

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з навчальної роботи
Національного технічного
університету України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”
к.т.н., доц.
Тетяна ЖЕЛЯСКОВА

“ 21 ” 03 2025 р.

ВИТЯГ

з протоколу № 03/2025 від 13 березня 2025 р. розширеного засідання
кафедри радіотехнічних систем
Національного технічного університету України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

БУЛИ ПРИСУТНІ:

- з кафедри радіотехнічних систем: завідувач кафедри, д.т.н., професор, Жук С. Я., д.т.н., професор, Васильєв В. М., к.т.н., доцент Головін В. А., к.т.н., доцент Катін П. Ю., к.т.н., доцент Могильний С. Б., к.т.н., доцент Піддубний В. О., к.т.н., доцент, заст. зав. кафедри Чмельов В. О., к.т.н., доцент Шпилька О. О., к.т.н., старший викладач, Вишневий С. В., к.т.н., старший викладач, Неуймін О. С., старший викладач Омеляненко М. Ю., к.т.н., старший викладач, Товкач І. О., старший викладач Турєєва О. В., асистент Олійник М. В., асистент Романенко Т. В., PhD, доцент, Мирончук О. Ю., аспірант Бровка Ю. М., аспірант Соколов К. А., аспірант Гончаров О. А., аспірант Мішин О. В., аспірант Ковтун І. С., аспірант Роземборський В. М., аспірант Цибровський О. М.;

- з інших кафедр КПІ ім. Ігоря Сікорського:
професор кафедри телекомунікацій, д.т.н. професор Лисенко О. І., доцент кафедри прикладної радіоелектроніки, к.т.н, доцент Приходько І. О., доцент кафедри прикладної радіоелектроніки, к.т.н, доцент Шульга А. В., старший викладач кафедри прикладної радіоелектроніки Головня В. М., доцент кафедри радіоінженерії, PhD, Сушко О. Ю., доцент кафедри радіоінженерії, к.т.н, доцент, Пільтяй С. І., доцент кафедри радіоінженерії, к.т.н, доцент Василенко Д. О., старший викладач кафедри радіоінженерії, Захарченко О. С. старший викладач, к.т.н радіоінженерії, Булашенко А. В.;

- гарант освітньої програми д.т.н., професор кафедри електронних комунікацій та інтернету речей, професор Уривський Л.О.

Запрошені з інших організацій:

Державне некомерційне підприємство «Державний університет «Київський авіаційний інститут» МОН України д.т.н., професор кафедри аеронавігаційних систем Авер'янова Ю. А., Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, МОН України, завідувач кафедри штучного інтелекту д.т.н., доцент, Зінченко О. В., НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» МОН України, д.т.н., професор кафедри програмно-апаратних систем інфокомунікацій Волочій Богдан Юрійович

СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення аспіранта кафедри радіотехнічних систем Маленчика Тараса Володимировича за матеріалами дисертаційної роботи “Методи виявлення траєкторії і супроводження малорозмірного БПЛА FMCW радаром з використанням вирішальних статистик відміток”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 17 Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Освітньо-наукова програма Телекомунікації та радіотехніка.

Тему дисертаційної роботи “Методи виявлення траєкторії і супроводження малорозмірного БПЛА FMCW радаром з використанням вирішальних статистик відміток”, затверджено на засіданні Вченої ради радіотехнічного факультету (протокол № 11/2021 від “29 листопада 2021 року)

та перезатверджено на засіданні Вченої ради радіотехнічного факультету (протокол № 02/2025 від “24 лютого 2025 року).

Науковим керівником затверджений д.т.н., професор Жук С. Я.

2. Запитання до здобувача.

Запитання по темі дисертації ставили:

заст. зав. кафедри, к.т.н., доцент Чмельов В.О., професор, д.т.н., професор Васильєв В.М., доцент, к.т.н., доцент Шпилька О.О., доцент, PhD, доцент Мирончук О.Ю., к.т.н., доцент Катін П. Ю., старший викладач Омеляненко М. Ю.

3. Виступи за обговореною роботою.

В обговоренні дисертації взяли участь:

зав. кафедри, д.т.н., професор Жук С.Я., заст. зав. кафедри, к.т.н., доцент Чмельов В.О., професор, д.т.н., професор Васильєв В.М., доцент, к.т.н., доцент Шпилька О.О., доцент, PhD, доцент Мирончук О.Ю., старший викладач, к.т.н., Товкач І.О., старший викладач, к.т.н., Вишневий С.В., к.т.н., доцент Катін П. Ю., старший викладач Турєєва О.В.

УХВАЛИЛИ:

ПРИЙНЯТИ такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження:

1. Актуальність теми дослідження Розвиток технологій побудови МБПЛА, їх доступність і масове використання, призвели до появи нового класу загроз, що вимагає розробки відповідних систем протидії. Ключове місце у складі таких систем займають РЛС. Порівняно з оптико-електронними, акустичними або засобами радіотехнічної розвідки, РЛС забезпечують більшу дальність виявлення та точність видачі координат цілі за різних умов. Сучасним засобом виявлення рухомих цілей на малих відстанях є FMCW радар, який забезпечує: високоточне вимірювання дальності, а також радіальної швидкості, кращу безпеку через відсутність імпульсного випромінювання з великою потужністю; низьке енергоспоживання.

Особливістю МБПЛА як об'єктів радіолокаційного спостереження є екстремально низькі значення ЕПР порядку $0,01 \dots 0,5 \text{ м}^2$, що зменшує дальність його виявлення. Крім того, МБПЛА можуть рухатись з різними видами маневру, які априорі невідомі. Це обумовлює необхідність розробки адаптивного алгоритмічного забезпечення для вирішення задачі обробки траєкторної інформації за даними FMCW радара.

Напрямок збільшення ймовірності правильного виявлення цілі, який не вимагає внесення змін в конструкцію радара, є зниження порога виявлення, що однак призводить до зростання ймовірності хибної тривоги і супроводжується появою значної кількості хибних відміток.

У традиційних алгоритмах виявлення траєкторії і зриву супроводження цілі використовується тільки координатна інформація і вони є неефективними при значній кількості хибних відміток. Відомі методи супроводження до виявлення та деревовидні послідовні методи виявлення траєкторії цілі за розглянутих умов вимагають великих обчислювальних витрат.

Оптимальні алгоритми супроводження цілі, що базуються на байєсівському і небайєсівському підходах мають деревовидний характер, що призводить до величезних обчислювальних витрат при значній кількості хибних відміток, що вимагає синтезу квазіоптимальних алгоритмів. Квазіоптимальний псевдобайєсівський алгоритм супроводження цілі з ймовірнісним об'єднанням даних є найкращим щодо співвідношення якості і обчислювальних витрат і отримав широке застосування в системах траєкторного супроводження при наявності завад. Але ж недоліком алгоритму супроводження цілі PDA є те, що він не враховує різні типи руху цілі.

Тому актуальною науковою задачею є розробка методів виявлення траєкторії і адаптивного супроводження МБПЛА FMCW радаром з використанням вирішальних статистик відміток, для підвищення ефективності траєкторної обробки при малих ВСШ, які не вимагають значних обчислювальних витрат.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дослідження даної роботи проводились згідно з планами науково-дослідних робіт кафедри радіотехнічних систем радіотехнічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» в рамках держбюджетної теми: № 2317п «Програмний комплекс моделювання процесів обробки траєкторної інформації в системі захисту від малорозмірних безпілотних літальних апаратів» (номер державної реєстрації — 0120U102321).

3. Наукова новизна отриманих результатів

1. Розроблено метод адаптивного супроводження маневруючого МБПЛА FMCW радаром з ймовірнісною ідентифікацією даних, в якому на відміну від відомих відбувається спільне оцінювання параметрів і розпізнавання різних видів його руху і враховуються в якості вимірювань вирішальні статистики всіх відміток в стробі супроводження.

2. Удосконалено метод послідовного виявлення траєкторії МБПЛА FMCW радаром на основі критерію Вальда, шляхом використання при розрахунку часткового відношення правдоподібності вирішальної статистики найсильнішої відмітки в стробі супроводження.

3. Удосконалено метод виявлення зриву супроводження МБПЛА FMCW радаром на основі критерію , шляхом додаткової перевірки основної гіпотези щодо закону розподілу накопичених вирішальних статистик найсильніших відміток, отриманих в стробах супроводження, проти альтернативи із заданим рівнем значущості.

4. Удосконалено метод виявлення МБПЛА FMCW радаром при невідомій потужності шуму, в якому в якості максимально правдоподібної оцінки потужності шуму використовується середнє значення навчаючої вибірки, отриманої з далекомірно-доплерівського портрету, об'єм якої визначається з використанням заданої ймовірності хибної тривоги і довірчої ймовірності її виходу за межі довірчого інтервалу.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи, впровадження

1. Удосконалений метод послідовного виявлення траєкторії МБПЛА FMCW радаром на основі критерію Вальда у порівнянні з методом, що не використовує вирішальні статистики відміток, забезпечує збільшення ймовірності виявлення траєкторії цілі при хибної тривоги $\alpha = 10^{-2}$ і $\alpha = 5 \times 10^{-3}$ до 50% і 34% і зменшення число оглядів в 4 та 2.5 рази відповідно. Ймовірність хибного виявлення траєкторії цілі для розробленого алгоритму менше ніж на порядок.

2. Розроблений метод адаптивного супроводження МБПЛА з ймовірнісною ідентифікацією даних з використанням вирішальних статистик

відміток дозволяє зменшити ймовірність зриву супроводження у порівнянні з алгоритмами супроводження з ототожненням даних за методами «найсильніший сусід» і «найближчий сусід»: при ВСШ 4 дБ до 2.5 і 5.5 разів відповідно і збільшити середній час супроводження цілі до 18% і 38% відповідно, в діапазоні ймовірності хибної тривоги $10^{-3} \leq \alpha \leq 10^{-2}$.

3. Удосконалений метод виявлення зриву супроводження траєкторії цілі за критерієм $3/4$ з накопиченням вирішальної статистики найсильнішої відмітки дозволяє підвищити ймовірність правильного виявлення зриву супроводження в 2–8 разів при ймовірності хибної тривоги $2.5 \times 10^{-3} \leq \alpha \leq 7.5 \times 10^{-2}$, у порівнянні з алгоритмом, який не використовує вирішальні статистики. Середній час виявлення зриву траєкторії цілі зменшується в 2.4 - 3.3 рази.

4. Розроблений алгоритм адаптивного супроводження маневруючого МБПЛА трикоординатним FMCW радаром забезпечує розпізнавання різних видів руху МБПЛА з імовірностями вище 0.9, що дозволяє формувати строби супроводження адекватно поточній ситуації. При прямолінійному русі і зависанні МБПЛА, адаптивний фільтр забезпечує СКВ похибок прогнозу і оцінки координат до 4.3 і 1.8 разів менше, ніж на ділянках руху з маневром.

5. При реалізації радара в надвисокочастотному діапазоні частот з використанням гібридно-інтегральних технологій і потужності випромінювання 1 Вт, забезпечується виявлення і супроводження цілі з ЕПР 0.01 м^2 розробленими алгоритмами з відстані 1000 м.

6. Використання 1% обчислювальної потужності СнК SX2800 для реалізації розробленого адаптивного алгоритму супроводження маневруючого МБПЛА трикоординатним FMCW радаром забезпечує супроводження 2.5 тис. траєкторій.

5. Апробація результатів дисертації

Результати роботи обговорювалися на 9 наукових конференціях:

XV Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій" 2021, X Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні проблеми, сигнали, апарати та системи» 2021, IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering " (TCSET -2022), XI Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні проблеми, сигнали, апарати та системи» 2022, XVII Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій - 2023", XII Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні проблеми, сигнали, апарати та системи» 2023, Міжнародна науково-технічна конференція "Сучасні проблеми в радіоелектроніці, телекомунікаціях присвячена 85-річчю кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань 2024" (СПРТ'2024), XVIII Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій - 2023", XIII Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні проблеми, сигнали, апарати та системи» 2024.

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація *Маленчика Т. В.* визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача

За результатами досліджень опубліковано 14 наукових публікацій, у тому числі:

- 0 одноосібних монографій, 0 одноосібних розділів у колективних монографіях;

- 3 статті у наукових фахових виданнях України (на момент опублікування) за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка,

в т.ч. 1 статей у яких число співавторів (разом із здобувачем) більше двох осіб;

- 1 стаття у періодичних наукових фахових виданнях проіндексованих у базах Scopus (Q3)

- 0 патентів України на винахід, що пройшли кваліфікаційну експертизу;

- 0 патентів України на корисну модель;

- 10 тез виступів на наукових конференціях.

1. Zhuk S.Y., Malenchyk, T.V., Neumin, O.S. et al. Adaptive Radar Tracking Algorithm for Maneuverable UAV with Probabilistic Identification of Data Using Coordinate and Amplitude Characteristics. *Radioelectronics and Communications Systems*. 2023. № 65. С. 503–516. URL: <https://doi.org/10.3103/S073527272212007X>. (Scopus (Q3)).

Здобувачем розроблено алгоритм адаптивного супроводження МБПЛА з ймовірнісною ідентифікацією даних з використанням вирішальних статистик відміток.

2. Маленчик Т.В., Жук, С.Я. Адаптивне виявлення сигналу рухомої цілі в FMCW радарі при невідомій потужності шуму. *Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування*. 2024. № 96. С. 32–41. URL: <https://doi.org/10.20535/RADAP.2024.96.32-41>. (WoS).

Здобувачем розроблено адаптивний алгоритм виявлення сигналу рухомої цілі в FMCW радарі при невідомій потужності шуму.

3. Маленчик Т.В., Жук С.Я. Алгоритм послідовного виявлення траєкторії малорозмірного БПЛА FMCW радаром за критерієм «найсильніший сусід». *Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування*. 2024. № 98. С. 23–29. URL: <https://doi.org/10.20535/RADAP.2024.96.32-41>. (WoS).

Здобувачем розроблено алгоритм послідовного виявлення траєкторії малорозмірного БПЛА FMCW радаром за критерієм «найсильніший сусід».

4. Т.В. Маленчик, О.Ю. Мирончук, О.С. Неуймін. Аналіз алгоритмів виявлення та супроводження точкових об'єктів у відеопотоці. *Вісник ВПІ*.

2022. № 6. С. 48–56. URL: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-165-6-48-56>. (фахове, категорія Б).

Здобувачем проведено аналіз алгоритмів виявлення та супроводження точкових об'єктів у відеопотоці.

Матеріали міжнародних конференцій за темою дисертації:

1. Неуймін О.С., Соколов К.А., Маленчик Т.В. Аналіз методу виявлення точкових цілей на основі моделі інфрачервоного патч-зображення // XV Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій 2021"» - 12-16 квітня 2021 р.: матеріали конференції - Київ, 2021. – С. 271-273.

2. Неуймін О.С. Маленчик Т.В. Розрахунок дальності виявлення БПЛА FMCW радіолокатором на базі програмно визначеного радіо BLADERF 2.0.// X Міжнародна науково-технічна конференція "Радіотехнічні проблеми, сигнали, апарати та системи" (РТПСАС-2021) - 09-11 листопада 2021 р.: матеріали конференції - Київ, 2021. – С.72 -74.

3. Маленчик Т.В., Неуймін О.С., Жук С.Я. Алгоритм супроводження точкової цілі з використанням моделі виявлення на основі патч-зображення.// X Міжнародна науково-технічна конференція "Радіотехнічні проблеми, сигнали, апарати та системи" (РТПСАС-2021) - 09-11 листопада 2021 р.: матеріали конференції - Київ, 2021. – С.69 -71.

4. O.S. Neumin, S.Y. Zhuk, I.O. Tovkach, T.V. Malenchyk. Analysis Of The Small UAV Trajectory Detection Algorithm Based On The "1/n-d" Criterion Using Kalman Filtering Due To FMCW Radar Data.// IEEE 16th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering " (TCSET -2022) - 22-26 лютого 2022 р.: матеріали конференції – Львів-Славське, 2022. – С.741 -745. URL: <https://doi.org/10.1109/TCSET55632.2022.9766929>. (Scopus)

5. Махно К.М., Романенко Т.В., Саратов Є.М., Маленчик Т.В., Неуймін О.С. Експериментальне дослідження FMCW радару EHF // XI Міжнародна науково-технічна конференція "Радіотехнічні проблеми, сигнали, апарати та системи" (РТПСАС-2022) - 22-24 листопада 2022 р.: матеріали конференції - Київ, 2022. – С. 36-38.

6. Маленчик Т.В. Аналіз енергетичних характеристик FMCW радару міліметрового діапазону на базі FPGA // XVII Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій 2023"» - 18-21 квітня 2023 р.: матеріали конференції - Київ, 2023. – С. 341-343.

7. Маленчик Т.В., Бендак В.Р., Олійник М.В., Деружко Б.М., Жук С.Я. Аналіз алгоритму виявлення сигналу в FMCW радарі // XII Міжнародна науково-технічна конференція "Радіотехнічні проблеми, сигнали, апарати та системи" (РТПСАС-2023) - 13-15 грудня 2023 р.: матеріали конференції - Київ, 2023. – С. 27-29.

8. Маленчик Т.В., Жук С.Я. Адаптивний алгоритм супроводження рухомої цілі за даними FMCW радару // Міжнародна науково-технічна конференція " Сучасні проблеми в радіоелектроніці, телекомунікаціях

присвячена 85-річчю кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань 2024" (СПРТ'2024) - 22-23 травня 2024 р.: матеріали конференції - Львів, 2024. – С. 115-118.

9. Маленчик Т.В., Жук С.Я. Виявлення сигналу рухомої цілі FMCW радаром при відомій потужності завади // XVIII Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій 2024"» - 15-19 квітня 2024 р.: матеріали конференції - Київ, 2024. – С. 277-279.

10. Маленчик Т.В., Жук С.Я. Виявлення зриву супроводження траєкторії цілі за критерієм 3/4 з використання вибіркової статистики найсильнішої відмітки // XIII Міжнародна науково-технічна конференція "Радіотехнічні проблеми, сигнали, апарати та системи" (РТПСАС-2024) - 28 листопада 2024 р.: матеріали конференції - Київ, 2024. – С. 80-82.

Якість та кількість публікацій відповідають "Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44".

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Маленчика Т. В. "Методи виявлення траєкторії і супроводження малорозмірного БПЛА FMCW радаром з використанням вибіркової статистики відміток", що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам, що пред'являють до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КПІ ім. Ігоря Сікорського Телекомунікації та радіотехніка зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка.

РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу "Методи виявлення траєкторії і супроводження малорозмірного БПЛА FMCW радаром з використанням вибіркової статистики відміток", подану Маленчиком Тарасом Володимировичем на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді КПІ ім. Ігоря Сікорського утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

доктор технічних наук, професор, професор кафедри телекомунікацій Навчально-наукового Інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», МОН України, Лисенко Олександр Іванович;

Члени:

Рецензент:

кандидат технічних наук, старший викладач кафедри радіотехнічних систем радіотехнічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», МОН України, Товкач Ігор Олегович;

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри медіаінженерії та інформаційних радіоелектронних систем Харківського національного університету радіоелектроніки МОН України, Карташов Володимир Михайлович;

доктор технічних наук, професор, професор кафедри програмно-апаратних систем інфокомунікацій НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» МОН України, Волочій Богдан Юрійович.

кандидат технічних наук, старший дослідник, заступник начальника науково-дослідного відділу радіоелектронної розвідки та радіоелектронної боротьби наукового центру Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова МО України, Бугайов Микола Вікторович.

Головуючий на засіданні
к.т.н., доцент, заст. зав. каф.
радіотехнічних систем



Вячеслав ЧМЕЛЬОВ

Вчений секретар
кафедри радіотехнічних систем
старший викладач



Ольга ТУРЕЄВА