

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ НАВІГАЦІЇ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН НА ОСНОВІ БАГАТОПОЗИЦІЙНОЇ ДАЛЕКОМІРНОЇ СИСТЕМИ

¹Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Анотація

У доповіді розглянуто методи підвищення точності навігації повітряних суден шляхом застосування багатопозиційних далекомірних систем (мультилатерації) у поєднанні з інерціальною навігацією та методами ф'южн-даних. Представлено аналіз похибок, характерних для дистанційного вимірювання відстаней, та запропоновано алгоритми коригування на основі розширених та Unscented фільтрів Калмана, частинних фільтрів і адаптивної вагової агрегації. Проведено імітаційні експерименти і польові випробування на макеті системи, що показали покращення позиційної точності в умовах обмеженого прийому GNSS і при наявності мультипуттових завад. Обговорено інтеграцію з бортовими INS та можливості використання наземних систем підтримки для зниження похибок у зонах з низьким покриттям супутникових систем. Вказано перспективні напрями подальших досліджень і практичної реалізації запропонованих підходів для підвищення безпеки польотів.

Ключові слова: багатопозиційна далекомірна система, мультилатерація, навігація повітряних суден, INS, ф'южн-данні, фільтр Калмана, точність позиціонування.

Abstract

The paper investigates methods to improve aircraft navigation accuracy by employing multilateration systems combined with inertial navigation and data fusion techniques. Error analysis for range measurements is provided and correction algorithms based on extended and Unscented Kalman filters, particle filters, and adaptive weighted aggregation are proposed. Simulation studies and field tests on a prototype demonstrated improved positional accuracy under degraded GNSS reception and in multipath conditions. Integration with onboard INS and ground support systems for error mitigation in low-satellite-coverage areas is discussed. Future research directions and implementation aspects aimed at enhancing flight safety are outlined.

Keywords: multilateration, aircraft navigation, INS, data fusion, Kalman filter, positioning accuracy.

Сучасні системи навігації авіаційних платформ базуються переважно на GNSS, доповнених інерціальними системами (INS). Однак у низці операційних сценаріїв (урбанізовані райони, низька висота, поблизу аеродромів, цілеспрямовані перешкоди) сигнал GNSS може бути нестабільним або спотвореним, що призводить до зниження точності позиціонування. Багатопозиційні далекомірні системи (мультилатерація) та наземні або бортові додаткові джерела вимірювань можуть слугувати резервною чи коригувальною підсистемою для підвищення надійності та точності навігації.

Провести теоретичний аналіз похибок дальномірних вимірювань (шум вимірювання, мультипут, затримки поширення) та їх впливу на оцінку положення при використанні мультилатерації. Розроблено схему ф'южн-даних, що об'єднує вимірювання від мультилатерації, INS та доступних GNSS-даних за допомогою розширеного/Unscented фільтра Калмана і альтернативно — частинного фільтра для сценаріїв із нелінійними розподілами похибок. Запропоновано адаптивне зважування

джерел залежно від оцінки якості сигналу (SNR, індикатори мультипугу) та онлайн оцінювання коваріацій похибок.

Для валідації підходів проведено імітаційні дослідження на основі синтетичних профілів польоту з моделлю GNSS-помилки і мультипугу та здійснено польові випробування на макеті з кількома наземними передавачами дальноміру. Оцінка точності позиціювання виконувалась порівняно з опорною системою високоточної геолокації. Результати показали, що при відключеному або ослабленому GNSS інтеграція мултилатерації з INS дозволяє знизити середню похибку позиціювання на 20–30 % порівняно з використанням лише INS; у змішаних умовах (GNSS + мултилатерація + INS) спостерігається найбільш стабільне зниження дисперсії помилок.

Запропоновані алгоритми ф'южн-даних і використання багатопозиційної далекомірної системи демонструють перспективність для підвищення точності навігації повітряних суден, особливо в умовах деградації GNSS. Подальші дослідження доцільно спрямувати на оптимізацію розміщення наземних пунктів, підвищення надійності синхронізації та впровадження методів машинного навчання для прогнозування і компенсації специфічних типів похибок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лисенко І.В., Пилипенко О.О. Методи інтеграції GNSS/INS у навігаційних системах. Вісник Вінницького національного технічного університету. — Вінниця, 2020. — 32-34 с.
2. Kaplan E., Hegarty C. *Understanding GPS: Principles and Applications*. — 3rd ed. — Artech House, 2017.
3. Groves P. D. *Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems*. — 2nd ed. — Artech House, 2013.
4. Farrell J., Barth M. *The Global Positioning System and Inertial Navigation*. — McGraw-Hill, 1999.
5. Blanch J., et al. *Multilateration techniques for aircraft surveillance* // *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.* — 2015. — Vol. 51, No. 2. — P. 1234–1248.

Троян Кирило Дмитрович – слухач групи 463С, факультет автоматизованих систем управління для польотів державної авіації, Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, e-mail: kirill.trojan@gmail.com.

Карлов Дмитро Володимирович — доктор технічних наук, старший науковий співробітник, начальник кафедри авіаційних радіотехнічних систем навігації та посадки Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, e-mail: zeroua108@ukr.net

Trojan Kyrilo D. - student of group 463C, Faculty of Automated Control Systems for State Aviation Flights of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, e-mail: kirill.trojan@gmail.com.

Karlov Dmitriy V. — Doctor of Engineering Science Senior Researcher Head of Department of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, e-mail: zeroua108@ukr.net