах класифікації використовується порівняння результатів мережі з одним із визначених класів ймовірність того, що вхідні дані належать кожному із визначених класів. У такій задачі параметри знаходять за принципом максимальної ймовірності, оскільки мережа, наближаючись до правильних параметрів, намагається наблизити розподіл результатів до розподілу реальних даних. Таким чином, необхідним критерієм мережевих помилок буде різниця між ймовірностями належності вхідних даних до всіх класів, отриманих мережею і зазначених у вибірці. Тому для задач класифікації зі згортковими мережами використовуються лише функції крос-ентропії. Крім того, функція середньоквадратичної помилки для задачі класифікації може бути підтипом функції перехресної ентропії, якщо дані розподілені відповідно до нормального закону.

Функція перехресної ентропії, яка використовується як функція втрат для задачі класифікації, називається функцією логарифмічних втрат і, нарешті, використовується паралельно з функціями активації Softmax (для багатокласової класифікації) і sigmoid (для бінарної класифікації) рівень мережі для розрахунку прогнозів. Його можна знайти за формулою:

$$L_{p,y} = -\sum_{n \in [1,N]} p_n \ln p_n$$

де p – отримані за допомогою мережі ймовірності належності даних до вибраних класів,

u – справжні значення для вхідних даних,

N – кількість класів.

2.6 Функції активації

Рівень втрат зазвичай є останнім рівнем мережі і відповідає за оновлення параметрів під час навчання. На цьому рівні попередньо визначена функція втрат обчислює різницю між істинними значеннями навчальних даних (істинні дані) і результатами мережі (прогноз), а на наступному кроці навчання мережі ці дані використовуються для використання алгоритми навчання.

Вибір і налаштування функції втрат є одним з найважливіших елементів побудови нейронної мережі, оскільки від цього значною мірою залежить швидкість і якість навчання мережі, а також здатність мережі оцінювати точність результатів. Значення функції втрат є критерієм оцінки ефективності мережі, оскільки з її допомогою всі переваги, недоліки та помилки мережі слід звести до одного значення, яке має характеризувати мережу, щоб результати для різних моделей могли бути відсортованим. Крім того, функція втрат повинна враховувати специфікації конкретного завдання, для якого використовується мережа.

Двома основними типами функцій втрат для нейронних мереж є функції перехресної ентропії та функції помилки середнього квадрата. Для згорткових мереж, однак, завдання класифікації використовують ймовірності того, що вхідні дані належать кожному з визначених класів, щоб порівняти продуктивність мережі з одним із визначених класів. У такій задачі параметри знаходять за принципом максимальної ймовірності, оскільки мережа, наближаючись до правильних параметрів, намагається наблизити розподіл результатів до розподілу реальних даних. Таким чином, необхідним критерієм мережеских помилок буде різниця між ймовірностями належності вхідних даних до всіх класів, отриманих мережею і зазначених у вибірці. Тому для задач класифікації зі згортковими мережами використовуються лише функції крос-ентропії. Крім того, функція середньоквадратичної помилки для задачі класифікації може бути

підтипом функції перехресної ентропії, якщо дані розподілені відповідно до нормального закону.

Функція перехресної ентропії, яка використовується як функція втрат для задачі класифікації, називається функцією логарифмічних втрат і, нарешті, використовується паралельно з функціями активації Softmax (для багатокласової класифікації) і sigmoid (для бінарної класифікації) рівень мережі для розрахунку прогнозів. Її можна знайти за формулою:

$$y = Fx = \max_{i \in \{0,1\}}(0, x)$$

де y – елемент поточного рівня,

x – елемент з вхідних даних.

Дотримуючись формули функції, вона видаляє негативні значення з мережі, надаючи їм нульове значення, замість того, щоб виконувати те саме перетворення для інших значень. Швидкість цієї функції з апаратної точки зору також покращена, оскільки це звичайне порівняння значення з нулем. Похідна ReLU дорівнює 0 для негативних значень і 1 для всіх інших, тому робота алгоритму зворотного поширення також спрощена.

Але оскільки ReLU не наближається до ідентичного перетворення, близького до нуля, воно вимагає принаймні одного позитивного початкового значення для ефективного навчання. З іншого боку, активація не всіх початкових значень позитивно впливає на мережу через ефект рідкості. Впровадження ReLU було пов'язане з пошуком аналогії з роботою обробки зорової інформації в корі головного мозку.

Дві інші функції, які традиційно використовуються для функцій активації в нейронних мережах, це гіперболічний тангенс ($\tanh(x) = \tanh(x)$) і сигмовидна функція, яка також використовується як функція активації мереж останнього рівня в задачах бінарної класифікації, оскільки значення діапазон $[0; 1]$ і це дозволяє нам наблизити ймовірності вхідних даних до двох класів:

$$y = fx = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

Завдання класифікації кількох класів на останньому рівні мережі зазвичай використовують функцію Softmax, оскільки вона враховує всі значення з

попереднього рівня мережі і може обчислити відповідну ймовірність для кожного класу. Ця функція використовується для отримання результатів у цій роботі:

$$y_i = \frac{e^{x_i}}{\sum_{j=1}^N e^{x_j}}, \forall i, j \in (1, N)$$

де y_i – елемент поточного шару з індексом i ,
 x_i – елемент попереднього шару з індексом i ,
 N – кількість елементів на попередньому шарі.

Фактично функція Softmax нормалізує експоненціальні значення даних з попереднього рівня, таким чином переводячи вхідний масив з довільними значеннями в діапазон $[0; 1]$, який використовується для обчислення ймовірностей. Функцію можна змінити, змінивши підставу степеня з e на інше число, таким чином збільшивши вагу великих значень на попередньому рівні (при збільшенні основи), або навпаки, вирівнявши дію різних значень (коли зменшення основи). Крім того, функція стійка до збільшення всіх показників з попереднього рівня до постійного значення, що підвищує стабільність результуючих ймовірностей належності до класів.

Розділ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Результати ефективності визначення, опису та зіставлення локальних наземних орієнтирів методами комп'ютерного зору системи візуальної навігації під час польоту.

Для вирішення навігаційного завдання системою візуальної навігації алгоритмічне забезпечення було реалізовано з використанням бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV мовою C++.

Зліт відбувається в точці будинку де є GPS сигнал, дані координати прикріплюються до центру самого першого кадру системи візуальної навігації для подальшого перерахунку. Тривалість польоту склала 15 хвилин як симуляція польоту в зоні активних радіоперешкод. Заданий період фотографування 5 кадрів в секунду, що при круїзній швидкості більше 100 км/год забезпечить перекриття більш ніж 60% між зображеннями. Як було згадано раніше вхідне зображення є

двомірною матрицею кольорових пікселів розміром 4096x2160 і представлено на рис. 2.



Рис. 2. Вхідне зображення з камери БПЛА до бортового мікрокомп'ютера.

Наступним кроком нормалізуємо зображення до розміру 520x380 і чорно білого формату (grayscale), далі виконуємо визначення особливих точок або наземних орієнтирів алгоритмом SIFT як обчислювально витратним, він створює дескриптори (опис) кожної особливої точки. Цю ж процедуру виконуємо для наступного кадру, потім зіставляємо пари особливих точок між зображеннями використовуючи алгоритм BF як обчислювально витратний, результати наведені на рис. 3. Для оптимізації обчислювального навантаження було задано визначення, опис та зіставлення максимум 20 особливих точок для кожного зображення, це дозволяє виділити максимально унікальні ознаки на зображенні.

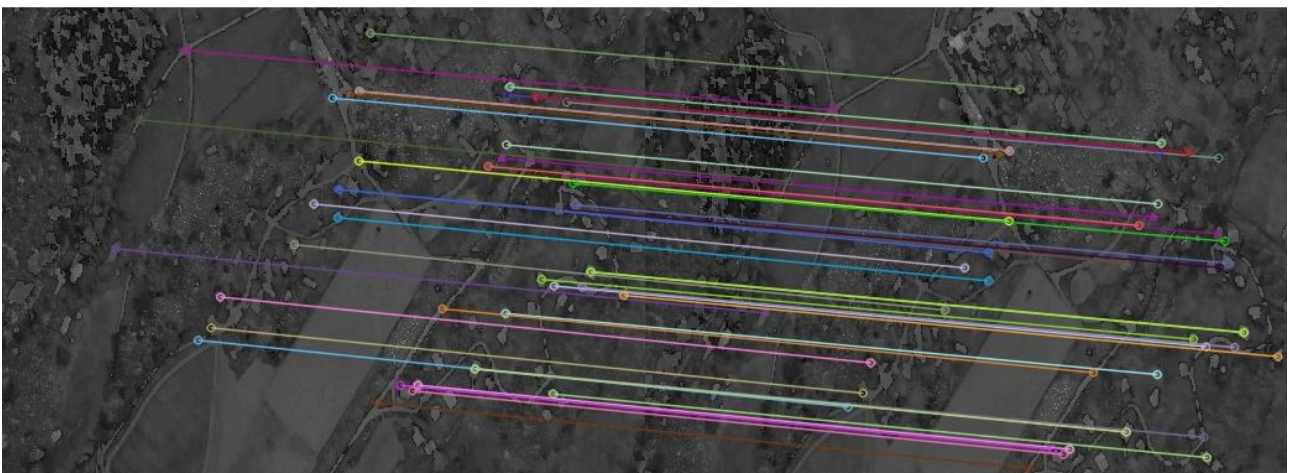


Рис. 3. Визначення, опис та зіставлення особливих точок або наземних орієнтирів між двома зображеннями, поточним та попереднім.

Виконується ітеративна покадрова обробка відео потоку в реальному часі з камери на борту БПЛА для забезпечення візуальної навігації, обчислюється піксельне зміщення, фільтрація хибних пар за граничним значенням відхилення, усереднення піксельного зміщення та перерахунок у поточні GPS-координати БПЛА. Працездатність покадрової обробки відеопотоку системою візуальної навігації з розворотами БПЛА під час автомобільної місії наведена на рис. 4, 5, 6, 7.

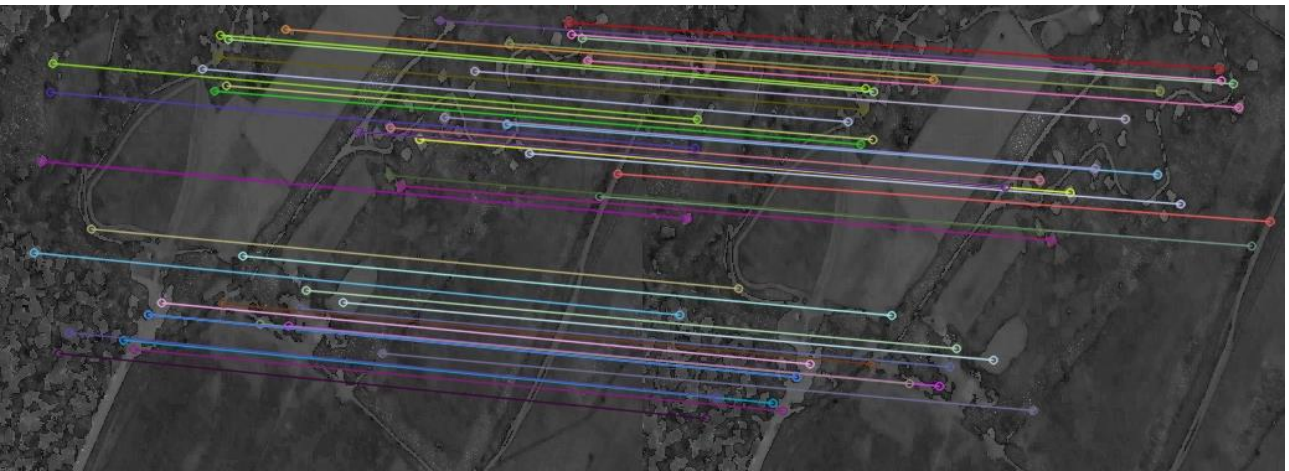


Рис. 4. Визначення, опис та зіставлення особливих точок або наземних орієнтирів між двома зображеннями, поточним та попереднім.

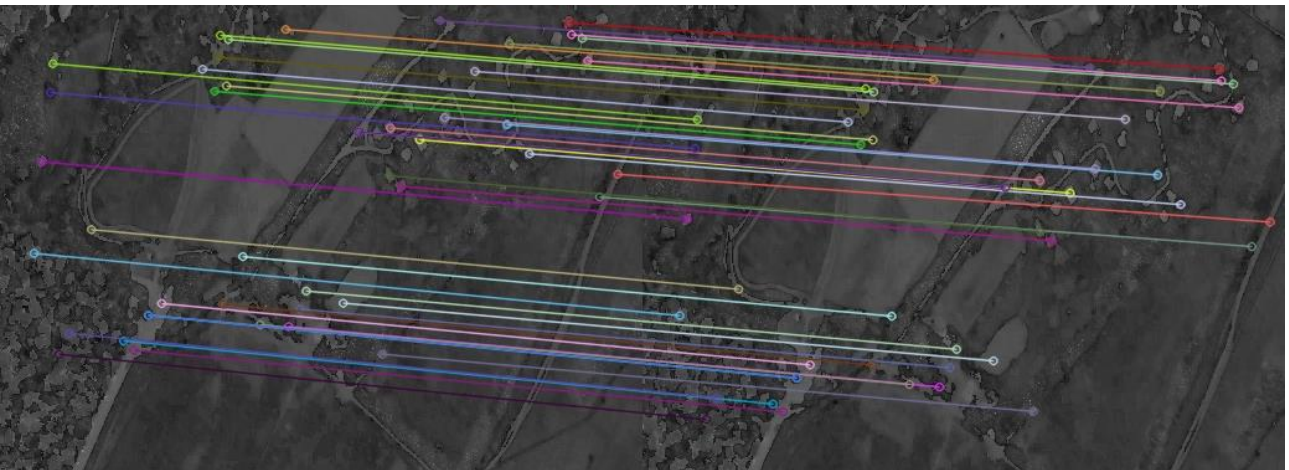


Рис. 5. Визначення, опис та зіставлення особливих точок або наземних орієнтирів між двома зображеннями, поточним та попереднім.

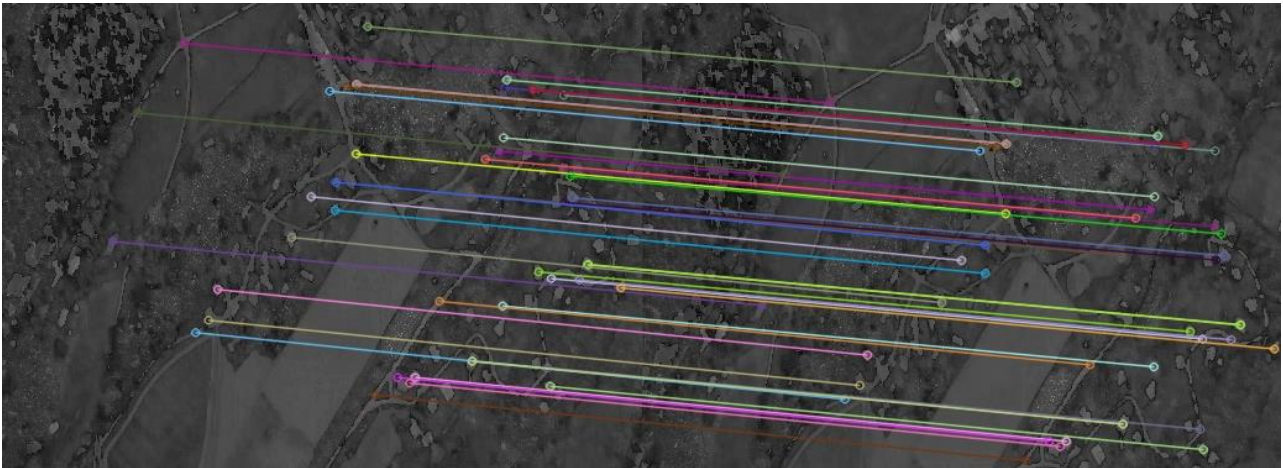


Рис. 6. Визначення, опис та зіставлення особливих точок або наземних орієнтирів між двома зображеннями, поточним та попереднім.



Рис. 7. Визначення, опис та зіставлення особливих точок або наземних орієнтирів між двома зображеннями при виконанні розвороту БПЛА.

Середня оцінка часу обробки пари кадрів алгоритмами SIFT + BF від збільшення розміру кадру представлена в таблиці 1.

| Номер пари | Розмір 520x380 | Розмір 720x576 | Розмір 800x600 |
|------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 0.126498 секунди | 0.261223 секунди | 0.366817 секунди |
| 2 | 0.125311 секунди | 0.259818 секунди | 0.307732 секунди |

| | | | |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|
| 3 | 0.124878 секунди | 0.256252 секунди | 0.325083 секунди |
| 4 | 0.124943 секунди | 0.257062 секунди | 0.308956 секунди |
| 5 | 0.126292 секунди | 0.257318 секунди | 0.310021 секунди |
| 6 | 0.126852 секунди | 0.256654 секунди | 0.320367 секунди |

Таблиця 1. Час обробки бортовим мікрокомп'ютером кількох кадрів різного розміру.

З таблиці 1. слід, що з незначному збільшенні розміру кадру час обробки значно збільшується. Процедура зміни вхідного зображення з вихідного розміру 4096x2160 до 520x380 пікселів в середньому займає 0.01 секунди, що взагалі не відчутно, а час обробки пари кадрів скорочується багаторазово, що дозволяє оптимізувати обчислювальні ресурси для додаткових алгоритмів підвищення точності системи візуальної навігації. Порівняльний аналіз обчислювальних витрат алгоритмів комп'ютерного зору наведено в таблиці 2.

| Номер пари | SIFT | SURF | ORB | AKAZE |
|------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 | 0.14912 2 сек | 0.052241 1 сек | 0.034123 9 сек | 0.032611 3 сек |
| 2 | 0.16537 5 сек | 0.049929 5 сек | 0.029896 7 сек | 0.029752 3 сек |
| 3 | 0.18010 1 сек | 0.054913 6 сек | 0.029956 6 сек | 0.029791 6 сек |
| 4 | 0.17687 4 сек | 0.048774 3 сек | 0.029878 1 сек | 0.029697 7 сек |

Таблиця 2. Порівняльний аналіз у секундах обчислювальних витрат алгоритмів комп'ютерного зору визначення, описи та зіставлення візуальних наземних орієнтирів.

Порівняння споживаної обчислювальної потужності при використанні алгоритмів зіставлення спеціальних точок між зображеннями шляхом повного перебору BruteForcematcher і шляхом пошуку найближчих сусідів K-Nearestneighbor представлено в таблиці 3 в комбінації з SURF.

Таблиця 3. Порівняння споживаної обчислювальної потужності алгоритмів зіставлення спеціальних точок між двома зображеннями у комбінації з SURF алгоритмом.

| Номер пари кадрів | SURF + BF matcher | SURF + KNN matcher |
|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1 | 0.0640599сек | 0.0632252 сек |
| 2 | 0.0553908 сек | 0.0552041 сек |
| 3 | 0.0643522 сек | 0.0630322 сек |
| 4 | 0.0571646 сек | 0.0583795 сек |
| 5 | 0.0541796 сек | 0.0749743 сек |

С Система візуальної навігації інтегрується з автопілотами використовуючи UART інтерфейс і Mavlink протокол [5], як зворотний зв'язок для корекції навігаційних параметрів, більш детально можна переглянути за посиланнями.

3.2 Обговорення результатів аналізу продуктивності алгоритмів комп'ютерного зору, підходів вирішення навігаційного завдання засобами системи візуальної навігації та оптимізація швидкості покадрової обробки для збільшення точності системи

Аналіз підходів для вирішення задачі візуальної навігації показав необхідність виконання всіх обчислень на борту БПЛА під час польоту в зоні активних радіоперешкод. Сформовано детальну методологію покадрової обробки наземних орієнтирів або спеціальних точок на бортовому мікрокомп'ютері. Визначено вимоги та критерії для роботи алгоритмів визначення, пошуку та зіставлення наземних орієнтирів між двома зображеннями. Обмеження обчислювальної потужності бортового комп'ютера показали необхідність оптимізації алгоритмів комп'ютерного зору для виконання

на борту безпілотного літального апарату в реальному часі. Отримані результати покадрової обробки (рис. 3-7) свідчать про працездатність алгоритмів комп'ютерного зору на вирішення завдання візуальної навігації на борту БПЛА.

При цьому слід зазначити, що в класичному вигляді алгоритми комп'ютерного зору є ресурсомісткими і не здатні працювати в реальному часі на борту БПЛА через обмеження обчислювальних та масогабаритних характеристик бортового обчислювача. Таблиці 1-2 доводять істотну оптимізацію обчислювальної продуктивності при виборі алгоритмів і нормалізації вхідного зображення. Перехід від кольорового представлення зображення на чорно біле (grayscale) не зменшує точність алгоритмів, зате щонайменше вдвічі економить споживану обчислювальну потужність. Кадри розміром більше 800x600 пікселів ставлять під сумнів можливість обробки 3-5 пар зображень протягом однієї секунди. Оптимальним виявилось зв'язування алгоритмів AKAZE + KNNmatcher для оптимізованої методології роботи системи візуальної навігації. Оптимізація швидкості обчислень, підбір оптимального значення кількості детектируемых наземних орієнтирів (10-20) і встановлення порогового значення фільтрації зіставлених пар значно підвищують точність візуальної навігації.

Необхідно відзначити, що завдяки значному зменшенню обчислювального навантаження на бортовий мікрокомп'ютер з'явилася можливість обробки зображення паралельно декількома процесами операційної системи використовуючи загальну пам'ять, що розділяється, де зберігається нормалізована матриця вхідного зображення для підвищення точності навігації. Як такий процес пропонується обробка знімка згортковою нейронною мережею архітектури ResNet101 для детектування центру зображення розміром 9x9 пікселів та пошуку його на наступному кадрі. Так як згорткова нейронна мережа має точність правильного визначення порядку 90 -98% і не здатна перевірити чи область (9x9 пікселів) вона імовірно знайшла на наступному кадрі, в даній мікро області, слід знайти наземні орієнтири тим же алгоритмом AKAZE і зіставити їх з областю другого зображення, що забезпечить фільтрацію невірних припущень нейронної мережі.

Незалежна обробка зображення паралельно декількома процесами, заснованими на різних алгоритмах та програмних бібліотеках, дублюють та коригують обчислення позиції БПЛА, що у разі збільшує точність системи візуальної навігації. Комбінації обробок зображення у загальній поділюваній пам'яті процесами, заснованими на різних математичних принципах, виходять за рамки цієї роботи. Варто зазначити, що з програмної точки зору обмін даними між процесами використовуючи сокети, загальну пам'ять, що розділяється, IPC (interprocess communication) технології є простим і тривіальним завданням, яке просто реалізувати на практиці.

Розділ 4. Охорона праці

4.1 Вступ

Питання охорони праці людини має вирішуватися на всіх етапах трудового процесу незалежно від виду професійної діяльності.

Забезпечення безпечних і здорових умов праці багато в чому залежить від правильної оцінки небезпечних, шкідливих факторів виробництва. Одна і та ж складність змін в організмі людини може бути викликана різними причинами. Це можуть бути фактори виробничого середовища, надмірне фізичне та психічне напруження, нервово-емоційне напруження, а також різні поєднання цих причин.

У цьому розділі розглядається питання охорони праці програмістом на етапі розробки програмного комплексу, призначеного для системи візуальної навігації. Тому і об'єктом дослідження являє собою програміст.

Лабораторія, у якій працює програміст знаходиться в навчальному корпусі на кафедрі АКІК.

4.2 Аналіз умов праці

Приміщення, де працює програміст, має загальну площу 20 м², висота стель 30 м. Є 7 робочих місць з ПК. Кожне робоче місце обладнано письмовим столом 1,2 м², стільцем та персональним комп'ютером, що складається з монітора, системного блоку, клавіатури та миші. Слід зазначити, що площа робочого місця оператора ПК не повинна бути менше 6м², а об'єм не менше 20м³, тобто площі та

об'єму цього приміщення недостатньо для розміщення 7 робочих місць з операторів ПК.

Проаналізувавши умови праці, існуючі в приміщенні лабораторії на розробника можуть впливати такі фізичні та психологічні фактори

1. Температурний режим робочої зони може бути завищений або занижений;
2. Вологість повітря завищена або занижена;
3. Недостатня освітленість робочого простору;
4. Підвищений рівень шуму;
5. Підвищена іонізація повітря;
6. Підвищений рівень електромагнітних випромінювань
7. Нервово-психічні перевантаження;
8. Фізичне перевантаження;

4.2.1 Мікроклімат робочої зони

Робота програміста за енерговитратами відноситься до категорії легких робіт Іа, Іб, тому повинні дотримуватися наступні вимоги згідно ДСН 3.3.6.042-99:

7. Оптимальна температура повітря – 22°C (допустима – 20-24°C);
8. Оптимальна відносна вологість – 40-60% (допустима – не більш 75%);
9. Швидкість руху повітря не більш 0,1 м/с.

Виміряні приладами (психрометром Августа), температура та вологість у лабораторії відповідають наведеним у таблиці для теплого періоду року. 7 ПК, що знаходяться в приміщенні, є джерелами тепла, крім того, для системи опалення використовуються нагріті поверхні для підтримки оптимальних параметрів мікроклімату в приміщенні в холодний період року. Нормованим показником ІК є максимально допустима щільність потоку енергії $I_{g,d}$, Вт/м², яка встановлюється в залежності від площі опромінюваної поверхні тіла людини (S_{opr}). Нормовані рівні складають: $I_{g,d} = 35$ Вт/м² при $S_{opr} > 50\%$; $I_{g,d} = 70$ Вт/м² при $S_{opr} \sim 25-50\%$; $I_{g,d} = 100$ Вт/м² при $S_{opr} < 25\%$.

4.2.2 Виробничі випромінювання

Допустимі значення параметрів неіонізуючого електромагнітного випромінювання від монітора комп'ютера представлені в таблиці 2. Нормованим параметром для невикористаних рентгенівських променів є потужність експозиційної дози. На відстані 5 см від поверхні екрана рівень не повинен перевищувати 100 мкР/год. Максимальний рівень рентгенівського випромінювання на робочому місці програміста зазвичай не перевищує 20 мкР/год.

| Найменування параметру | Допустимі значення |
|--|--------------------|
| Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітора | 10 В/м |
| Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50 см від поверхні відеомонітора | 0,3 А/м |
| Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати: для дорослих користувачів для дітей дошкільних установ і що вчаться середніх спеціальних і вищих учбових закладів | 20кВ/м 15кВ/м |

4.2.3 Освітлення робочого місця

Нормованим параметром для природного освітлення згідно з ДБН В.2.5–28 - 2006 є коефіцієнт природного освітлення (КПО). КПО встановлюється залежно від категорії виконуваної візуальної роботи. Робота програміста відноситься до робіт із середньою точністю (IV категорія візуальних робіт, мінімальний розмір об'єкта для нагородження 0,5-1,0 мм), так як при використанні бічного освітлення КПО = 1,5%. Для штучного освітлення нормованим параметром є E_{min} - мінімальний рівень для освітлення, і K_p - коефіцієнт пульсації для світлового потоку, який не повинен перевищувати 20%. Мінімальне освітлення встановлюється в залежності від категорії виконуваної візуальної роботи. Для візуальних робіт IV категорії вона становить 300-500 лк.

За вимірами (люкс-метр Ю-116) рівень природної освітленості поверхні, де знаходиться ПК програміста, становить 200 лк при відкритій освітленості цієї ж поверхні до 20 000 лк, тобто КПО = 1%, що робить не відповідають нормативним КПО.

Для штучного освітлення приміщення використовуються люмінесцентні лампи, що має ряд істотних переваг перед лампами розжарювання: за спектральним складом світла вони близькі до природного; має підвищену світловіддачу (в 2-5 разів вище, ніж у ламп розжарювання); мають більший термін служби (до 10 тис. годин).

Розрахунок штучного освітлення буде виконано для приміщення площею 20 м², де ширина 5 м, довжина - 4 м, висота - 3 м за методом використання світлового потоку.

Щоб визначити необхідну кількість ламп для забезпечення нормованого рівня освітлення, визначте світловий потік на робочій поверхні за формулою

$$F=ESKZn$$

де F — розрахунковий світловий потік, Лм;

E - нормована мінімальна освітленість, Лк; E = 300 Лк;

S - площа освітлюваної кімнати (у нашому випадку S = 20м²);

Z - відношення між середньою освітленістю і мінімальною (зазвичай приймається рівним 1,1 ... 1,2, у нашому випадку Z = 1,1);

K - коефіцієнт запасу, що враховує зменшення світлового потоку до лампи в результаті забруднення ламп під час роботи (величина залежить від типу приміщення та характеру виконуваної в ньому роботи, у нашому випадку K = 1,5;

n - коефіцієнт використання світлового потоку (виражається як відношення світлового потоку, що падає на обчислювальну поверхню, до сумарного потоку всіх ламп і розраховується у частках одиниці; залежить від властивостей лампи, розміру приміщення, кольору стін і стелі , що

характеризується коефіцієнтом відбиття стін ($\rho_{ст.}$) і стелі ($\rho_{стелі}$), значення коефіцієнтів становлять $\rho_{ст.} = 40\%$ і $\rho_{стелі} = 60\%$.

Обчисліть індекс приміщення за формулою

$$i = SH(A+B)$$

де S – площа приміщення, $S = 20\text{м}^2$;

h – розрахункова висота підвісу, $h = 2,9\text{ м}$;

A – ширина приміщення, $A = 4\text{ м}$;

B – довжина приміщення, $B = 5\text{ м}$.

Замінивши значення отримуємо: $i = 0,77$. Коли ми знаємо індекс кімнати, знаходимо $\rho = 0,22$. Замініть всі значення у формулі, щоб визначити світловий потік F

$$F = ESKZn = \dots \approx$$

Для освітлення використовували люмінесцентні лампи ЛБ40-1 зі світловим потоком $F = 4320\text{ Лм}$. Питома кількість ламп N знаходимо за формулою

$$N = F/F_{л} = \dots \approx$$

де F – світловий потік, $F = 45000\text{ Лм}$;

$F_{л}$ – світловий потік однієї лампи, $F_{л} = 4320\text{ Лм}$.

$$N = 45000/4320 = 11$$

У кімнаті використовуються лампи ЛПО. Кожна лампа оснащена двома лампами. Це означає, що ви повинні використовувати 6 ламп з 12 робочими лампами в них.

У лабораторії, де аналізували робоче місце програміста, є 7 ламп, тому рівень штучного освітлення не відповідає санітарним нормам.

4.2.4 Вплив шуму на програміста

Як зазначалося, лабораторія має понад сім робочих станцій для ПК, кожна з яких оснащена монітором, жорстким диском у системному блоці, трьома вентиляторами охолодження ПК та клавіатурою. Крім того, поруч працює

периферія. Таким чином, в приміщенні присутні звуки механічного та аеродинамічного походження, широкосмугового з аперіодичним посиленням під час роботи принтерів. Приблизні еквівалентні рівні звукового тиску для джерел шуму, що діють на програміста на його робочому місці, представлені в таблиці 1. Допустимий еквівалентний рівень шуму для робочого місця програміста становить 50 дБА. Розрахувати середній рівень шуму на робочому місці оператора під час роботи всього зазначеного обладнання.

| Джерело шуму | Рівень шуму, дБА |
|------------------|------------------|
| Жорсткий диск | 45 |
| Вентилятор | 40 |
| Принтер лазерний | 40 |
| Сканер | 50 |

Рівень шуму, що виникає від кількох некогерентних джерел, що працюють одночасно, розраховується на основі принципу підсумовування енергії рівня інтенсивності окремих джерел.

$$L = 10 \lg I = 10 \lg \sum_{i=1}^n I_i$$

де L_i – рівень звукового тиску i -го джерела шуму;

n - кількість джерел шуму.

Замінивши значення рівня звукового тиску для всіх видів обладнання у формулу, отримаємо.

$$L = 10 \lg(104,5 + 104,5 + 104,0 + 105,0) = 41,2 \text{ дБ.}$$

Якщо є декілька джерел шуму з однаковим рівнем інтенсивності L_i , загальний рівень шуму визначається за формулою: $L = L_i + 10 \lg n$. У нашому випадку таких джерел сім, тому загальний рівень шуму буде визначатися наступним чином

$$L = 44,2 + 10 \lg 7 = 49,7 \text{ дБ.}$$

Розраховане значення середнього рівня шуму не перевищує гранично допустимий рівень шуму для робочого місця програміста.

4.2.5 Електробезпека. Статична електрика

Приміщення лабораторії можна віднести до 1 класу за ризиком ураження електричним струмом, тобто це приміщення без підвищеної небезпеки (сухе,

незапилене, з нормальною температурою повітря, ізольовані підлоги та невелика кількість заземлених пристроїв).

На робочому місці програміста все обладнання системного блоку комп'ютера металеве, але в ньому використовуються системні блоки, що відповідають стандартам IBM, які крім робочої ізоляції передбачають заземлюючий елемент і провід із заземлювачем для підключення до джерела живлення.

Основні причини ураження електричним струмом на робочому місці:

10. Контакт з не струмопровідними металевими частинами (корпуси, периферійні пристрої комп'ютера), які можуть бути пошкоджені внаслідок пошкодження ізоляції;
11. Нерегульоване використання електроприладів;
12. Відсутність інструктажу працівників щодо правил електробезпеки.

+ Під час роботи на кришці комп'ютера накопичується статична електрика. На відстані 5-10 см від екрану напруженість електростатичного поля становить 60-280 кВ / м, тобто в 10 разів перевищує норму 20 кВ / м.

4.3 Розробка заходів з охорони праці

Після аналізу робочого місця програміста в лабораторії було виявлено, що воно не відповідає встановленим вимогам. Також в результаті аналізу були виявлені порушення в організації робочого місця програміста. У зв'язку з цим пропонується організувати робоче місце програміста таким чином:

Висота над рівнем підлоги робочої поверхні, на якій працює програматор, повинна бути 720 мм. Бажано, щоб письмовий стіл при необхідності можна було регулювати по висоті в межах 680-780 мм;

оптимальний розмір поверхні столу 1600 x 1000 мм. Під столом має бути простір для ніг глибиною 650 мм. На столі оператора також повинна бути підставка для ніг під кутом 15о до поверхні столу. Довжина підставки - 400 мм, ширина -350 мм. Відстань до клавіатури від краю столу не повинна

перевищувати 300 мм, що забезпечить програмісту зручну опору для передпліч. Відстань між очима і екраном має бути 40-80 см;

робоче крісло програміста повинно бути обладнане механізмом підйому та повороту. Висота сидіння повинна регулюватися в межах 400-500 мм. Глибина сидіння повинна бути не менше 380 мм, а ширина - не менше 400 мм. Висота опорної поверхні коника не менше 300 мм, ширина - не менше 380 мм. Кут нахилу спинки крісла до площини сидіння повинен коливатися в межах 90 - 110 °.

За результатами аналізу тяжкості та інтенсивності роботи пропоную скоротити час перебування за комп'ютером, робити перерви, загальний час має становити 50 хвилин із 8-годинною зміною.

Нормалізація повітря в робочій зоні

Для створення та автоматичного супроводу в лабораторії незалежно від зовнішніх умов з оптимальними значеннями температури, вологості, чистоти та швидкості руху повітря, в холодну пору року використовується водяний підігрів, у жарку пору року використовується кондиціонування.

Промислове освітлення

Під час аналізу освітлення робочого місця програміста було виявлено, що воно не відповідає встановленим нормам, тому для покращення умов роботи рекомендуємо збільшити загальне освітлення приміщення шляхом встановлення 5 додаткових ламп.

Для підтримки проектного освітлення в чистому вигляді необхідно також скласти графік, який забезпечує миття віконних блоків і світильників не рідше двох разів на рік.

Захист від електромагнітних полів

Усі монітори повинні бути сертифіковані, щоб запобігти введенню небезпечного обладнання.

Електробезпека

Електробезпека в лабораторії пропоную запропонувати наступні технічні методи та засоби захисту:

Для зменшення накопичення статичної електрики використовувати зволожувачі та нейтралізатори, антистатичний підлогу; забезпечити підключення металевого корпусу обладнання до заземленої жили. Забезпечте заземлення кришки ПК, підключивши заземлювальний провід до електричних розеток. Опір заземлення 4 Ом, згідно (ПУЕ) для електроустановок напругою до 1000 В.

13. а також організаційна діяльність:
14. своєчасна інформація безпеки;
15. заборона використання в лабораторії непередбачених електроприладів, таких як чайники, обігрівачі.

4.4 Пожежна безпека

Ступінь вогнестійкості будівель приймається залежно від їх призначення, категорії вибухо та пожежної небезпеки, поверховості, площі підлоги у протипожежній секції згідно з НАПБ В.03.002-2007.

Будівля, в якій розташована лабораторія пожежної небезпеки будівельних конструкцій, відноситься до категорії К1 (малогорючі), оскільки є легкозаймистими (книги, документи, меблі, оргтехніка тощо) і горючими речовинами (сейфи, різне обладнання тощо)8, які при контакті з вогнем можуть горіти без вибуху.

За конструктивними властивостями будинку можна віднести будинки з несучими і огорожувальними конструкціями з натуральних або штучних

кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону, де в перекритті допускається використання дерев'яних конструкцій, захищених штукатуркою або вогнезахисними плитами.

Тому ступінь вогнестійкості будинку можна визначити як третій (III). Приміщення лабораторії функціональної пожежної небезпеки належать до класу F 4.2 - ВНЗ, навчальні заклади.

Причини пожежі

Пожежа в лабораторії може призвести до дуже сумних наслідків (втрата цінної інформації, пошкодження майна, загибель людей тощо), тому необхідно:

16. Виявити та усунути всі причини пожежі;
17. Розробити план заходів щодо ліквідації пожежі в будинку;
18. План евакуації людей з дому.

Причинами пожежі можуть бути:

несправності проводів, розеток і вимикачів, які можуть призвести до короткого замикання або пробую ізоляції;

19. Використання пошкодженої (несправної) техніки;
20. Використання опалювальних приладів з відкритими ТЕНами;
21. Виникнення пожежі через блискавку в будинку;
22. Пожежа в будинку через зовнішній вплив;
23. Необережне поводження з вогнем та недотримання заходів пожежної безпеки.

Пожежна профілактика

Для запобігання пожежам надзвичайно важливо правильно оцінити пожежну небезпеку будинку, виявити небезпеки та обґрунтувати методи та засоби протипожежної попередження та захисту.

Однією з умов пожежної безпеки є усунення можливих джерел запалення. У лабораторних умовах джерелами запалення можуть бути:

24. Несправності електрообладнання, несправності електричних проводів, розеток і вимикачів. Щоб виключити виникнення пожежі з цих причин, необхідно своєчасно виявляти та усувати несправності, проводити плановий огляд та своєчасно усувати всі несправності;

25. Несправні електроприлади. До необхідних заходів щодо ліквідації пожежі відноситься своєчасний ремонт електроприладів, якісне усунення поломок, невикористання несправних електроприладів;

26. Опалення приміщень електричними обігрівачами з відкритими ТЕНами. Відкриті опалювальні поверхні можуть стати причиною бб

Висновки

В ході аналізу були виявлені наступні шкідливі фактори:

- Замала кількість робочого простору;
- Недостатній рівень освітленості;
- Недостатній рівень вологості повітря;
- Порушення в організації робочого місця;

Для цих шкідливих факторів були запропоновані шляхи покращення умов праці. Наприклад такі як: Зменшення кількості робочих місць, зменшення загального навантаження, збільшення кількості ламп, зволоження повітря шляхом встановлення кондиціонера. А також організація правильного режиму відпочинку.

Розділ 5. Охорона навколишнього середовища

Охорона навколишнього середовища за останні десятиліття стала однією із найважливіших проблем сучасності. Тому потрібно дуже відповідально, ретельно ставитися до цього та завчасно знаходити засоби щодо запобігання забруднення та погіршення навколишнього середовища, як для людини, так і для природи взагалі. А також проектувати такі пристрої, датчики, системи, які б не наносили шкоди навколишньому середовищу.

Характер і масштаби сучасної антропо-техногенної всезростаючої негативної дії на природне середовище викликають обґрунтовану тривогу з приводу серйозних наслідків, що відбуваються, для здоров'я і санітарно-

епідеміологічного благополуччя більшості населення України і інших країн Європи.

Безпілотний літальний апарат – як джерело забруднення навколишнього середовища.

Оскільки безпілотні літальні апарати стають з кожним роком більш популярні у різних сферах, масштаби виробництва БПЛА ростуть неймовірними темпами.

У 2014 році по всьому світу було продано 4,9 мільйона БПЛА, а до 2025 року їх продажі можуть зрости до 90 мільйонів, згідно зі звітом ABI Research. Протягом наступних кількох років цей ринок буде зростати в середньому на 30,4% на рік, прогнозують автори.

За словами Мері Мікер, партнера Kleiner Perkins Caufield & Byers, світові продажі дронів у 2014 році принесли 750 мільйонів доларів доходу проти 250 мільйонів доларів у 2013 році. У 2015 році вона прогнозує зростання доходу на 1,7 мільярда доларів. 30% виручки від цього за підрахунками ABI Research, ринок, за даними ABI Research, отримали продавці літаючих іграшок, але до 2017 року доходи від їх продажу перевищать доходи виробників напівпрофесійних пристроїв, а до 2025 року Розважальні дрони складатимуть 2/3 продажів БПЛА.

Маючи такі тенденції розвитку та збільшення масштабів виробництва постає проблема переробки компонентів самих БПЛА. Всі літальні апарати мають на своєму борту двигуни та елементи живлення різних систем. Починаючи від бензинових двигунів для літальних апаратів середньої та великої тривалості польоту, закінчуючи малими та надмалими апаратами які несуть на борту електродвигуни та елементи живлення, найчастіше Li-Ion акумулятори.

Наслідки розвитку безпілотної техніки:

1. Забруднення повітря.
2. Електромагнітні випромінювання.
3. Виробництво більшої кількості акумуляторів
4. Гео-екологічні забруднення

5.1 Проблема використання бензинових двигунів у БПЛА та їх шкідливість для навколишнього середовища

Шкідливість використання бензинових двигунів вже доведена та обговорена, але наведемо основні види забруднення які вони виробляють:

Забруднення свинцем

Свинець - пластичний, м'який метал. Температура плавлення $+327,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, температура кипіння $+1725 \text{ }^{\circ}\text{C}$, щільність - $11,34 \text{ г / см}^3$, колір - синьо-сірий. Він добре підходить для лиття, кування, пайки та прокатки.

Основним джерелом забруднення повітря свинцем є автотранспорт, який використовує етилований бензин. Свинець впливає на нервову систему людини, що призводить до зниження інтелекту, викликає зміни фізичної активності, координації слуху, впливає на серцево-судинну систему, призводить до серцевих захворювань. Це негативно впливає на здоров'я населення і в першу чергу дітей, які найбільш схильні до отруєння свинцем. Звичайно, це саме той момент у світі, коли виробляється дуже велика модель 3,5 тис. тунець свиней, від 2,5 тис. тон до 3,1 тис. тон зводиться до етилового бензину.

Забруднення оксидом вуглецю

Окис вуглецю (чадний газ, оксид вуглецю, чадний газ) — безбарвний токсичний газ без запаху. Хімічна формула - CO . Нижня та верхня концентраційні межі поширення полум'я: від 12,5 до 74% (об'єм).

Найбільшим джерелом чадного газу в містах є автомобільний транспорт. У більшості міст понад 90% CO надходить у повітря внаслідок неповного згоряння вуглецю в моторному паливі за реакцією: $2\text{C} + \text{O}_2 = 2\text{CO}$.

Щорічно цього газу надходить в атмосферу не менше 1250 млн тонн. Окис вуглецю - це сполука, яка активно реагує з компонентами в атмосфері. Це сприяє підвищенню температури планети і парниковому ефекту.

Окис вуглецю є надзвичайно агресивним газом, який легко з'єднується з гемоглобіном (червоними кров'яними клітинами).

Забруднення оксидом азоту

Оксид азоту (IV) (діоксид азоту, бурий газ) NO_2 — газ червонувато-коричневого кольору з характерним різким запахом. Оксид азоту (IV) дуже

токсичний. Навіть у малих концентраціях подразнює дихальні шляхи, у високих — набряк легенів.

Оксид азоту (II) (оксид азоту, оксид азоту, нітрозильний радикал) NO — безбарвний газ, малорозчинний у воді. Токсичний, як і інші оксиди азоту, крім N₂O, вражає дихальні шляхи.

Оксиди азоту виділяються в значних кількостях при роботі двигунів внутрішнього згорання.

Вони беруть участь в утворенні кислотних дощів. Азотна кислота, утворена оксидами азоту, становить близько 35% усіх кислот, що містяться в дощовій воді.

Оксиди азоту беруть участь у утворенні фотохімічного смогу, що призводить до вторинного забруднення міської атмосфери. Фотохімічні процеси, характерні для південних сонячних міст, включають утворення пероксиацетилнітрату (ПАН), який у концентрації 0,1-0,5 мг/м³ може подразнювати слизові оболонки очей і викликати загибель рослин. Наявність ПАН в атмосфері характерна для так званого «літнього» смогу. Рівень фотохімічного забруднення повітря тісно пов'язаний з рухом транспортних засобів.

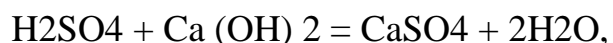
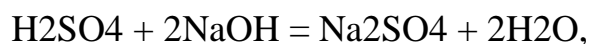
5.2 Проблема використання Li-Ion акумуляторів

Використання Li-Ion акумуляторів здавалося може вирішити більшість проблем зв'язаних зі згоранням палива та викидами в повітря, але у таких акумуляторів є один великий недолік – вони дуже токсичні. Електроліт який знаходиться в акумуляторах є дуже шкідливим і існує лише 2 способа його переробки.

Створення промислової технології та обладнання для утилізації електроліту, злитого зі старих акумуляторів, має велике значення як з екологічної, так і з економічної точки зору. Відсутність таких технологій призводить до неорганізованого викиду електроліту у водойми, підземні води, стічні води, що завдає значної шкоди навколишньому середовищу.

Існує два основних способи утилізації сірчаноокислого електроліту: нейтралізація з подальшим скиданням у стічні води та регенерація з отриманням сірчаної кислоти як товарного продукту.

Нейтралізація сірчаноокислого електроліту заснована на реакціях взаємодії H_2SO_3 з нейтралізуючими агентами. В якості останньої найчастіше використовуються соди Na_2CO_3 , каустична сода NaOH , вапно CaCO_3 , гідроксид кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Реакції за участю цих реагентів протікають так:



Примітка: гідроксид кальцію можна використовувати з відходів виробництва ацетилену.

В результаті реакцій утворюється розчинний сульфат натрію, а реакцій - нерозчинний сульфат кальцію (гіпс).

При розробці технології нейтралізації H_2SO_4 за допомогою соди важливо знати величину розчинності Na_2CO_3 у воді залежно від температури.

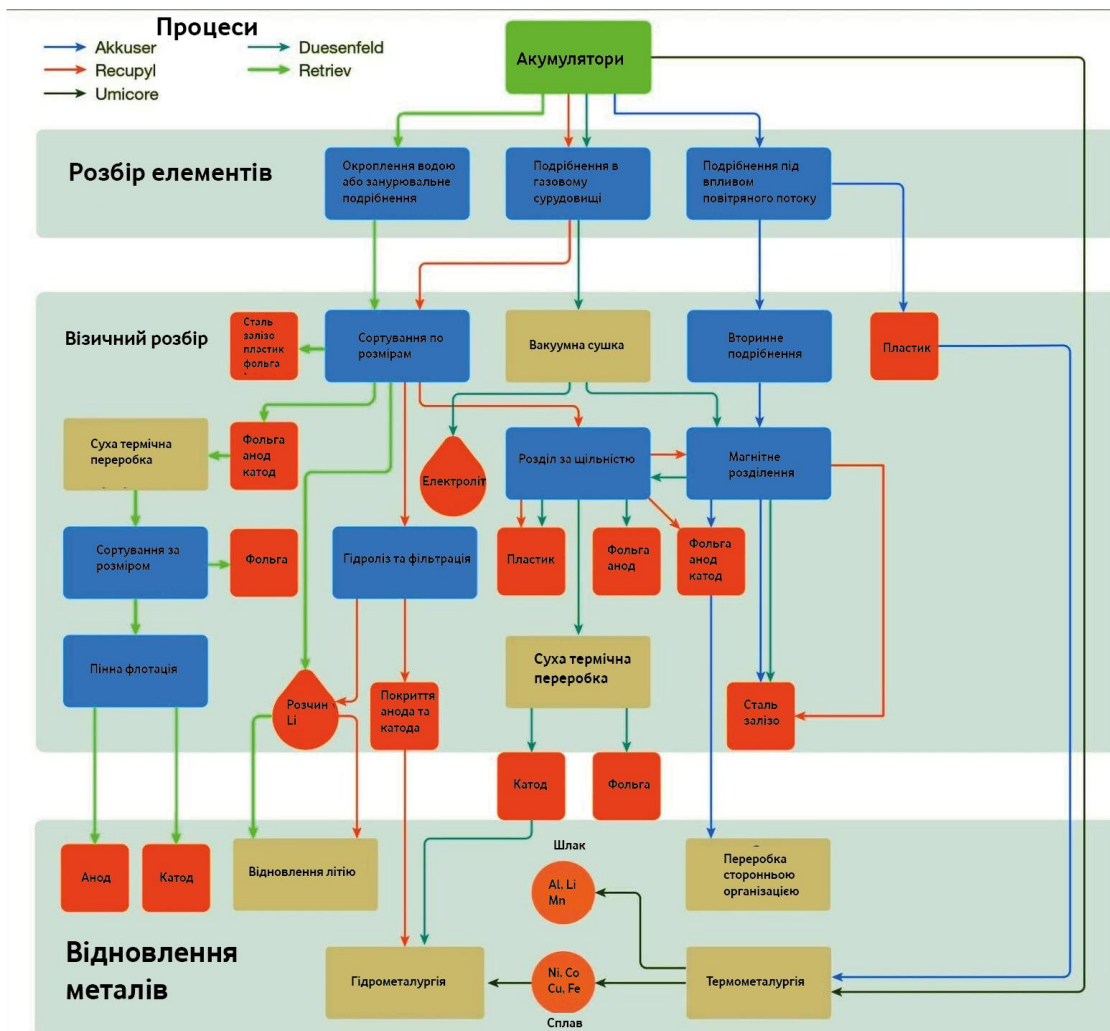
Сьогодні літій-іонні батареї переробляють в основному шляхом розплавлення батарей до шлаку, а потім за допомогою методів хімічного поділу, які зменшують кількість деяких металів, таких як кобальт. Цей метод включає пірометалургійні та гідрометалургійні процеси, які є енергоємними та виділяють токсичні побічні гази, а відновлювані матеріали часто мають низьку якість.

Для підвищення ефективності процесів утилізації та переробки батарейні блоки слід демонтувати принаймні до рівня модуля. Однак небезпек, пов'язаних з розбиранням батареї, багато. Розбирання таких акумуляторних батарей вимагає навчання високої напруги, щоб запобігти ураження електричним струмом або коротке замикання пристрою. Коротке замикання призводить до швидкого розряду, що може спричинити нагрівання та тепловий хід. Останнє може призвести до утворення особливо шкідливих побічних продуктів, зокрема газоподібного фтористого водню, що разом з іншими газами може призвести до вибуху елементів. Акумуляторні елементи становлять хімічну небезпеку через горючі електроліти, токсичні та канцерогенні електролітні добавки та потенційно токсичні чи канцерогенні електродні матеріали. Крім того, розбирання вручну в країнах з високою вартістю робочої сили є неекономічним у порівнянні з доходами від перероблених матеріалів або компонентів.

Багато компаній використовують свої ноу-хау у виробництві акумуляторів, тому використані акумулятори від електромобілів мають широкий діапазон фізичних конфігурацій, типів і хімічного складу елементів. Конструкція існуючих акумуляторних батарей не оптимізована для легкого розбирання. Використання клею, техніки склеювання та кріплення нелегко знищити вручну або обладнанням. Багато з цих проблем можна було б вирішити, якби виробники акумуляторів врахували їх на початку процесу проектування.

Сучасні технології ще не передбачають розбирання елементів акумулятора, оскільки зробити це практично неможливо. Батареї в кращому випадку розбирають на модулі, які потім надходять у подрібнювач або високотемпературний реактор, де одночасно пасивуються. Але в той же час для подальшого відновлення матеріалів з батарей потрібен складний комплекс фізико-хімічних процесів. Наприклад, пірометалургійні процеси промислового масштабу можуть приймати всі модулі батарей електромобілів без їх розбирання. Однак таке рішення не дозволяє використовувати енергію, яка ще залишилася в батареях, а також призводить до ускладнення методів хімічного

поділу, оскільки матеріал, що подається в процес, є іншою сумішшю. Складність процесу та велика кількість відходів, що утворюються в цьому процесі, знижують економічну ефективність цих методів обробки.



Відпрацьовані літій-іонні акумулятори є цінним ресурсом. Елементи та матеріали акумуляторів для електромобілів відсутні в глибинах багатьох країн, і доступ до цих ресурсів зараз є критичним для всіх. Початкові занепокоєння з приводу відсутності природних ресурсів для розширення виробництва літій-іонних акумуляторів були пов'язані з літієм. Сьогодні, однак, більше занепокоєння викликають запаси кобальту, які географічно значною мірою зосереджені в політично нестабільній демократичній республіці Конго. Деякі країни зараз стверджують, що батареї з високим вмістом кобальту слід негайно переробляти, щоб забезпечити постачання металу.

Передбачається, що до 2022 року річна потреба в літію перевищить поточний видобуток на шахтах, а до 2050 року потреба в кобальті може перевищити відомі планетарні запаси. На даний момент мільйони тонн цих дорогоцінних металів, «запаяних» у відпрацьовані акумулятори від електромобілів, стануть досить привабливим ресурсом.

Якщо розглядати два основних способи первинного виробництва літію, то за допомогою 250 тонн сподуменової мінеральної руди або 750 тонн розсолу, збагаченого мінералами, необхідно досягти однієї тонни його. Обробка величезної кількості сировини у виробництві літію призводить до значного негативного впливу на навколишнє середовище. На відміну від цього, для вторинного виробництва 1 тонни літію знадобиться лише 28 тонн використаних літій-іонних акумуляторів (приблизно 256 батарей). Вплив на навколишнє середовище від виробництва літій-іонних акумуляторів можна значно зменшити за рахунок збільшення обсягів переробки матеріалів від батарей, які зняли з виробництва.

Варто додати, що повторне використання батарейок вважається кращим, ніж переробка, оскільки літій-іонні батареї мають дуже високу вартість.

Наприклад, такий показник, як ESOI (збережена енергія по відношенню до спожитої енергії - співвідношення між енергією, яка буде зберігатися протягом усього терміну служби батареї, і енергією, яка використовується для виробництва батареї), не дуже високий для літій-іонних акумуляторів. На сьогодні – 32 (для ГЕС – 704, для свинцевих акумуляторів – 5). Однак цей коефіцієнт енергії можна покращити, переробляючи використані батареї з електромобілів для інших застосувань. Літій-іонні акумулятори для електромобілів можуть прослужити від 15 до 20 років, що втричі довше, ніж свинцево-кислотні. Вигідні програми переробки також можуть компенсувати майбутні витрати на переробку цих батарей. У деяких регіонах світу вже формується здоровий ринок для перетворення використаних акумуляторів від

електромобілів у накопичувачі енергії, попит на які незабаром може перевищити пропозицію. Однак використання батарей в енергосистемах поки розвивається лише в тих регіонах, де це дозволяє законодавча база.

Роботизоване розбирання батареї може знизити ризик травмування працівників, а збільшення автоматизації призведе до зниження витрат і потенційно зробить переробку економічно ефективною. Автоматизація також може покращити механічне поділ матеріалів і компонентів, підвищити чистоту розділених матеріалів та підвищити ефективність процесів поділу. Сучасні технології в області робототехніки, комп'ютерного зору та штучного інтелекту для управління відходами вже існують, і ці системи показали достатню надійність і безпеку. Сьогодні ці технології адаптують для вирішення гострої проблеми розбирання батареї.

Захист навколишнього середовища та контроль переробки Li-Ion акумуляторів.

Основний принцип захисту навколишнього середовища, у тому числі й атмосферного повітря та гео-ресурсів, від забруднення, полягає в розробці комплексу заходів, які обмежують (виключають) надходження шкідливих речовин в атмосферу та ґрунт.

Такими заходами є:

1. Законодавча база, яка б урегульовувала використання акумуляторів, необхідність їх контролю та переробки.
2. Контроль переробки акумуляторів
3. Будівництво заводів переробки повного циклу
4. Оптимізація систем для зменшення об'єму енергоносіїв

Повністю виключити використання акумуляторних батарей призведе до неможливості використання БПЛА. Тому на сьогоднішній день захист довколишнього середовища йде шляхом збільшення ефективності систем, та енергоємність БПЛА що дозволить зменшити об'єм використаних елементів живлення.

5.3 Висновки

4. У даній роботі зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу та ґрунт здійснюються методом зменшення енергоспоживання систем БПЛА, що призводить до зменшення енергозатрат та необхідності використання додаткових акумуляторів в системі. Оптимізація системи збільшить його енергоефективність. Очевидно, що при збільшенні енергоефективності систем БПЛА це позбавить розробників використовувати додаткові та більші АКБ.
5. Економічна ефективність розробки полягає у зменшенні кількості елементів живлення, або використання додаткових.

Висновок

Аналіз підходів для вирішення задачі візуальної навігації показав необхідність виконання всіх обчислень на борту БПЛА під час польоту в зоні активних радіоперешкод. Сформовано детальну методологію покадрової обробки наземних орієнтирів або спеціальних точок на бортовому мікрокомп'ютері. Визначено вимоги та критерії для роботи алгоритмів визначення, пошуку та зіставлення наземних орієнтирів між двома зображеннями. Обмеження обчислювальної потужності бортового комп'ютера показали необхідність оптимізації алгоритмів комп'ютерного зору для виконання на борту безпілотного літального апарату в реальному часі. Отримані результати покадрової обробки (рис. 3-7) свідчать про працездатність алгоритмів комп'ютерного зору на вирішення завдання візуальної навігації на борту БПЛА.

При цьому слід зазначити, що в класичному вигляді алгоритми комп'ютерного зору є ресурсомісткими і не здатні працювати в реальному часі на борту БПЛА через обмеження обчислювальних та масогабаритних характеристик бортового обчислювача. Таблиці 1-2 доводять істотну оптимізацію обчислювальної продуктивності при виборі алгоритмів і нормалізації вхідного зображення. Перехід від кольорового представлення зображення на чорно біле (grayscale) не зменшує точність алгоритмів, зате щонайменше вдвічі економить споживану обчислювальну потужність. Кадри розміром більше 800x600 пікселів ставлять під сумнів можливість обробки 3-5

пар зображень протягом однієї секунди. Оптимальним виявилось зв'язування алгоритмів AKAZE + KNNmatcher для оптимізованої методології роботи системи візуальної навігації. Оптимізація швидкості обчислень, підбір оптимального значення кількості детектируемых наземних орієнтирів (10-20) і встановлення порогового значення фільтрації зіставлених пар значно підвищують точність візуальної навігації.

Необхідно відзначити, що завдяки значному зменшенню обчислювального навантаження на бортовий мікрокомп'ютер з'явилася можливість обробки зображення паралельно декількома процесами операційної системи використовуючи загальну пам'ять, що розділяється, де зберігається нормалізована матриця вхідного зображення для підвищення точності навігації.

Список літератури

1. Голубець М А., Кучерявий В.П., Генсірук С А. та ін. Конспект лекцій з курсу "Екологія та охорона природи** (теоретичні основи загальної екології, охорони природи, комплекс природоохоронних заходів). — К.: УМКВО, 1990. — 216 с.
2. Даждо Р. Основы экологии. Пер. с франц. / Под ред. В.В. Алпатова. — М.: Прогресс, 1975. — 415 с.
3. Сухарев С М., Чудак С О., Сухарева О.Ю. Технологія та охорона навколишнього середовища: Навч. посіб. — Львів: Новий Світ — 2000, 2004. — 256 с.
4. Бойчук Л Д., Соломенко Е.М., Бугай О.В. Екологія і охорона навколишнього середовища: Навч. посіб. — Суми: Університетська книга, 2003. — 284 с.
5. Національна екологічна політика України : заг. оцінки і ключ. рек. / Міністерство охорони навколишнього природного середовища, Програма розвитку ООН, Глобальний Екологічний Фонд. — К., 2007. — 32 с.

6. Кобилянський В. А. Філософія екології: загальна теорія екології, геоекологія, біоекологія: [Текст]: навч. посібник/В. А. Кобилянський. - М.: ФАІР-ПРЕС, 2003. - 192 с.
7. Сметанін В. І. Захист навколишнього середовища від відходів виробництва та споживання: [Текст]: навч. посібник / В. І. Сметанін. - М.: Колос, 2003. - 230 с