

ДОДАТОК А

Графічний матеріал кваліфікаційної роботи

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Кафедра ЕОМ

Математична модель динамічної зміни
параметрів drone

Кваліфікаційна робота
Другий (магістерський) рівень

Автор:

Самойленко Є.О.
студ. гр. СПм-22-4

Керівник:

Піскарьов О.М.
доц. каф. ЕОМ

2024

МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

2

МЕТОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ є дослідження математичної моделі динамічної зміни параметрів drone для її застосування в системах навігації та управління рухом drones.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ ДОСЯГНЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ МЕТИ:

- ❖ провести огляд сучасних систем визначення місцезнаходження drones;
- ❖ провести дослідження математичної моделі динамічної зміни параметрів drone.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

3

За допомогою сучасного рівня розвитку елементної бази виконується проектування drones, які здатні з високою ефективністю виконувати моніторингові та інші завдання.

Підвищити точність визначення параметрів руху drones при груповій взаємодії можливо за допомогою комплексування даних відносних параметрів swarm drones. Виникає завдання спільної обробки інформації, отриманої від різних систем вимірювання параметрів руху swarm drones. У кваліфікаційній роботі досліджується динамічна модель зміни параметрів drone. Це необхідно для підвищення точності визначення параметрів руху drone при високих похибках вимірювань або нестабільній роботі супутникових систем позиціонування за рахунок комплексної обробки власних та взаємних оцінок координат та швидкостей swarm drones.

СУЧАСНІ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ DRONES

4

I. Супутникові системи визначення координат та швидкостей

Приклад супутникової радіонавігаційної системи



В основі роботи супутникових радіонавігаційних систем лежить принцип беззапитових далекомірних вимірювань між космічними супутниками та споживачем та передачі у складі сигналу інформації про координати супутників.

Космічні апарати, обертаючись навколо Землі строго заданими орбітами і траєкторіями, формують «сузір'я» з кількох супутників, що знаходяться в зоні технічної видимості пристроїв біля земної поверхні. Кожен із супутників формує та відправляє у бік Землі радіодалекомірний сигнал та повідомлення, що містить інформацію про місцезнаходження.

СУЧАСНІ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ DRONES

5

I. Супутникові системи визначення координат та швидкостей

Приклад «сузір'я» з кількох супутників



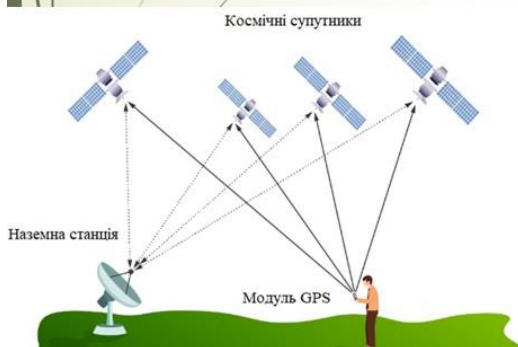
Прийнявши і розпізнавши сигнали та повідомлення від супутників, станції, що слідкують, відправляють отриману інформацію на провідну станцію. Обчислювальні пристрої на провідній станції здійснюють:

- оцінювання отриманої інформації;
- зіставлення поточних координат супутників із заданою траєкторією;
- порівняння показників атомного годинника супутників з часом еталонного годинника на станції.

СУЧАСНІ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ DRONES

6

I. Супутникові системи визначення координат та швидкостей



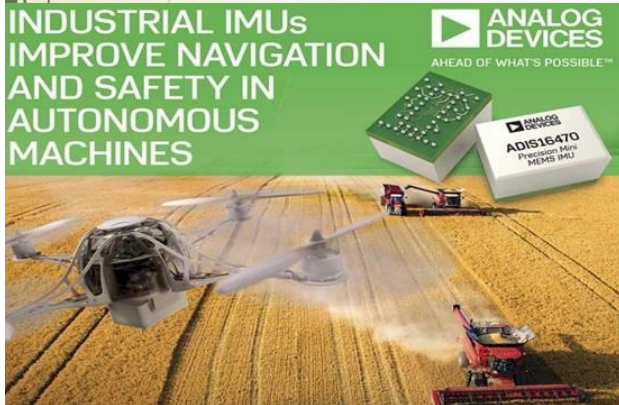
Потім формується навігаційне повідомлення, що включає інформацію про всі супутники системи, які знаходяться на орбітах, сигнал корекції, прогнозоване положення кожного з супутників. Сформоване повідомлення прямує від провідної станції до завантажувальних станцій, засобами яких відбувається передача інформації кожному із супутників видимого «сузір'я».

Враховуючи всі поправки, отримані від наземного сегмента, на кожному супутнику формується повідомлення, що містить координати положення супутника та час формування повідомлення, і відправляється у бік Землі одночасно з радіодалекомірним сигналом на заданих частотах. Устаткування споживача при включенні сканує радіоефір у певному діапазоні на наявність сигналів, що транслюються супутниками.

СУЧАСНІ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ DRONES

7

II. Інерційні системи визначення координат та швидкостей



Інерційна система позиціонування являє собою сукупність датчиків і механізмів, swarm drones, за допомогою яких обробляються отримані дані.

Основним призначенням системи є автоматичне визначення параметрів руху, що включають місцезнаходження по:

- широті;
- довготі;
- висоті.

СУЧАСНІ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ DRONES

8

II. Інерційні системи визначення координат та швидкостей

Інерційні системи позиціонування у загальному випадку поділяють на два типи:

- платформні, що мають у своєму складі гіростабілізовану платформу;
- безплатформні.

Платформні інерційні системи позиціонування включають такі типи систем:

- напіваналітичні – системи, в яких осі чутливості гіроскопів та акселерометрів орієнтовані по осях будь-якої системи координат;
- аналітичні – системи, у яких осі чутливості гіроскопів та акселерометрів орієнтовані по осях геоцентричної системи координат;
- геометричні – системи, в яких осі чутливості гіроскопів орієнтовані по осях геоцентричної системи координат, а осі чутливості акселерометрів – по осях будь-якої горизонтальної системи координат.

СУЧАСНІ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ DRONES

9

II. Інерційні системи визначення координат та швидкостей

Принцип дії інерційних систем визначення місцезнаходження

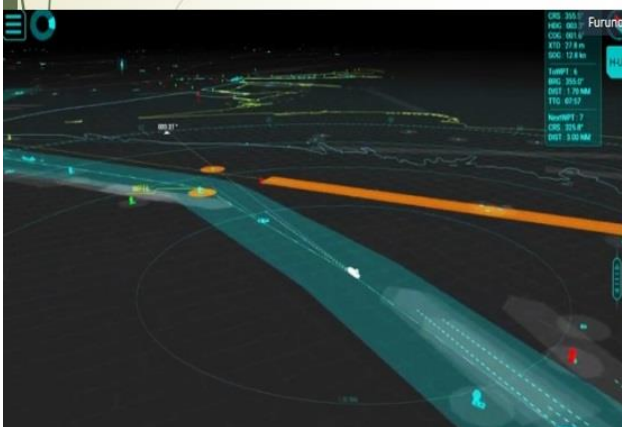
Принцип дії інерційних систем визначення місцезнаходження полягає в комплексній обробці обчислювальним пристроєм інформації, що отримується від акселерометрів і гіроскопів. Акселерометри за структурним складом можуть бути одно-, дво- та тривісними, осі яких розташовані по осях системи координат. Робота акселерометра полягає у перетворенні діючого прискорення на пропорційний йому електричний сигнал. Сформований електричний сигнал проходить процедуру інтегрування в першому інтеграторі, на виході якого виходить значення швидкості переміщення об'єкта по осі координат, перпендикулярно до якої розташована вісь акселерометра.

СУЧАСНІ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ DRONES

10

III. Оптичні системи визначення координат та швидкостей

Оптична навігаційна система являє собою сукупність технічних засобів і алгоритмів, що дозволяють визначати місце розташування та швидкість переміщення об'єкта за графічними зображеннями, що змінюються.



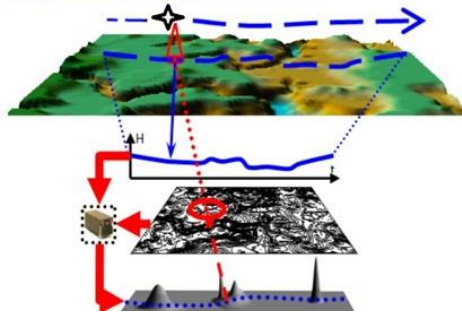
Системи оптичного місцезнаходження є автономними і не вимагають для здійснення діяльності зовнішніх сигналів, що робить пристрої стійкими до протидії. Похибки оптичної навігаційної системи залежать від точності цифрових карт, що застосовуються в алгоритмах обробки зображень, а також від характеристик та мінливості об'єктів, що використовуються як орієнтири. Недоліками оптичної навігаційної системи є необхідність підсвічування від Сонця, чутливість до наявності в повітрі аерозолів та інших частинок, залежність точності визначення параметрів руху від кількості оброблюємих показників погодних умов.

СУЧАСНІ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ DRONES

11

III. Кореляційно-екстремальні системи позиціонування

В основі роботи кореляційно-екстремальних навігаційних систем лежить порівняння зображень земної поверхні, що одержуються в момент польоту, або сукупності орієнтирів з еталонними даними, отриманими та завантаженими в пам'ять обчислювального блоку drone до початку польоту. Різниця положень об'єктів місцевості або орієнтирів, що отримується на зображеннях в результаті переміщення об'єкта, дозволяє визначити величину та швидкість переміщення drone відносно попереднього положення.



СУЧАСНІ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ DRONES

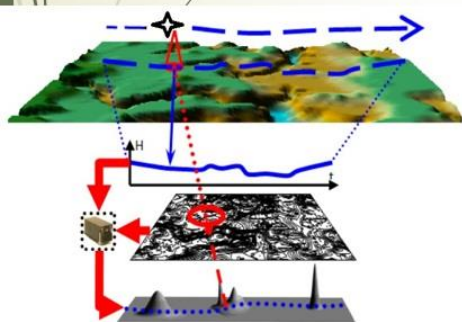
12

III. Кореляційно-екстремальні системи позиціонування

В даний час застосовуються кореляційно-екстремальні навігаційні системи, що класифікуються за типом процедури обробки інформації з:

- безпошуковими;
- пошуковими;
- комбінованими;
- байєсовськими алгоритмами.

В основі безпошукового алгоритму лежить фільтр Калмана, який застосовується для оцінки помилок визначення координат та спостереження різниці між виміряними та картографічними даними.



СУЧАСНІ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ DRONES

13

IV. Системи одночасної локалізації та картографування - SLAM



Призначені для вирішення задач визначення поточного розташування об'єкта, а також формування карти навколишнього середовища. Метод simultaneous location and mapping ґрунтується на виявленні технічними засобами спостереження нерухомих орієнтирів у полі видимості та уточненні за їх допомогою власних координат. Класифікація методів одночасної локалізації та картографування може здійснюватися за типом датчиків «технічного зору» (фото та відеокамери, далекоміри).

Принциповою відмінністю simultaneous location and mapping від методу кореляційно-екстремальних навігаційних систем є відсутність еталонних карт місцевості.

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДИНАМІЧНОЇ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ DRONE

14

В даний час системи позиціонування дроне являють собою складні програмно-апаратні комплекси. Процес моделювання має на увазі заміну досліджуваного об'єкта його описом, образом або іншим об'єктом, які найближче до оригіналу відтворюють характер поведінки в певних умовах. При цьому модель об'єкта, що досліджується, повинна відповідати вимогам адекватності, повноті, гнучкості та прийнятної трудомісткості. Адекватність моделі визначається досить точним описом властивостей та характеру об'єкта. Повнота представляє наявність необхідної інформації про об'єкт. Гнучкістю є можливість дослідження поведінки моделі за різних умов. Трудомісткість моделювання повинна бути прийнятною за витратами часу та обчислювальним ресурсом.

Найбільш популярним методом дослідження роботи систем позиціонування є математичне моделювання. За допомогою математичних виразів можна з заданою точністю описати процеси, що протікають всередині системи, змодельовати траєкторію і умови переміщення дроне.

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДИНАМІЧНОЇ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ DRONE

15

Поширеним методом оцінювання змінних параметрів є алгоритм, в основі якого лежить фільтр Калмана. Процес фільтрації включає етап прогнозування оцінюваних параметрів з урахуванням математичної моделі зміни стану системи. Для комплексного оцінювання всіх параметрів руху, що одержуються в момент часу t_i застосовують векторний фільтр Калмана. Алгоритми векторної калманівської фільтрації застосовують і для комплексної обробки параметрів, отриманих від датчиків різних систем визначення місця знаходження.

Модель зміни стану системи у векторно - матричній формі запишеться у вигляді:

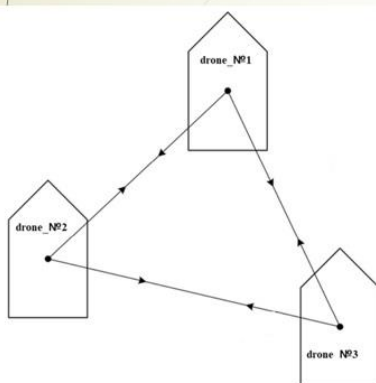
$$X_i = \varepsilon_i X_{i-1} + \tau_i$$

Вимірювання параметрів руху датчиками відбувається з деякою похибкою n_i , яка має дисперсію σ_{ni}^2 , тоді спостереження вектора параметрів можна подати у вигляді багатовимірних спостережень:

$$z_i = C_i X_i + n_i$$

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДИНАМІЧНОЇ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ DRONE

16



Для оцінки координат та швидкостей swarm drones, що взаємодіють у групі, можуть застосовуватися автономні датчики:

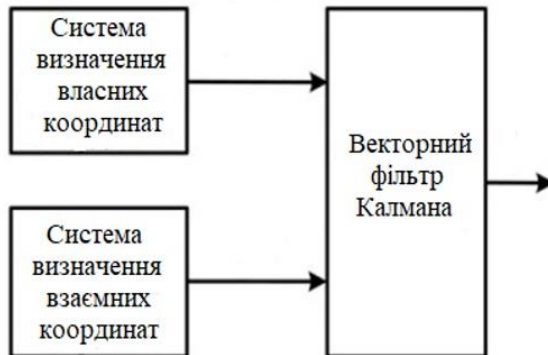
- інерційні;
- оптичні;
- супутникові.

Вектор стану параметрів руху swarm drones включає вектори стану координат та швидкостей кожного з drone у swarm. Вектор спостережень параметрів руху swarm drones включає вектори спостережень координат.

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДИНАМІЧНОЇ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ DRONE

17

На рисунку представлено структуру алгоритму оцінки параметрів руху drone за допомогою векторного фільтра Калмана.

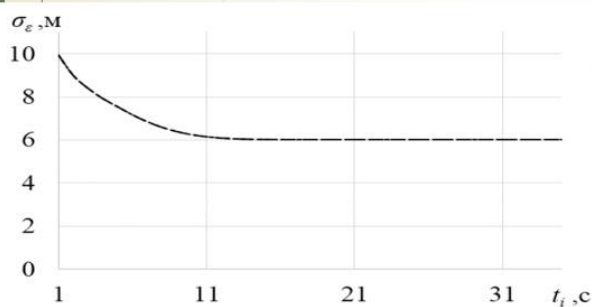


Отримавши дані від систем визначення координат, формується наглядом власних та взаємних координат. Потім здійснюється фільтрація параметрів із застосуванням вектора прогнозу, на виході фільтра Калмана отримуємо вектор оптимальних оцінок параметрів руху.

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДИНАМІЧНОЇ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ DRONE

18

Аналіз графіка показує, що зміни помилки оцінювання координат зменшуються із плином часу.



Імітаційне моделювання проводилося за допомогою пакета MATLAB, що зумовлено його функціональністю. На рисунку представлений графік зміни помилки оцінювання координат з перебігом дискретного часу для swarm drones.

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

19



Control, Navigation and Communication Systems. 2024. No. 1

ISSN 2073-7394

УДК 519.7004.3

doi: 10.26906/SUNZ.2024.1.118

О. Г. Лебедєв, О. В. Бондар, С. О. Самойленко, В. Г. Черевко

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ДО РОЗРАХУНКУ КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ ЖИВУЧОСТІ DRONES

Анотація. На сьогоднішній день живучість відображає стійкість до деструктивних впливів як окремих підсистем дроне, так і дроне загалом. Така живучість закладена в алгоритмічну частину підсистем дроне і дозволяє у разі виникнення нештатних ситуацій змінювати послідовність роботи підсистем дроне. При вирішенні задачі аналізу та синтезу елементів підсистем дроне, оперують кількісною оцінкою живучості. Це необхідно для визначення, з якою ймовірністю відмови окремих елементів будь-якої підсистеми дроне призведуть до пошкодження дроне. В даний час серед розробників дроне не існує єдиної думки для визначення кількісної оцінки живучості дроне. Дуже багато залежить від архітектури підсистем дроне, їх взаємодії між собою та взаємодії їх елементів між собою. Ця стаття присвячена дослідженню підходів до розрахунку кількісної оцінки живучості дроне на етапі проектування.

Ключові слова: «Swarm-bots» - system, «s-bots», живучість, безпека, надійність, невразливість, стійкість, ресинхронізація, комунікація, папо-дроне.

Вступ

Постановка проблеми. Останнім часом з'явився термін дроне, що означає відсутність пілота на його борту (рис. 1). Це вимагає від дроне певної автономності.



Рис. 1. Приклад дроне

дроне, автоматичне керування дроне, яке має бути активоване або деактивоване оператором дроне. Четвертий рівень автономії – це повністю автономний дроне. Такий дроне приймає команди, що вводяться оператором, і переводить їх у конкретні завдання без подальшої взаємодії з оператором. Але у разі виникнення нештатної ситуації оператор може втрутитися в процес виконання дроне поставленого завдання.

При визначенні до якого класу належить дроне, одним з базових показників є розмір та вага дроне. Сучасні технології дозволили дроне знаходитися в дуже широкому діапазоні розмірів і являти собою або невелику комаху з вагою в кілька грам – сучасний папо-дроне (рис. 2), або бути

ВИСНОВКИ

20

ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ була досліджена математична модель динамічної зміни параметрів дроне для її застосування в системах навігації та управління рухом дроне.

В КВАЛІФІКАЦІЙНІЙ РОБОТІ ВИРІШЕНІ ТАКІ ЗАДАЧІ:

- ❖ проведено огляд сучасних систем визначення місцезнаходження дроне;
- ❖ проведено дослідження математичної моделі динамічної зміни параметрів дроне.