

Огляд МОЖЛИВОСТЕЙ ПЛАТФОРМИ ARDUPILOT ДЛЯ РОЗРОБКИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ АВТОНОМНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ, СТІЙКИМИ ДО РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ

Олександр Таран

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3744-9155>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Вступ

Сучасні автономні літальні апарати (АЛА) активно застосовуються в різних галузях, включаючи військову, комерційну та дослідницьку. Однією з основних проблем, з якою стикаються розробники таких систем, є загроза радіоелектронної боротьби (РЕБ). РЕБ включає в себе різні методи перешкоджання та придушення електронних систем керування, що може призвести до втрати контролю над АЛА або їх пошкодження.

Платформа Ardupilot представляє собою потужний та гнучкий інструмент для розробки систем керування автономними літальними апаратами. Вона забезпечує широкий спектр можливостей для налаштування, симуляції та тестування, що дозволяє створювати надійні та стійкі до РЕБ системи. Завдяки підтримці різних типів апаратного забезпечення та інтеграції з численними симуляторами, Ardupilot надає розробникам ефективні засоби для перевірки і вдосконалення своїх розробок.

Огляд ПЛАТФОРМИ ARDUPILOT

Платформа Ardupilot є однією з найпопулярніших та найпотужніших відкритих платформ для розробки систем керування автономними літальними апаратами (АЛА). Вона забезпечує широкий спектр можливостей для розробників та інженерів, включаючи підтримку різних типів апаратного забезпечення, гнучкість налаштувань, та інструменти для симуляції і тестування.

Основні можливості та переваги Ardupilot

- Підтримка різних типів АЛА:

Ardupilot підтримує широкий спектр автономних апаратів, включаючи мультикоптери, літаки, вертольоти, автомобілі, човни та навіть підводні апарати. Це робить платформу універсальною та гнучкою для різних застосувань.

- Інтеграція з різними сенсорами та обладнанням:

Платформа підтримує інтеграцію з численними сенсорами, такими як GPS, IMU, компаси, барометри та інші, що дозволяє точно визначати положення та орієнтацію апарату в просторі.

- Розширені можливості керування польотом:

Ardupilot пропонує розширені можливості керування, включаючи автономні місії, автоматичний зліт та посадку, утримання позиції, слідування за об'єктами, та багато інших режимів польоту.

- Гнучкість налаштувань:

Користувачі можуть налаштовувати параметри системи для оптимальної роботи в різних умовах. Це включає налаштування PID-регуляторів, параметрів живлення, та різних поведінкових параметрів.

- Симуляції та тестування:

Платформа надає можливості для проведення симуляцій як у віртуальному середовищі (Software In The Loop, SITL), так і з використанням реального обладнання (Hardware In The Loop, HITL). Це дозволяє тестувати та налагоджувати системи керування без ризику пошкодження реальних апаратів.

- Підтримка відкритого коду:

Ardupilot є проектом з відкритим вихідним кодом, що дозволяє спільноті розробників з усього світу брати участь у його розвитку. Це забезпечує постійне вдосконалення платформи та швидке впровадження нових функцій.

- Гнучкість налаштувань та адаптивність

Ardupilot дозволяє користувачам адаптувати систему до специфічних вимог та умов експлуатації. Наприклад, можна налаштовувати параметри польоту для різних режимів, таких як стабілізація, альтхолд, лоітер та інші. Крім того, Ardupilot підтримує створення користувацьких скриптів для виконання специфічних задач, що робить платформу надзвичайно гнучкою та потужною.

СИМУЛЯЦІЇ В ARDUPILOT

Симуляції є важливою складовою розробки систем керування автономними літальними апаратами (АЛА) на платформі Ardupilot. Вони дозволяють тестувати нові алгоритми, перевіряти налаштування та проводити відлагодження без ризику пошкодження реальних апаратів. Ardupilot надає різноманітні інструменти для симуляцій, що робить її надзвичайно корисною для розробників.

Одним із головних методів симуляції є Software In The Loop (SITL). SITL — це симуляційне середовище, яке дозволяє запускати код автопілота на комп'ютері без використання реального апарату. Це моделює фізику руху апарату та інтегрує віртуальні сенсори, що

дозволяє проводити комплексні тести віртуально. Використання SITL забезпечує безпечне тестування експериментального коду та налаштувань без ризику пошкодження реальних апаратів. Це особливо корисно для тестування автономних місій, налаштування режимів польоту, встановлення геозон та перевірки реакцій на різні сценарії відмов.

Ще одним важливим методом є Hardware In The Loop (HITL). HITL — це метод, при якому реальний автопілот підключається до симуляційного середовища, що дозволяє забезпечити більш реалістичне тестування. Це досягається завдяки тому, що автопілот взаємодіє з реальними датчиками або їх симуляторами, що забезпечує точнішу перевірку роботи системи та виявлення можливих проблем. HITL забезпечує тестування в умовах, максимально наближених до реальних, дозволяючи оцінити коректність місій, роботу фізичних захистів (наприклад, парашути) та комунікаційної інфраструктури.

Однією з можливостей для реалізації HITL-симуляції є використання симулятора X-Plane. Цей популярний симулятор польоту може бути інтегрований з Ardupilot для створення потужної HITL-симуляції. X-Plane імітує дані датчиків і GPS, що дозволяє тестувати поведінку літака в реальних умовах. Налаштування X-Plane включає встановлення параметрів комунікаційних портів та швидкості передачі даних для точного зв'язку між X-Plane і Mission Planner. Це дозволяє проводити перші тестові польоти для перевірки стабільності та надійності керування.

Крім того, Ardupilot дозволяє налаштовувати різні параметри симуляції через SITL, включаючи швидкість вітру, несправності сенсорів та збої RC. Це дозволяє тестувати реакції АЛА на різні умови навколишнього середовища та збої в системах. Ключові параметри, такі як SIM_WIND_DIR (напрямок вітру), SIM_RC_FAIL (імітація відмови радіокерування) та SIM_GPS_DISABLE (відключення GPS), дозволяють виявляти слабкі місця та покращувати стійкість системи до можливих відмов.

Загалом, використання симуляцій на платформі Ardupilot значно підвищує ефективність розробки та тестування систем керування автономними літальними апаратами. Це дозволяє розробникам швидко виявляти та виправляти помилки, оптимізувати налаштування та забезпечувати надійність і безпеку автономних польотів у реальних умовах.

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ДО РЕБ

Радіоелектронна боротьба (РЕБ) становить значну загрозу для

автономних літальних апаратів (АЛА), оскільки вона може порушувати їхні комунікаційні та навігаційні системи, що призводить до втрати контролю або функціональності. Для забезпечення стійкості АЛА до таких впливів розроблено кілька методів та алгоритмів, які дозволяють підтримувати ефективну роботу навіть у складних умовах.

- Резервні алгоритми керування

Одним із ключових підходів до підвищення стійкості АЛА до РЕБ є впровадження резервних алгоритмів керування. Ці алгоритми активуються у разі виявлення збоїв основних систем. Наприклад, якщо основний канал зв'язку з наземною станцією втрачено, резервний алгоритм може автоматично активувати режим "повернення додому" (Return-to-Home, RTH), який спрямовує апарат до точки зльоту або безпечного місця приземлення. Це дозволяє зберігати контроль над АЛА навіть при втраті сигналу або інших критичних відмовах.

- Використання резервних каналів зв'язку

Резервування каналів зв'язку є ще одним важливим методом підвищення стійкості до РЕБ. Для цього встановлюються кілька каналів зв'язку для забезпечення безперервної комунікації між АЛА та оператором. Це може включати як різні частотні діапазони, так і різні типи зв'язку, наприклад, радіозв'язок і супутниковий зв'язок. Вибір каналу з найкращою якістю сигналу в режимі реального часу дозволяє мінімізувати вплив перешкод і зберігати стійкість комунікацій.

- Шифрування та захист даних

Для захисту переданих даних від перехоплення та спотворення використовуються методи шифрування. Це забезпечує конфіденційність та цілісність комунікацій між АЛА та наземною станцією. Впровадження криптографічних протоколів для аутентифікації та авторизації переданих даних значно підвищує стійкість системи до можливих атак з боку противника.

- Методи адаптивного управління

Методи адаптивного управління дозволяють системі змінювати свою поведінку залежно від умов навколишнього середовища та технічного стану апарату. Використання алгоритмів машинного навчання для прогнозування можливих збоїв та автоматичної корекції курсу або режиму польоту забезпечує високу надійність роботи АЛА. Наприклад, в умовах зниження якості сигналу GPS адаптивні алгоритми можуть використовувати інші доступні дані для продовження стабільного польоту.

- Інтелектуальні системи діагностики

Системи моніторингу та діагностики відіграють важливу роль у забезпеченні стійкості АЛА до РЕБ. Постійне відстеження стану всіх

систем апарату дозволяє виявляти аномалії та попереджувати можливі відмови до їх виникнення. Використання сенсорів та систем збору даних для аналізу стану апарату в режимі реального часу забезпечує своєчасне виявлення проблем і прийняття відповідних заходів для їх усунення.

ВИСНОВКИ

Розробка та впровадження систем керування автономними літальними апаратами (АЛА), стійкими до радіоелектронної боротьби (РЕБ), є критично важливим завданням для забезпечення їхньої надійності та ефективності в сучасних умовах. Платформа Ardupilot надає широкий спектр можливостей для реалізації та тестування таких систем, забезпечуючи гнучкість, точність та надійність.

Платформа Ardupilot відзначається своєю гнучкістю та універсальністю. Вона підтримує різні типи автономних літальних апаратів, включаючи мультикоптери, літаки, вертольоти, автомобілі, човни та підводні апарати. Це дозволяє використовувати її в різних сферах застосування, забезпечуючи високу гнучкість та універсальність. Наприклад, можливості Ardupilot включають розширені алгоритми автономного керування, підтримку різноманітних сенсорів і обладнання, а також інтеграцію з багатьма системами, що робить платформу надзвичайно потужною та адаптивною.

Симуляції є основним інструментом тестування нових алгоритмів та налаштувань. Використання Software In The Loop (SITL) та Hardware In The Loop (HITL) дозволяє безпечно тестувати системи у віртуальному середовищі або з використанням реальних апаратних компонентів. Це дає змогу розробникам виявляти та виправляти помилки на ранніх стадіях розробки, мінімізуючи ризики та підвищуючи ефективність тестування.

Резервні алгоритми керування та використання кількох каналів зв'язку забезпечують безперервну роботу системи навіть у випадку збоїв основних систем. Впровадження резервних алгоритмів, таких як "повернення додому" або аварійне приземлення, забезпечує збереження контролю над АЛА у разі втрати сигналу. Додатково, використання кількох каналів зв'язку дозволяє мінімізувати вплив перешкод та забезпечити стабільність комунікацій.

Інтелектуальні системи діагностики та адаптивні алгоритми керування підвищують надійність та ефективність роботи АЛА. Постійне відстеження стану апарату за допомогою сенсорів та систем збору даних дозволяє своєчасно виявляти аномалії та попереджати можливі відмови. Адаптивні алгоритми керування дозволяють системі

автоматично коригувати параметри польоту в режимі реального часу, забезпечуючи стабільну роботу навіть в умовах змін зовнішніх факторів.

Перспективи використання платформи Ardupilot є дуже великими. Вона може бути застосована у військових, комерційних та дослідницьких проектах, де надійність та стійкість до РЕБ є критично важливими. З постійним розвитком технологій та зростанням вимог до автономних систем, Ardupilot продовжує залишатися одним з найефективніших інструментів для розробки та тестування сучасних автономних літальних апаратів.

ПОСИЛАННЯ

1. ArduPilot Dev Team. (2024, January 8). *ArduPilot Simulation Documentation*. <https://ardupilot.org/dev/docs/simulation-2.html>
2. ArduPilot Dev Team. (2022, February 12). *Plane SITL/MAV Proxy Tutorial*. <https://ardupilot.org/dev/docs/plane-sitlmavproxy-tutorial.html>
3. ArduPilot Dev Team. (2024, April 4). *Simulation on Hardware*. <https://ardupilot.org/dev/docs/sim-on-hardware.html>
4. ArduPilot Dev Team. (2023, January 16). *Using Simulation Parameters to Control the Simulation*. https://ardupilot.org/dev/docs/SITL_simulation_parameters.html
5. ArduPilot Dev Team. (2020, June 16). *X-Plane Hardware in the Loop Simulation*. <https://ardupilot.org/dev/docs/x-plane-hardware-in-the-loop-simulation.html>
6. ArduPilot Dev Team. (2023, February 22). *Simple Overview of ArduPilot Operation*. <https://ardupilot.org/copter/docs/common-basic-operation.html>
7. ArduPilot Dev Team. (2020, August 13). *Code Overview (Copter)*. <https://ardupilot.org/dev/docs/apmcopter-code-overview.html>