

*Б.В. Блажей, аспірант
В.Ю. Ларін, д.т.н., професор
(Національний авіаційний університет, Україна)*

Використання зовнішньої інерційної навігаційної системи для забезпечення польоту БПЛА в умовах завад сигналу GNSS

Глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS) тривалий час були основним рішенням для позиціонування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) завдяки їх глобальному покриттю, точності та легким приймачам. Однак сигнали GNSS схильні до перешкод, глушіння та спуфінгу, що може порушити роботу БПЛА. Для підвищення надійності та безпеки дослідники вивчали альтернативні навігаційні системи, зокрема інерціальні навігаційні системи (INS), у ситуаціях, де GNSS недоступні. У цій статті обговорюється використання зовнішніх INS для забезпечення польоту БПЛА, коли сигнали GNSS відсутні.

Вступ

При роботі БПЛА у середовищах з не стабільними сигналами GNSS — таких як гірська місцевість, густі ліси, райони з перевантаженим радіочастотним простором — точність їх позиціонування може значно погіршитися. У таких випадках, покладання виключно на GNSS може призвести до небезпечних наслідків. Зовнішня INS, яка інтегрує дані з акселерометрів, гіроскопів та інших датчиків, здатна надавати безперервні оцінки положення навіть за умов ненадійного сигналу GNSS. Зовнішня INS у поєднанні з резервними сенсорами є надійним рішенням для БПЛА в умовах відсутності сигналу GNSS. Із розвитком технологій інтеграція кількох джерел навігації ставатиме дедалі важливішою для безпечної та точної експлуатації БПЛА.

Основна частина

Проблеми в умовах відсутності сигналу GNSS

- Електромагнітні перешкоди: Сигнали GNSS вразливі до електромагнітних перешкод від будівель, станцій зв'язку та інших об'єктів і пристроїв.
- Спеціальні атаки: Глушіння або спуфінг сигналів GNSS можуть навмисно порушувати роботу БПЛА.
- Низьке співвідношення сигнал/шум (SNR): Сигнали GNSS можуть слабшати через низьке SNR, що впливає на точність позиціонування.

Фазована антенна радіонавігаційна система (PARS)

PARS [2] стала надійним локальним навігаційним рішенням. На відміну від GNSS, PARS пропонує направлену та зашифровану передачу сигналу, що робить її менш вразливою до зловмисних атак. Однак для точного позиціонування БПЛА необхідне точне калібрування наземних антен.

Інтеграція сенсорів та об'єднання даних

Для досягнення надійності навігаційні системи БПЛА часто інтегрують кілька сенсорів [1]. Інтеграція INS з барометрами. Барометричні датчики тиску (барометри) надають інформацію про висоту на основі змін атмосферного тиску. Коли сигнали GNSS слабкі або недоступні, барометри є надійним резервом для оцінки висоти. Поєднання INS і барометра забезпечує точну висоту навіть під час раптових змін тиску (наприклад, при швидкому підйомі або спуску). Інтеграція магнітометрів. Магнітометри вимірюють магнітне поле Землі та допомагають у визначенні напрямку.

Хоча гіроскопи є основними для визначення положення, магнітометри слугують вторинним джерелом. У разі дрейфу або збою гіроскопа, магнітометри допомагають підтримувати орієнтацію.

Бортові комп'ютери повітряних даних (ADC)

ADC збирають дані про швидкість повітря, висоту та інші параметри. Резервовані ADC перевіряють дані про швидкість і висоту цим самим підвищуючи достовірність даних. Наприклад, якщо один ADC вийде з ладу, система може покладатися на інший.

Радарні альтиметри

Радарні альтиметри безпосередньо вимірюють відстань до землі під БПЛА. Вони особливо ефективні при роботі на низьких висотах, наприклад, під час посадкових заходів. Коли сигнал GNSS ненадійний, радарні альтиметри забезпечують точну висоту над рівнем землі.

Лідар для уникнення перешкод

Лідарні сенсори використовують лазерні імпульси для створення детальних 3D-карт оточення. Інтеграція даних лідара з іншими сенсорами підвищує обізнаність про ситуацію. Під час польотів на близькій відстані або в середовищі з перешкодами, лідар допомагає уникати зіткнень.

Оптичні сенсори (камери)

Камери виступають як візуальні сенсори для оцінки положення. Алгоритми візуальної одометрії відслідковують особливості на зображеннях камер, оцінюючи рух. Коли GNSS виходить з ладу, камери допомагають у позиціонуванні.

Запропонована навігаційна система

Розглядається модель встановлення зовнішнього блоку ІНС у систему керування БПЛА на базі автопілоту з програмним забезпеченням Ardupilot [4].

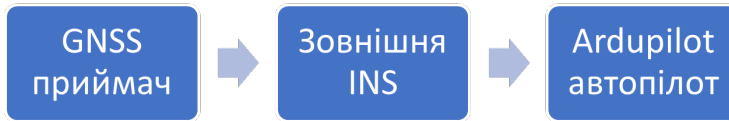


Рис. 1. Схематична візуалізація послідовності отримання та обробки даних.

Наступний метод поєднує INS з резервними сенсорами позиціонування (GNSS, PARS) для оцінки орієнтації наземної антени:

- Режим калібрування (Режим 1):

Коли GNSS доступний, система калібрує орієнтацію наземної антени за допомогою розширеного фільтра Калмана [3] (EKF). Алгоритм калібрування точно оцінює орієнтацію антени. Режим підтримки GNSS доповнює INS під час калібрування.

- Режим відсутності GNSS (Режим 2):

Коли сигнали GNSS відсутні, система покладається на PARS та барометр. Враховуються ефекти кривизни Землі для польотів на великі відстані. Навігаційні рівняння вирішуються в системі координат ECEF (Earth-Centered Earth-Fixed).

Майбутній розвиток технологій

З розвитком технологій ми, ймовірно, побачимо ще більш досконалі поєднання сенсорів. Злиття оптичних сенсорів потоку для точної оцінки швидкості. Використання технік машинного навчання для адаптивного вибору найкращих джерел сенсорів.

Зовнішня INS у поєднанні з резервними сенсорами є надійним рішенням для БПЛА в умовах відсутності сигналу GNSS. Із розвитком технологій інтеграція кількох джерел навігації ставатиме дедалі важливішою для безпечної та точної експлуатації дронів.

Список літератури

1. Blazhei, B., Larin, V., Kuzmenko, N. Software detection and denying false GNSS data on open-source UAV autopilot. *CEUR Workshop Proceedings*. 2024. Vol. 3732. pp. 186-196.
2. Mika Okuhara, Torleiv H. Bryne, Kristoffer Gryte, Tor Arne Johansen Phased Array Radio Navigation System on UAVs: Real-Time Implementation of In-

flight Calibration*. IFAC-PapersOnLine. 2023. Vol. 56. Issue 2. pp. 1152-1159.
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.1720>

3. Extended Kalman Filter (EKF) - Copter documentation. (n.d.).
<https://ardupilot.org/copter/docs/common-apm-navigation-extended-kalman-filter-overview.html>

4. ArduPilot. (n.d.). GitHub - ArduPilot/ardupilot: ArduPlane, ArduCopter, ArduRover, ArduSub source. GitHub. <https://github.com/ArduPilot/ardupilot/>