

Вченому секретарю спеціалізованої  
вченої ради Д 64.052.03  
Харківського національного  
університету радіоелектроніки,  
проф. Безруку В.М.  
пр. Леніна, 14, м. Харків, 61166

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Савочкіна Дмитра Олександровича «Розвиток методів просторової локалізації об'єктів на базі технології радіочастотної ідентифікації», яку представлено на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

### Актуальність теми дисертації

В даний час у різні сфери людської діяльності активно впроваджуються системи безконтактної двовимірної локалізації об'єктів. Ці системи знаходять застосування при пошуку і відстеженні об'єктів усередині приміщень, товарів на складах, працівників підприємств і т.д.

У зв'язку з тим, що глобальні навігаційні супутникові системи непридатні для локалізації об'єктів у істотно екранованих просторах, для локалізації всередині приміщень часто використовуються системи на базі технології радіочастотної ідентифікації (RFID). У цьому випадку на об'єктах локалізації встановлюють спеціальні RFID-мітки. Системи на базі RFID-технології особливо перспективні при необхідності локалізації великої кількості об'єктів малих розмірів тому, що RFID-мітки мають малі габарити і малу вартість.

Радіотехнічні системи просторової RFID-локалізації використовуються практично у всіх країнах світу (найбільшою мірою у США, Канаді, країнах Європейського союзу, Японії). Дослідження в галузі розробки таких систем ведуть десятки фірм. Все це означає, що **даний напрямок** науково-технічного розвитку є **вкрай актуальним** для сучасного суспільства.

Розвиток методів і засобів просторової RFID-локалізації – це величезна область досліджень та розробок. Дисертаційна робота Савочкіна Д.О. присвячена дослідженням саме в цій області і розвиває методи RFID-локалізації. Дослідження Савочкіна Д.О. можуть бути особливо **актуальними** для тих країн, в яких ще не існує загальноприйнятих стандартів у галузі способів вирішення задачі просторової RFID-локалізації, зокрема, для **України**.

У дисертації Савочкіна Д.О. **вирішуються актуальні наукові задачі**. В їх числі вдосконалення трилатераційного методу просторової локалізації, розробка

комбінованого методу локалізації, розробка методики пошуку оптимального розміщення антен RFID-системи, а також інші наукові задачі, вирішення яких дозволяє підвищити точність просторової локалізації.

У зв'язку з цим **дисертаційна робота** Савочкіна Дмитра Олександровича є **актуальним науковим дослідженням**.

### **Зв'язок з науковими програмами**

Дисертаційна робота Савочкіна Д.О. пов'язана з плановими дослідженнями, які виконувались Севастопольським національним технічним університетом:

- наукова-дослідна робота на тему «Розробка методів і алгоритмів радіочастотної ідентифікації, що забезпечують локалізацію об'єктів у просторі» за договором про міжнародне співробітництво між Севастопольським національним технічним університетом та компанією ERACTS Inc. (м. Торонто, Канада);
- держбюджетна науково-дослідна робота «Дослідження амплітудно-фазових флуктуацій мікрохвильових електромагнітних полів у нижніх шарах атмосфери та методів дистанційного зондування», шифр «Метеор», номер державної реєстрації 0112U001247.

Савочкін Дмитро Олександрович був виконавцем у цих роботах, в них використовувалися результати його досліджень.

### **Аналіз змісту дисертаційної роботи**

Повний обсяг дисертаційної роботи Савочкіна Д.О. становить 206 сторінок і складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, який включає 128 найменувань, та додатків на 37 сторінках. У роботі є 40 рисунків та 13 таблиць.

**У вступі** автором обґрунтовується актуальність розвитку методів просторової локалізації об'єктів на базі технології радіочастотної ідентифікації. Формуються мета і задачі дослідження, визначається об'єкт, предмет та методи дослідження. Характеризується наукова новизна отриманих результатів та їх практична значущість. Наводяться відомості про особистий внесок здобувача, публікації за темою дисертації та апробацію результатів досліджень на конференціях.

**У першому розділі** розглянуто задачу просторової локалізації об'єктів, наведені основні характеристики систем локалізації. Виконано порівняльний аналіз систем і технологій, що дозволяють здійснювати локалізацію об'єктів у просторі. Представлені основні види вимірювальної інформації, яку можливо отримувати від RFID-міток. Проведено детальний порівняльний аналіз методів просторової локалізації. Розглянуто метод перетинів, позиційні методи (у тому числі

трилатераційний метод), метод найближчих сусідів, метод нейронної мережі, метод машини опорних векторів, метод інтерференції. Запропоновано виділяти точкові і зонні методи локалізації. Визначено недоліки розглянутих методів, оцінено їхню точність.

На основі проведеного аналізу, Савочкін Д.О. робить висновок про те, що методи вдосконалення, що пропонуються, а також нові комбінації різних методів локалізації та видів вимірювальної інформації підвищують точність просторової локалізації об'єктів.

**Другий розділ** складається з двох підрозділів. У першому підрозділі розглянуто задачу двовимірної просторової локалізації пасивних RFID-міток шляхом використання трилатераційного методу. Пропонується для виключення трудомісткого етапу попереднього збору вимірювальної інформації використовувати пряму або зворотну пропорційну залежність відстані від інформаційного параметра. Пропонується враховувати можливу еліптичність ліній положення шляхом введення спеціальних коефіцієнтів і використовувати додаткову вимірювальну інформацію у вигляді фактів неотримання сигналів відповіді від міток.

У другому підрозділі розроблено новий комбінований метод просторової локалізації. Запропоновано використовувати зважене лінійне комбінування оцінок, що формуються декількома алгоритмами на базі точкових методів локалізації при обробці вимірювальної інформації різних видів. Оцінки, що формуються алгоритмами на базі зонних методів, пропонується враховувати шляхом введення спеціальних коефіцієнтів у вираз усереднення. Запропоновано два варіанти комбінування в залежності від можливості проведення попереднього калібрувального етапу.

**Третій розділ** присвячений оптимізації розміщення антен RFID-системи просторової локалізації. Запропоновано критерій оптимальності розміщення антен для випадку використання комбінованого методу локалізації, заснованого на алгоритмах трилатерації, відбитків і перетинів.

Наведено опис обчислювального експерименту. У ході експерименту проаналізовано ряд простих схем розміщення 16 антен для квадратної області локалізації та визначено, що схема розміщення антен у вигляді квадратної сітки є кращою. Проведено пошук оптимального розміщення за допомогою процедури евристичної оптимізації. З використанням алгоритму імітації відпалу знайдені оптимальні варіанти розміщення для різних варіантів квадратної області локалізації. Зроблено висновки за отриманими результатами.

**Четвертий розділ** присвячений розробці математичних моделей і процесам моделювання. У розділі описана створена методика імітаційного моделювання

процесу отримання вимірювальної інформації трьох видів від пасивних RFID-міток. Розроблено методику верифікації блока квадратурного перетворення, що виділяє фазову вимірювальну інформацію.

З використанням розробленої методики проведено модельну верифікацію запропонованого в третьому розділі критерію оптимальності розміщення антен, яка підтвердила адекватність цього критерію. Також з використанням даної методики проведено аналіз комбінованого методу локалізації, в ході якого встановлено, що застосування комбінованого методу дозволяє істотно зменшити середню помилку локалізації.

**П'ятий розділ** присвячений експериментальним дослідженням. У розділі наводиться опис виготовленої RFID-системи для просторової локалізації. Описано блок квадратурного перетворення і процес його верифікації. Проведено експериментальне дослідження модифікованого трилатераційного методу локалізації та розробленого комбінованого методу. Проведено порівняння результатів модельного і натурального експериментів. Наведено висновки за результатами експериментальних досліджень.

**У висновках дисертації** сформульовані її основні результати.

**У додатках** наведено вираз для розрахунку еліптичного коефіцієнта, фрагменти початкового коду розробленого програмного комплексу, методику розрахунку довірчого інтервалу для середнього значення релєївського розподілу та акти впровадження результатів роботи.

## **Оцінка змісту дисертаційної роботи, її завершеність**

Аналіз змісту дисертаційної роботи Савочкина Дмитра Олександровича дозволяє зробити висновок про те, що на захист представлена завершена наукова робота. Це підтверджується тим, що мета, поставлена в дисертаційній роботі, досягнута, всі задачі вирішені, а отримані результати представлені у такому вигляді, який дозволяє використовувати їх в промислових і наукових розробках.

## **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність**

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи сформульовані на основі теоретичного аналізу та експериментальних досліджень. Положення, висунуті на захист, достатньо обґрунтовані, оскільки вони є наслідком основних положень теорії радіотехнічних систем, теорії ймовірностей і математичної статистики, теорії оптимізації та теорії математичного моделювання, а також коректно виконаної обробки результатів вимірювань, проведених авто-

ром. Достовірність представлених в роботі результатів підтверджена даними, отриманими в ході модельних і натурних досліджень. Результати досліджень пройшли апробацію на 19 науково-технічних конференціях.

## **Наукова новизна дисертаційної роботи**

У роботі Савочкина Дмитра Олександровича вирішено актуальне наукове завдання, що полягає у підвищенні точності просторової локалізації об'єктів з використанням технології радіочастотної ідентифікації шляхом вдосконалення відомих і розробки нових методів просторової локалізації, а також створення моделей варіанту комбінованого методу локалізації, процесу отримання вимірювальної інформації та процесу верифікації блока квадратурного перетворення. У роботі отримані наступні наукові результати.

1. Розроблено модифікований трилатераційний метод двовимірної просторової локалізації пасивних RFID-міток, який відрізняється тим, що він використовує пропорційну залежність відстані від інформаційного параметра, враховує еліптичність ліній положення та враховує вимірювальну інформацію виду фактів неотримання відповідей від міток за допомогою окремих антен системи.

2. Вперше розроблено комбінований метод двовимірної просторової RFID-локалізації, який, на відміну від існуючих, забезпечує підвищення точності локалізації за рахунок об'єднання методів локалізації точкового і зонного типів та обробки вимірювальної інформації різних видів.

3. Вперше розроблено оптимізаційну модель такого варіанту комбінованого методу двовимірної просторової RFID-локалізації, що поєднує методи трилатерації, відбитків і перетинів, яка передбачає мінімізацію середньої помилки локалізації.

4. Вперше розроблена математична модель отримання вимірювальної інформації трьох видів від пасивної RFID-мітки, яка базується на модифікованій основній формулі радіолокації і враховує кореляцію між вимірювальною інформацією видів *received signal strength* та *identification rate*.

5. Вперше розроблено верифікаційну модель блока квадратурного перетворення, що виділяє фазову вимірювальну інформацію з сигналів відповіді пасивних RFID-міток, в якій використовується подача тестових гармонійних сигналів на входи блока.

## **Практичне значення результатів дисертаційної роботи**

Практичні результати дисертаційної роботи Савочкина Дмитра Олександровича полягають у наступному.

1. Застосування модифікованого варіанту трилатераційного методу просторової локалізації при створенні систем RFID дозволяє виключити процедуру попереднього збору вимірювальної інформації і підвищити точність визначення місцезнаходження, що розширює сферу застосування таких систем.

2. Застосування нового комбінованого методу просторової локалізації при створенні систем RFID дозволяє підвищити точність визначення місцезнаходження за рахунок об'єднання декількох алгоритмів і видів вимірювальної інформації. Експериментально встановлено, що зменшення середньої помилки при використанні комбінованого методу може становити близько 15%.

3. Розроблена методика пошуку оптимального розміщення антен при практичній реалізації комбінованого методу дозволяє мінімізувати середню помилку локалізації в умовах довільної конфігурації приміщення.

4. Розроблено методику комп'ютерного моделювання процесу отримання вимірювальної інформації, яка дозволяє на стадії проектування виконувати попереднє порівняння різних методів локалізації з урахуванням точності, що забезпечується ними.

5. Розроблено методику верифікації блока квадратурного перетворення, що є елементом RFID-рідера і забезпечує виділення фазової вимірювальної інформації. Так методика дозволяє здійснювати тестування цього блоку на стадії виробництва.

Результати дисертаційної роботи Савочкіна Дмитра Олександровича впроваджені в інженерному департаменті LEADS Inc. (Канада, Торонто) і в конструкторському бюро «Радіозв'язок» ТОВ «Телекарт-Прилад». Крім того результати дисертаційної роботи використані в науково-дослідних роботах Севастопольського національного технічного університету, в лекційному курсі з дисципліни «Системи радіочастотної ідентифікації» і в лабораторному практикумі з дисципліни «Основи об'єктно-орієнтованого програмування». Впровадження результатів досліджень Савочкіна Дмитра Олександровича підтверджується відповідними актами.

## **Апробація та публікація результатів дисертаційної роботи, повнота їх викладу**

Основний зміст дисертації Савочкіна Дмитра Олександровича викладено у 5 статтях, опублікованих у періодичних виданнях, що входять в спеціалізовані переліки МОН України, ВАК Білорусі та наукометричної бази Scopus, в 4 патентах України, а також у 21 статті та тезах доповідей на конференціях. Англійською мовою опубліковані 7 робіт, також 7 робіт проіндексовані в базі Scopus.

У зазначених роботах досить повно викладено зміст дисертації, положення, висунуті на захист, результати досліджень та висновки дисертаційної роботи. Наукові положення, винесені на захист, обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях і форумах.

Таким чином, основні результати дисертації досить повно апробовані і відомі фахівцям. Повнота відображення результатів дисертаційних досліджень і вимоги до кількості публікацій відповідають встановленим вимогам.

## **Оформлення та відповідність змісту автореферату і дисертаційної роботи**

Оформлення, стиль і мова викладу, обсяг дисертації та автореферату, їхня структура відповідають встановленим вимогам. Задачі і їхні рішення викладені аргументовано. У роботі коректно використовується науково-технічна термінологія. В авторефераті наведено мету, задачі, об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну, практичну значущість отриманих результатів, відомості про апробацію результатів, кількість і характер публікацій. Вказується особистий внесок у кожну публікацію, виконану у співавторстві. Зміст автореферату відповідає змісту дисертаційної роботи.

## **Область можливого використання результатів дисертації**

Областями можливого використання результатів дисертації Савочкина Дмитра Олександровича можуть бути:

- Організації, які займаються дослідженнями в галузі радіолокації ближньої дії та обробкою радіолокаційних сигналів;
- Дослідно-конструкторські бюро, що виконують розробку та виготовлення дослідних зразків комерційних і некомерційних радіотехнічних систем для просторової локалізації об'єктів;
- Освітні установи, які здійснюють навчання студентів з дисципліни «Радіотехнічні системи».

## **Зауваження по дисертаційній роботі та автореферату**

Дисертаційна робота Савочкина Дмитра Олександровича виконана на високому рівні, однак у ній є ряд недоліків, а саме:

1. При формуванні вагових коефіцієнтів апостеріорної точності алгоритмів локалізації (див. с. 62) автор не враховує інформацію про кореляцію джерел похибок. Автор мотивує це в тому числі тим, що неочевидний найкращий варіант розрахунку кореляцій. Так, при використанні рекоменда-

цій [108] з формування вагових коефіцієнтів можуть бути отримані негативні значення, що призводить до виходу оцінок за межі обмеженої площі локалізації. Автор пропонує рішення на основі дисперсій похибок оцінювання. Відзначимо, що це рішення дає позитивний результат, однак не можна визнати оптимізацію вибору коефіцієнтів строго доведеною.

2. Оцінка ефективності запропонованих модифікацій трилатераційного методу локалізації та нового комбінованого методу локалізації проведена за допомогою комп'ютерного моделювання та підтверджена експериментами. Однак у роботі немає спроб виконати теоретичну оцінку ефективності цих методів. У роботі не проведені оцінки зниження ймовірності відхилення отриманих результатів від точного теоретичного значення при збільшенні числа експериментів. Вважаю, що дисертація виграла б від присутності теоретичних оцінок, які можна було б порівняти з результатами, отриманими в ході моделювання та експерименту.
3. В експериментальній частині дисертації в ході дослідження комбінованого методу аналізуються варіанти об'єднання трьох точкових алгоритмів (на базі методу перетинів, методу найближчих сусідів і трилатераційного методу). Однак при цьому не показано, які результати можуть бути отримані при обробці вимірювальної інформації декількох видів у разі використання одного алгоритму або об'єднання тільки двох алгоритмів.
4. У ході експериментів автором були отримані середні та максимальні значення помилок просторової локалізації. Однак функції розподілу помилок не визначені, також не приведені значення ряду квантилей.

## Висновки

Зазначені недоліки не знижують загальну високу оцінку роботи. Представлена Савочкіним Дмитром Олександровичем дисертація на тему «Розвиток методів просторової локалізації об'єктів на базі технології радіочастотної ідентифікації» є завершеною науковою працею на актуальну тему. У роботі вирішено актуальне наукове завдання, що полягає у підвищенні точності просторової локалізації об'єктів з використанням технології радіочастотної ідентифікації шляхом вдосконалення відомих і розробки нових методів просторової локалізації, а також створення моделей варіанту комбінованого методу локалізації, процесу отримання вимірювальної інформації та процесу верифікації блока квадратного перетворення. У дисертації отримані нові результати, які обґрунтовані теоретично та підтверджені чисельними експериментами і натурними дослідженнями.



Автореферат відповідає змісту дисертаційної роботи, результати досліджень повністю відображені в публікаціях. Їх кількість, повнота відображення результатів досліджень відповідають встановленим вимогам. За своєю тематичною спрямованістю дисертаційна робота Савочкіна Дмитра Олександровича відповідає паспорту спеціальності 05.12.17 - радіотехнічні та телевізійні системи, і відповідає встановленим вимогам до кандидатських дисертацій.

Савочкін Дмитро Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи.

Зав. відділом обробки радіосигналів  
ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України,  
докт. техн. наук, професор



А.Ф. Величко

Підпис зав. відділом ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України,  
д.т.н., проф. Величко А.Ф. ЗАВІРЯЮ

Вчений секретар ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України,  
канд. фіз.-мат. наук



И.Е. Почанина