

SECTION 8.

MILITARY SCIENCES, NATIONAL SECURITY AND SECURITY OF THE STATE BORDER

Гризо Андрій Аркадійович 

канд. техн. наук, доцент, начальник науково-дослідної лабораторії
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна

Трофимов Іван Миколайович 

канд. техн. наук, ст. дослід., професор кафедри
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна

Нелінь Дмитро Павлович 

начальник науково-дослідного відділу
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна

Крикун Вадим Володимирович 

молодший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна

Ткачук Вадим Віталійович 

здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МЕДІАННОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ДЛЯ ПРИДУШЕННЯ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕШКОД ТА ОЦІНЮВАННЯ ПЕРЕШКОДОВОЇ ОБСТАНОВКИ У РЛС РАДІОТЕХНІЧНИХ ВІЙСЬК

Радіолокаційні станції (РЛС) радіотехнічних військ (РТВ) Повітряних Сил Збройних Сил України функціонують в умовах складної сигнально-перешкодової обстановки, яка обумовлена впливом імпульсних перешкод (ІП) різного походження, зокрема, несинхронні перешкоди від інших РЛС, навмисні ІП від засобів радіоелектронного придушення противника, атмосферні розряди та апаратурні збої [1]. Наявність ІП викликає появу хибних відміток які перевантажують системи обробки радіолокаційної інформації та знижують якість виявлення повітряних об'єктів, насамперед малорозмірних безпілотних літальних апаратів [2 – 4]. Особливу небезпеку ІП становлять для РЛС зі складними зондувальними сигналами (СЗС) з невеликою базою – ЛЧМ, ФКМ, НЛЧМ [5 – 7]. При потраплянні ІП на вхід

фільтра стиснення її енергія «розмазується» по елементах дальності, що призводить до підвищення рівня бічних пелюсток стиснутого імпульсу.

Для виявлення сигналів у РЛС РТВ зазвичай використовується алгоритм виявлення з постійним рівнем хибної тривоги на основі ковзного середнього (Cell-Averaging Constant False Alarm Rate, CA-CFAR). Як відомо, він є чутливим до ІП, навіть одиночний викид призводить до завищення адаптивного порогу [5, 6]. Метою роботи є обґрунтування можливості застосування медіанної фільтрації у РЛС РТВ для придушення ІП та оцінювання перешкодової обстановки.

Існує цілий клас нелінійних фільтрів порядкових статистик, здатних повністю придушувати імпульсні викиди при збереженні форми корисного сигналу [9, 10]. Медіанний фільтр є базовим представником цього класу та може використовуватися як препроцесор перед пороговим пристроєм [5]. У [10] досліджено медіанні фільтри для селекції ІП у когерентних імпульсних РЛС та показано що це призводить до спотворення спектральних складових процесу.

Для РЛС зі СЗС ситуація є іншою, медіанний фільтр розміщується перед узгодженим фільтром який передує операції порівняння з порогом виявлення. Недостатньо дослідженим залишається використання медіанного фільтра з порогом перемикавання (Switching Median Filter, SMF) для мінімізації спотворень СЗС та оцінювання перешкодової обстановки на основі залишку фільтрації.

Стандартний медіанний фільтр обробляє всі відліки, у тому числі неуражені, що спричиняє надлишкове спотворення СЗС [6, 7]. Медіанний фільтр з порогом перемикавання усуває цей недолік. На першому етапі для кожного відліку обчислюється локальна медіана та порівнюється з поточним відліком, якщо різниця перевищує адаптивний поріг на основі медіанного абсолютного відхилення (MAD), відлік позначається як уражений. На другому етапі лише уражені відліки замінюються медіаною, решта передаються без змін [9]. Оскільки переважна більшість відліків залишається незмінною, спотворення мінімізується. Розмір вікна: 3–7 для ЛЧМ, 3–5 для ФКМ, 3–9 для НЛЧМ. З урахуванням [10], принцип перемикавання поширюється на векторний випадок для коректної обробки комплексних відліків.

Різницевий сигнал (залишок) після медіанної фільтрації містить виділені ІП та залишковий шум і може розглядатися як джерело інформації про перешкодову обстановку. Щільність ІП визначається як частка відліків залишку, що перевищують поріг сформований на основі MAD. Інтенсивність перешкод оцінюється за робастною оцінкою дисперсії, отриманою на основі

медіанного абсолютного відхилення (MAD) масштабованого з коефіцієнтом 1,4826. Тип перешкод можливо класифікувати за формою автокореляційної функції (АКФ) залишку, зокрема вузький дельта-подібний пік відповідає впливу одиночних некорельованих імпульсів; розширений пік шириною, що відповідає тривалості пачки відповідає впливу пачкових перешкод; періодичні піки з кроком, що дорівнює періоду повторення імпульсів перешкоджуючої РЛС ідентифікується як взаємні перешкоди. Спектральний аналіз залишку надає додаткову інформацію. Плоска вершина спектру підтверджує вплив одиночних імпульсів, спад на високих частотах свідчить про наявність пачки імпульсів, лінійчатий спектр відповідає періодичній послідовності.

Оцінені параметри є підставою для адаптації режимів роботи РЛС, наприклад, перестроювання частоти при виявленні взаємних перешкод, зміни методу формування адаптивного порогу виявлення [5] при зростанні щільності ПП, збільшення вікна фільтра при пачкових перешкодах. Поєднання схеми «SMF + CA-CFAR» [5] із оцінюванням обстановки утворює замкнутий контур адаптації, реалізований у перспективних РЛС РТВ.

Висновки. Таким чином показано, що медіанна фільтрація є ефективним інструментом для одночасного вирішення двох задач у РЛС РТВ, а саме придушення ПП та оцінювання перешкодової обстановки.

Використання SMF забезпечує мінімальні спотворення СЗС за рахунок обробки лише уражених відліків.

Аналіз залишку (щільність, інтенсивність, АКФ, спектр) дозволяє провести класифікацію типу перешкод та забезпечує адаптацію режимів роботи РЛС. Поєднання з SMF + CA-CFAR перевершує CA-CFAR за якістю виявлення малорозмірних ПО за умов впливу імпульсних перешкод. Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні адаптивних медіанних фільтрів зі змінним розміром вікна та оптимізації їх апаратної реалізації у ПЛІС.

Список використаних джерел:

1. Трофимов І.М., Худов Г.В., Білецький С.С., Гризо А.А. & Гладіщук О.В. (2024) Особливості бойового застосування радіотехнічних військ Повітряних Сил Збройних Сил України в ході російсько-української війни. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, (2(55)), 76–85. <https://doi.org/10.30748/nitps.2024.55.08>.
2. Гризо, А. А., Костиця, О. О., Лісогорський, Б. А., & Ткаченко, В. І. (2023). Аналіз характеристик та оцінка ефективності застосування потенційних засобів вогневого ураження елементів системи протиповітряної оборони у російсько-українській війні. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, (1 (50)), 70–81. <https://doi.org/10.30748/nitps.2023.50.08>.
3. Гризо, А., Костиця, О., & Трофимов, І. (2025). Російсько-українська війна як каталізатор змін у європейській системі ППО-ПРО: від американської підтримки до стратегічної автономії. *Міжнародний науковий журнал «Military Science»*, 3(2), 56–77. <https://doi.org/10.62524/msj.2025.3.2.5/>.
4. Трофимов, І., Гризо, А., Маляренко, О., Рафальський, Ю., & Пиво, М. (2025). Підвищення живучості засобів радіолокації радіотехнічних військ повітряних сил збройних сил України в умовах дії

- розвідувально-ударних комплексів противника. *Системи озброєння і військова техніка*, (3(83), 66-79. <https://doi.org/10.30748/soivt.2025.83.09>.
5. Kostyria O., Hryzo A., Fedorov A., Khudov H., Solomonenko Y., Ushakov S. Mathematical Model of the Current Time of a Five Fragment Nonlinear Frequency Modulated Signal. *Advances in Military Technology*. 2025. Vol. 20. No. 2. P. 435–447. <https://doi:10.3849/aimt.01986>.
 6. Hryzo A. A. , Kostyria, O. O. , Fedorov, A. V., Lukianchykov A. A., & Biernik , Y. V. . (2025). Assessment of the quality of detection of a radar signal with nonlinear frequency modulation in the presence of a non-stationary interfering background. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (1), 18–29. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2025-1-2>.
 7. Kostyria O. O., Hryzo A. A., Dodukh O. M., Lisohorskyi B. A., & Lukianchykov A. A. (2023). Method of minimization sidelobes level autocorrelation functions of signals with non-linear frequency modulation. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (4), 39. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2023-4-4>.
 8. Kostyria, O. O., Hryzo A. A., Khudov, H. V., Dodukh, O. M., & Solomonenko, Y. S. (2024). Mathematical model of current time of signal from serial combination linear-frequency and quadratically modulated fragments. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (2), 24. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2024-2-3>.
 9. Astola, J., & Kuosmanen, P. (1997). *Fundamentals of Nonlinear Digital Filtering* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003067832>.
 10. H. Hwang and R. A. Haddad, Adaptive median filters: new algorithms and results, in *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 4, no. 4, pp. 499-502, April 1995, <https://doi.org/10.1109/83.370679>.