

АНАЛІЗ ТОЧІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГІЇ MLAT

¹ Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;

² Карпатський національний університет імені Василя Стефаника

Анотація

Проведено аналіз точісних характеристик технології MLAT. Показано, що точність MLAT є достатньо високою - 3-16 м, в залежності від зони роботи. Точісні характеристики MLAT залежні від геометрії системи, якості вимірювань різниці часу прибуття сигналу та ефективності алгоритмів обробки.

Ключові слова: MLAT, аналіз, точність, характеристика, надійність, ефективність, геометрія.

Abstract

The use of MLAT technology for the modernization of radio support of flights is proposed. The prospects for the use of broadband signals in MLAT technology are also analyzed, which will allow increasing the reliability, noise immunity and stealth of the radio-technical support system of flights.

Keywords: MLAT, analysis, accuracy, characteristics, reliability, efficiency, geometry.

Вступ

MLAT (англ. Multiateration) – це система радіолокаційної навігації, яка визначає місцеположення повітряних суден, вимірюючи відстані від них до кількох наземних точок з відомими координатами [1-3]. Точність визначення місцеположення в системі MLAT є критичною вимогою, що визначає її ефективність як засобу спостереження [4-7]. MLAT базується на вимірюванні різниці часу прибуття (Time Difference of Arrival, TDOA) сигналу, випромінюваного об'єктом (транспондером), до кількох просторово рознесених приймальних станцій [8-11]. Метою роботи є аналіз точісних характеристик технології MLAT.

Результати дослідження

Систему MLAT відносять до систем незалежного кооперативного спостереження. Незалежність системи означає те, що система не залежить від даних навігаційних систем повітряного судна, а кооперативність означає можливість отримання інформації як наземними станціями підрозділів управління повітряного руху, так і повітряними судами. MLAT використовує сукупність ідентичних приймачів, які розташовані визначеним чином. В основу роботи системи MLAT покладений різницево-далекомірний метод визначення координат.

На практичну точність системи MLAT впливають наступні чинники:

- точність вимірювання TDOA. Якість вимірювання TDOA залежить від: 1) часової синхронізації приймачів: використання високоточних джерел часу (наприклад, GPS-синхронізованих годинників) є критичним. Помилка синхронізації годинників безпосередньо вноситься в похибку TDOA; 2) ширини смуги та співвідношення сигнал/шум (SNR): Вищий SNR та ширша смуга сигналу забезпечують більш точне визначення часу прибуття імпульсу; 3) алгоритмів виявлення імпульсу: використання методів, таких як кореляційний прийом, для точного визначення фронту імпульсу тощо.

- ефекти поширення сигналу та багатопроменевість. Особливо в умовах аеродрому багатопроменевість може значно спотворити фактичний час прибуття, що призводить до зростання помилки позиціонування. Зміни в атмосферних умовах, такі як температура, тиск та вологість, впливають на швидкість поширення радіохвиль, викликаючи тропосферну затримку. Хоча ці ефекти можуть бути компенсовані моделями, їхня неповна корекція є джерелом систематичної помилки.

Практичні значення точності системи MLAT, згідно з документацією, демонструють високі показники:

- аеродром (злітно-посадкова смуга) – типова горизонтальна похибка 3 - 6 м – забезпечення безпечного руху на землі;

- термінальна зона – типова горизонтальна похибка 10 - 13 м (на відстані 16 км) – спостереження в термінальному районі;
- широка зона (WAM) – типова горизонтальна похибка дещо нижче 13 м (залежить від геометрії) – контроль на маршрутах.

Для підвищення точності технології MLAT можна застосувати:

- фільтрацію та згладжування: застосування розширених фільтрів, таких як фільтр Калмана та інших, для згладжування оцінок та врахування динаміки руху цілі;
- інтеграцію даних з різних джерел: інтеграція даних MLAT з іншими джерелами (наприклад, ADS-B, первинними/вторинними радарми) для підвищення надійності та точності, особливо в умовах аномалій або навмисних завад;
- методи регуляризації геометрії приймачів: використання методів для вирішення задачі локалізації, що виникає при несприятливій геометрії приймачів.

Висновки

Таким чином, технологія MLAT забезпечує високу точність локалізації, критично залежну від геометрії системи, якості вимірювань TDOA та ефективності алгоритмів обробки. Постійні дослідження спрямовані на мінімізацію впливу багатопроменевості та покращення адаптивних методів фільтрації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ICAO: Airport Ground Vehicle Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B) Out Squitter Equipment. 11/14/2011.
2. Державна авіаційна служба України. Авіаційні правила України. Нормативні документи щодо аеронавігаційного забезпечення польотів. Київ: ДАСУ, 2023.
3. Свид І. В., Обод І. І. Завадостійкість радіолокаційних систем ідентифікації за ознакою «свій-чужий»: монографія. / І. В. Свид, І. І. Обод. Харків : Друкарня Мадрид, 2021. 254 с.
4. Свид І. В. Обробка радіолокаційної інформації систем спостереження повітряного простору: монографія. / І. В. Свид. Дніпро : ЛПРА ЛТД, 2022. 224 с.
5. Обод І.І., Стрельницький О.О., Андрусевич В.А. Інформаційна мережа систем спостереження повітряного простору. Харків : ХНУРЕ, 2015. 270 с.
6. A Model for Optimizing Packet Length in Airspace Surveillance Systems / I. Svyd et al. Lecture Notes in Networks and Systems. Cham, 2025. P. 501–518. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-89296-7_25.
7. Using the Interstage Data Processing Method to Improve the Efficiency of Airspace Surveillance Systems / I. Svyd et al. Lecture Notes in Networks and Systems. Cham, 2025. P. 519–535. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-89296-7_26.
8. Оцінка якості радіолокаційної інформації систем залежного кооперативного спостереження / І. В. Свид, та інші // Радіотехніка : Всеукр. міжвід. наук.-техн. зб. – Харків, 2024. – Вип. 216. – С. 131–136. - DOI: 10.30837/rt.2024.1.216.14.
9. Svyd I. V., Starokozhev S. V. Distributed processing of radar information in airspace surveillance systems. Radiotekhnika. 2023. No. 212. P. 155–165. URL: <https://doi.org/10.30837/rt.2023.1.212.15>.
10. Andruskevych V., Obod I. Assessment of the quality of information support by air radar surveillance systems. Advanced Information Systems. 2021. Vol. 5, no. 2. P. 78–82. URL: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.2.10>.
11. M. Barbary, A. S. Hafez and T. Crew. An Industrial Design and Implementation Approach of Secondary Surveillance Radar System // 2021 International Telecommunications Conference (ITC-Egypt), 2021, pp. 1 – 9. doi: 10.1109/ITC-Egypt52936.2021.9513961

Жихарєв Олександр Сергійович — слухач групи 463С, факультет автоматизованих систем управління та наземного забезпечення польотів авіації, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, e-mail: sasha.zhikhariev2020@ukr.net.

Свид Ірина Вікторівна — к.т.н., доцент, доцент кафедри авіаційних радіотехнічних систем навігації та посадки, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків; професор кафедри комп'ютерної інженерії та електроніки, Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ.

Zhikhariev Oleksandr — student of group 463C, Faculty of Automated Control Systems and Ground Support of Aviation, Kharkiv National Air Force University named after Ivan Kozhedub, Kharkiv, email: sasha.zhikhariev2020@ukr.net.

Svyd Iryna — PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Aviation Radio Navigation and Landing Systems, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv; Professor of the Department of Computer Engineering and Electronics, Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ivano-frankivsk.