

М.О. Адардасов¹

О. В. Онищук¹

М. В. Туленко¹

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ, ЩО ЗАЗНАЮТЬ ДОПЛЕРІВСЬКОГО ЗСУВУ ЧАСТОТИ, ДЛЯ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ В РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ ДЕРЖАНОЇ АВІАЦІЇ

¹ Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба

Анотація

У доповіді розглядаються методи обробки сигналів, що зазнають доплерівського зсуву частоти, з метою підвищення точності оцінки параметрів руху повітряних об'єктів у системах радіотехнічного забезпечення посадки державної авіації. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю забезпечення високої точності та надійності функціонування диспетчерських радіолокаційних систем в умовах інтенсивного повітряного руху та бойових дій. Розглянуто застосування методів автоматичного вимірювання частоти зсуву, фазової автопідстройки частоти, адаптивної та узгодженої фільтрації. Наведено результати моделювання та аналізу ефективності зазначених методів.

Ключові слова: ефект Доплера, радіолокаційні системи посадки (РСП), диспетчерські радіолокатори (РЛС)

Abstract

The report examines signal processing methods for compensating Doppler frequency shift to improve the accuracy of motion parameter estimation of airborne objects in state aviation landing radar systems. The relevance of the study is driven by the need to ensure high precision and reliability of air traffic control radar systems under conditions of intensive air traffic and combat operations. The paper discusses the use of automatic Doppler shift measurement, phase-locked loop systems, adaptive and matched filtering algorithms. Modeling results and performance analysis of these methods are presented.

Keywords: Doppler effect, radar landing systems (RLS), control radars (CRT).

У сучасних умовах підвищених вимог до точності, надійності та оперативності радіотехнічного забезпечення польотів державної авіації, особливо в умовах бойових дій або складної метеообстановки, критично важливим є вдосконалення методів обробки радіолокаційних сигналів. Доплерівський зсув частоти, що виникає при русі повітряних об'єктів, є ключовим джерелом інформації для оцінки їх параметрів — швидкості, напрямку та прискорення. Його коректна обробка дозволяє підвищити точність навігації, посадки та управління повітряним рухом.

У радіотехнічних системах та радіолокаційних комплексах ефект Доплера виникає при відносному русі літака та антени, що призводить до зміни носійної частоти сигналу. До таких систем належать:

- диспетчерські радіолокатори (оглядові РЛС);
- радіолокаційні системи посадки (РСП);

- аеродромні оглядові РЛС (SMR);
- системи точного заходу на посадку з РЛС.

Зокрема, в системах управління повітряним рухом використовуються РЛС з доплерівським каналом. У таких системах доплерівський зсув використовується для визначення швидкості та напрямку руху повітряних об'єктів. У радіолокаційних посадкових системах, таких як РСП-10 та РСП-6М2, доплерівські частоти застосовуються для оцінки швидкості під час супроводу цілі. Також доплерівський ефект використовується для відсікання нерухомих об'єктів (земля, будівлі) та виділення рухомих цілей (літаки, транспорт). Нарешті, у системах точного заходу на посадку з РЛС доплерівський ефект допомагає уточнити траєкторію та швидкість при заході на посадку.

Для врахування впливу доплерівського ефекту застосовуються різні методи та алгоритми [1–3]. Найпоширенішими є автоматичне вимірювання частоти зсуву з подальшою корекцією сигналу, використання систем фазової автопідстройки частоти, а також алгоритми адаптивної та узгодженої фільтрації, які дозволяють враховувати зміни швидкісних параметрів у реальному часі. Застосування таких методів забезпечує стабільність фазових характеристик сигналу, підвищує точність визначення дальності та кутових координат, а також зменшує навігаційні похибки у процесі посадки повітряного судна.

У роботах [4, 5] розглянуто комплексні підходи до обробки сигналів із доплерівським зсувом частоти з метою підвищення точності оцінки параметрів руху повітряних об'єктів. До основних методів та засобів обробки таких сигналів належать слідкуюча вузькосмугова фільтрація та метод часової фрагментації доплерівського сигналу.

Таким чином, у межах дослідження методів обробки сигналів, що зазнають доплерівського зсуву частоти, для оцінки параметрів руху повітряних об'єктів у диспетчерських радіолокаторах радіолокаційних систем посадки, пропонується виконати моделювання сигналів з урахуванням реальних умов роботи РТС, включаючи вплив швидкості цілі, кута наближення та носійної частоти сигналу. Доцільно розглянути спектральний аналіз, фільтрацію, wavelet-перетворення, адаптивні алгоритми та методи машинного навчання для виділення доплерівських компонентів. Заплановано здійснити імітаційне моделювання роботи РТС в умовах різних сценаріїв руху цілей з урахуванням шумів, перешкод та багатопроменового поширення.

Отже, доплерівський зсув частоти є одним із ключових чинників, що впливає на точність функціонування радіолокаційних систем посадки. Його урахування при розробці алгоритмів обробки сигналів дозволяє істотно підвищити ефективність роботи системи, забезпечити більш точне визначення координат літального апарата та підвищити рівень безпеки польотів під час заходу на посадку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. **Motion Compensation for Body-frame Doppler Estimation of Radar Sensors on Multi-rotor UAV Platforms** // 2022 19th European Radar Conference (EuRAD). – IEEE, 2022. – DOI: 10.23919/EuRAD54643.2022.9924752.
2. **Research on Eliminating Affection of Doppler Frequency in Linear Frequency Radar** // Proceedings of the 2023 International Conference on Artificial Intelligence and Computer Engineering. – Springer, 2023. – DOI: 10.1007/978-981-96-2767-7_45.
3. **Atomic Norm-Based Joint Delay-Doppler Shift Estimation for OFDM Passive Radar** // IEEE Signal Processing Letters. – Vol. 30, 2023. – DOI: 10.1109/LSP.2023.10352939.
4. **Computer modelling of doppler radi signals in the time and frequency domains** / O. Onyshchuk, M. Tulenko, O. Kramar, K. Trojan // XX міжнародна наукова конференція Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба “Новітні технології – для захисту повітряного простору”: тези доповідей, 02 – 03 травня 2024 року. – Х.: ХНУПС ім. І. Кожедуба, 2024. – С. 331
5. **Simulating of Doppler radio signals at the receiving path of autonomous navigation systems for determining the speed of moving objects** / O.V.Onyshchuk, O.A.Kramar, I.M.Pilat // Proceeding of the Eleventh World Congress “AVIATION IN THE XXI-st CENTURY” – “Safety in Aviation and Space Technologies”. September 25-27, 2024. – Kyiv, 2024. – P. 2.2.20-2.2.22

Адардасов Максим Олегович – слухач магістратури Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, e-mail: maksminskii45@gmail.com

Онищук Олег Володимирович - к.т.н., доцент кафедри авіаційних радіотехнічних систем навігації та посадки Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, e-mail: onyschukoleg@gmail.com.

Туленко Михайло Володимирович - старший викладач кафедри авіаційних радіотехнічних систем навігації та посадки Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, м. Харків, e-mail: super-tulenko@ukr.net

RESEARCH INTO METHODS OF PROCESSING SIGNALS SUBJECT TO DOPPLER FREQUENCY SHIFT FOR ASSESSING THE MOVEMENT PARAMETERS OF AIRBORNE OBJECTS IN RADIO ENGINEERING SYSTEMS FOR STATE AVIATION FLIGHT SUPPORT

Abstract

The report examines signal processing methods for compensating Doppler frequency shift to improve the accuracy of motion parameter estimation of airborne objects in state aviation landing radar systems. The relevance of the study is driven by the need to ensure high precision and reliability of air traffic control radar systems under conditions of intensive air traffic and combat operations. The paper discusses the use of automatic Doppler shift measurement, phase-locked loop systems, adaptive and matched filtering algorithms. Modeling results and performance analysis of these methods are presented.

Keywords: Doppler effect, radar landing systems (RLS), control radars (CRT).

Adardasov Maxim O - student of the master's degree at the I. Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: maksminskii45@gmail.com

Onyshchuk Oleh V. -Ph.D., Associate Professor of Department of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, e-mail: onyschukoleg@gmail.com.

Tulenko Mykhailo Volodymyrovych - Senior Lecturer, Department of Aviation Radio Engineering Systems, Navigation and Landing, Kharkiv National University of the Air Force named after I. Kozhedub, Kharkiv, e-mail: super-tulenko@ukr.net