

**УКРАЇНА****(19) UA****(11) 107886****(13) C2****(51) МПК****G01S 13/75 (2006.01)****G01S 5/04 (2006.01)**

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ**

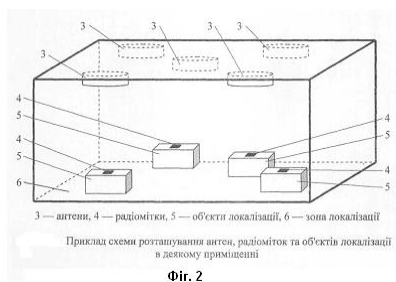
**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД**

<b>(21)</b> Номер заявки: <b>а 2013 12060</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Гімпілевич Юрій Борисович (UA), Савочкін Дмитро Олександрович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>14.10.2013</b>	
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>25.02.2015</b>	<b>(73)</b> Власник(и): <b>Гімпілевич Юрій Борисович,</b> вул. Вакуленчука, 26, кв. 3, м. Севастополь, 99053 (UA), <b>Савочкін Дмитро Олександрович,</b> вул. Боцманська, 2, кв. 32, м. Севастополь, 99040 (UA)
<b>(41)</b> Публікація відомостей про заявку: <b>10.12.2014, Бюл.№ 23</b>	
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.02.2015, Бюл.№ 4</b>	<b>(56)</b> Перелік документів, взятих до уваги експертизою: RU 2292056 C2, 20.01.2007 RU 2284542 C2, 27.09.2006 US 6661335 B1, 09.12.2003 US 2004061646 A1, 01.04.2004 FR 2907950 A1, 02.05.2008 Roos T. A probabilistic approach to WLAN user location estimation / T. Roos, P. Myllymaki, H. Tirri, P. Misikangas // International Journal of Wireless Information Networks. - 2002. - Vol. 9. - No 3. - P. 155-164.

**(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ У ДВОВИМІРНОМУ ПРОСТОРІ****(57) Реферат:**

Спосіб визначення місцеположення об'єктів в двовимірному просторі належить до радіотехніки, а саме до радіонавігації і радіолокації, та може бути використаним у системах радіочастотної ідентифікації та просторової локалізації. У способі виконується обробка вимірювальної інформації трьох видів, що включає в себе номери антен, за допомогою яких прийняті сигнали відповідей радіоміток, значення рівнів сигналів відповідей радіоміток та коефіцієнти відповідей радіоміток антенам. Під час обробки вимірювальної інформації для кожної радіомітки розраховується інтегральна умовна густина ймовірності її місцезнаходження в зоні локалізації. Після обчислення інтегральної густини ймовірності знаходиться точка її максимуму, яка вважається оцінкою місцеположення шуканої радіомітки та об'єкта локалізації, на якому ця радіомітка знаходиться. Технічним результатом є підвищення точності визначення місцеположення об'єктів.

**UA 107886 C2**



Фіг. 2

Винахід належить до області радіонавігації та радіолокації, а саме до способів визначення місцеположення об'єктів у двовимірному просторі за допомогою встановлених на них радіоміток, і передбачається до використання в системах радіочастотної ідентифікації та просторової локалізації. Винахід може застосовуватися для визначення місцеположення рухомих і нерухомих об'єктів як на відкритих просторах, так і в закритих приміщеннях.

З існуючого рівня техніки відомий спосіб зон перекриття, заснований на знаходженні перетину зон дії антен, які отримали сигнали відповідей від радіоміток [1]. При використанні цього способу точність визначення місцеположення об'єктів в першу чергу залежить від розташування антен у просторі. Основним недоліком способу зон перекриття є принципова неможливість отримати середню помилку місцевизначення менше розмірів тих областей, на які розбивається зона локалізації зонами дії антен.

Цей недолік значною мірою усувається при використанні способу трилатерації, заснованого на побудові кіл положення за вимірюваннями, проведеними за допомогою декількох антен, і знаходженні перетину цих кіл [2]. При реалізації цього способу в системах радіочастотної ідентифікації та просторової локалізації як вимірювальна інформація використовуються значення рівнів сигналів відповідей від радіоміток. Однак при локалізації радіоміток в закритих приміщеннях у поширенні сигналів виникають ефекти багатоприменовості, що вносить сильні спотворення в результати вимірювань. Недоліком способу трилатерації є його нездатність враховувати такі ефекти, що істотно знижує точність місцевизначення об'єктів в закритих приміщеннях.

Цей недолік можна подолати при використанні імовірнісного способу найближчого сусіда [3], який є найбільш близьким по технічній суті до способу визначення місцеположення об'єктів у двовимірному просторі, що заявляється. Імовірнісний спосіб найближчого сусіда заснований на попередній побудові таблиці рівнів сигналів відповідей, яка при локалізації радіоміток використовується як джерело еталонних даних для порівняння з вхідною вимірювальною інформацією. За таку інформацію використовуються значення рівнів сигналів відповідей від радіоміток. Завдяки своїй здатності враховувати реальні особливості розподілу значень рівнів сигналів відповідей в зоні локалізації, такий спосіб дозволяє підвищити точність місцевизначення об'єктів у закритих приміщеннях порівняно зі способом трилатерації. Однак імовірнісний спосіб найближчого сусіда не дає істотного виграшу в точності, оскільки при обчисленні оцінок місцезнаходження використовуються тільки значення рівнів сигналів відповідей, а вимірювальна інформація інших видів не використовується, що є основним недоліком такого способу.

Таким чином, задачею винаходу, що заявляється, є створення високоточного способу визначення місцеположення об'єктів у двовимірному просторі.

Поставлена задача вирішується наступним чином. У способі визначення місцеположення об'єктів у двовимірному просторі на основі системи радіочастотної ідентифікації та просторової локалізації, яка складається з зчитувача, набору з  $N$  антен, блока локалізації та набору радіоміток з унікальними ідентифікаторами, що розміщуються на об'єктах локалізації, розташованих в зоні локалізації, який полягає в тому, що послідовно виконують попередній та робочий етапи, причому під час попереднього етапу зону локалізації ділять на деяке число осередків, після чого по черзі в кожен з цих осередків поміщають зразкову радіомітку, вимірюють деяке число раз  $K$  рівні сигналів відповідей зразкової радіомітки, посланих нею у відповідь на запитальні сигнали кожної з  $N$  антен, і зберігають отримані значення рівнів сигналів відповідей у таблиці рівнів сигналів відповідей, під час робочого етапу деяке число раз виконують процеси комунікації зчитувача за допомогою кожної з антен із радіомітками, в результаті чого для кожної радіомітки, що відповіла зчитувачу, формується вектор  $S$  усереднених рівнів сигналів відповідей радіомітки, прийнятих за допомогою антен, після чого для кожної радіомітки, що відповіла зчитувачу, розраховують умовну густину ймовірності

$P(x,y|S)$  місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що за допомогою антен від даної радіомітки отримані сигнали відповідей з усередненими рівнями  $S$ , як добуток  $N$  функцій  $P(x,y|S_n)$ , що є умовними густинами ймовірності місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що за допомогою  $n$ -ї антени від даної радіомітки отримані сигнали відповідей з усередненим рівнем  $S_n$ , причому функція  $P(x,y|S_n)$  визначається функцією правдоподібності  $P(S_n|x,y)$  отримання усередненого рівня  $S_n$  в результаті прийому за допомогою  $n$ -ї антени сигналів відповідей від радіомітки в точці  $(x,y)$  зони локалізації, яка

розраховується як усереднена сума  $K$  одновимірних гаусових функцій змінної  $S_n$  у кожній  $k$ -ї з яких математичне сподівання визначається рівнем сигналу відповіді зразкової радіомітки, узятим з таблиці рівнів сигналів відповідей, прийнятим за допомогою  $n$ -ї антени в осередку

зони локалізації з координатами  $(x, y)$  при  $k$ -му номері вимірювання в ході виконання попереднього етапу, згідно з винаходом, під час робочого етапу для кожної радіомітки, що відповіла зчитувачу, додатково формується множина  $A$  номерів антен, за допомогою яких хоча б один раз були прийняті сигнали відповідей від радіомітки, та вектор  $R$  коефіцієнтів відповідей радіомітки антенам, після чого для кожної радіомітки, що відповіла зчитувачу, розраховують

умовну густину ймовірності  $P(x, y|A)$  місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що сигнали відповідей від даної радіомітки прийняті антенами з номерами  $A$ , яка задається у вигляді  $Z_1$  для точок, що належать результуючій зоні радіомітки,  $Z_2$  для точок, що належать об'єднанню зон дії антен із номерами  $A$  і не належать результуючій зоні радіомітки,  $Z_3$  для точок, що не належать об'єднанню зон дії антен із номерами  $A$ , причому величини  $Z_1, Z_2$  та  $Z_3$  вибирають зі співвідношення  $1) Z_1 \geq Z_2 \geq Z_3 > 0$ , а результуючу зону радіомітки визначають як результат теоретико-множинної операції різниці області перетину зон дії антен із номерами  $A$  і області об'єднання зон дії всіх інших антен, крім того для кожної радіомітки, що

відповіла зчитувачу, розраховують умовну густину ймовірності  $P(x, y|R)$  місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що коефіцієнти відповідей даної радіомітки антенам

дорівнюють  $R$ , як добуток  $N$  функцій  $P(x, y|R_n)$ , що є умовними густинами ймовірності місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що коефіцієнт відповіді даної

радіомітки  $n$ -й антені дорівнює  $R_n$ , при цьому функцію  $P(x, y|R_n)$  визначають двовимірним кільцевим розподілом, утвореним обертанням щодо осі ординат фігури, що формується одновимірним гаусовим або іншим подібним розподілом з математичним сподіванням, яке визначається коефіцієнтом відповіді  $R_n$  даної радіомітки  $n$ -й антені, та наступним зсувом

отриманої після обертання фігури до точки з координатами  $(x_n, y_n)$ , які є координатами точки розміщення  $n$ -ї антени, після чого для кожної радіомітки, що відповіла зчитувачу, знаходять деяку точку зони локалізації, в якій досягається максимум інтегральної умовної густини

ймовірності  $P(x, y|S, A, R)$  місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що за допомогою антен від даної радіомітки отримані сигнали відповідей з усередненими рівнями  $S$ , сигнали відповідей від даної радіомітки прийняті антенами з номерами  $A$ , коефіцієнти відповідей даної радіомітки антенам дорівнюють  $R$ , для розрахунку якої перемножуються або

нормуються і підсумовуються зі зважуванням функції умовної густини ймовірності  $P(x, y|S)$  місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що за допомогою антен від даної радіомітки отримані сигнали відповідей з усередненими рівнями  $S$ , умовної густини ймовірності

$P(x, y|A)$  місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що сигнали відповідей від даної радіомітки прийняті антенами з номерами  $A$ , та умовної густини ймовірності  $P(x, y|R)$  місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що коефіцієнти відповідей даної радіомітки антенам дорівнюють  $R$ , і далі знайдену точку вважають оцінкою місцеположення відповідної радіомітки та об'єкта локалізації, на якому вона знаходиться.

Технічним результатом винаходу є підвищення точності визначення місцеположення об'єктів у двовимірному просторі.

Суть винаходу пояснена кресленнями:  
На фіг. 1 представлена структурна схема типової системи радіочастотної ідентифікації та просторової локалізації.

На фіг. 2 представлений приклад схеми розташування антен, радіоміток та об'єктів локалізації в деякому приміщенні.

На фіг. 3 представлений приклад схеми розташування п'яти антен та відповідних зон дії у формі кругів в зоні локалізації.

На фіг. 4 представлений приклад таблиці рівнів сигналів відповідей.

На фіг. 5 представлений приклад графіка функції  $\bar{P}(x,y|S)$ .

На фіг. 6 представлений приклад графіка функції  $\bar{P}(x,y|A)$ .

На фіг. 7 представлений приклад графіка функції  $\bar{P}(x,y|R)$ .

На фіг. 8 представлений приклад графіка нормованої функції  $\bar{P}(x,y|S,A,R)$ , розрахованої  
5 шляхом зваженого підсумовування нормованих функцій  $\bar{P}(x,y|S)$ ,  $\bar{P}(x,y|A)$  та  $\bar{P}(x,y|R)$ .

На фіг. 9 представлений приклад графіка нормованої функції  $\bar{P}(x,y|S,A,R)$ , розрахованої  
шляхом множення функцій  $P(x,y|S)$ ,  $P(x,y|A)$  та  $P(x,y|R)$ .

На фіг. 10 представлені фотографії частини експериментальної установки системи  
радіочастотної ідентифікації та просторової локалізації.

10 На фіг. 11 представлена коробчата діаграма розподілу помилки визначення  
місцезнаходження радіоміток.

Спосіб визначення місцеположення об'єктів у двовимірному просторі, що заявляється,  
передбачається до використання в системах радіочастотної ідентифікації та просторової  
15 локалізації. На фіг. 1 представлена структурна схема типової системи радіочастотної  
ідентифікації та просторової локалізації. Така система складається з блока локалізації 1,  
зчитувача 2, набору антен 3 та набору радіоміток 4 з унікальними ідентифікаторами.

На фіг. 2 представлений приклад схеми розташування антен 3 та об'єктів локалізації 5, на  
яких розміщені радіомітки 4, в деякому приміщенні. Видно, що об'єкти розташовуються в зоні  
20 локалізації 6, а антени розташовані в двовимірному просторі, який є паралельним зоні  
локалізації.

При цьому для кожної з антен вводиться поняття зони дії. Зона дії  $C_i$  деякої  $i$ -ї антени є  
областю простору, при розташуванні в якій радіоміток, їх сигнали відповідей можуть бути  
прийняті за допомогою  $i$ -ї антени, а при розташуванні зовні - не можуть. Зазвичай для слабо  
спрямованих антен форми їх зон дії в площині зони локалізації апроксимуються колами. На фіг.  
25 3 представлений приклад схеми розташування п'яти антен та відповідних зон дії у формі кругів  
в зоні локалізації.

Суть способу визначення місцеположення об'єктів у двовимірному просторі, що  
заявляється, полягає в наступному. Виконується два етапи: попередній, під час якого  
проводиться побудова таблиці рівнів сигналів відповідей, та робочий, під час якого формуються  
30 оцінки місцеположення радіоміток та об'єктів, на яких вони розташовані.

Під час проведення попереднього етапу зону локалізації ділять на деяке число осередків,  
після чого по черзі в кожен з цих осередків з координатами  $(x,y)$  поміщають зразкову  
радіомітку, вимірюють деяке число  $K$  раз рівні сигналів відповідей зразкової радіомітки,  
посланих нею у відповідь на запитальні сигнали кожної  $n$ -ї з антен, і зберігають виміряні рівні  
35 сигналів відповідей зразкової радіомітки в таблиці.

При цьому таблиця рівнів сигналів відповідей може формуватися як таблиця таблиць,  
причому рядки зовнішньої таблиці відповідають координаті  $y$  в зоні локалізації, стовпці  
зовнішньої таблиці відповідають координаті  $x$  в зоні локалізації, рядки внутрішніх таблиць  
відповідають номеру  $n$  антени, а стовпці внутрішніх таблиць відповідають номеру  $k$  виміру. У  
40 комірки внутрішніх таблиць поміщають значення рівнів сигналів відповідей зразкової радіомітки,  
отриманих за допомогою  $n$ -ї антени при розміщенні зразкової радіомітки в осередку зони  
локалізації з координатами  $(x,y)$  при  $k$ -му вимірі.

Для ілюстрації структури таблиці рівнів сигналів відповідей наведено приклад її завдання в  
математичному пакеті Mathcad для випадку виконання попереднього етапу в зоні локалізації,  
45 поділеної на 49 осередків, при числі антен  $N=5$  і числі вимірювань в кожному осередку  $K=2$   
(фіг. 4). При цьому рівні сигналів відповідей виражалися в дБм, відсутності відповідей  
замінялися величиною -100 дБм, а для спрощення запису знак мінуса опускався.

Після виконання попереднього етапу проводять робочий етап. Для цього блоком локалізації  
системи радіочастотної ідентифікації та просторової локалізації приймається запит користувача  
50 про початок робочого етапу і посилається команда пошуку радіоміток зчитувачу. За цією  
командою зчитувач виконує по чергову відправку запитальних сигналів за допомогою кожної з  
антен. Радіомітки у разі успішного прийому запитального сигналу від деякої антени виконують

відправлення сигналів відповідей. Зчитувач приймає сигнали відповідей від радіоміток, причому прийом кожного сигналу відповіді здійснюється за допомогою тієї антени, за допомогою якої виконувалася відправка запитального сигналу, що викликав відповідь радіомітки.

Надалі для кожної радіомітки, сигнали відповідей від якої отримані хоча б однією антеною, формується вимірювальна інформація, яка включає в себе вектор  $S$  усереднених рівнів сигналів відповідей радіомітки, прийнятих за допомогою антен, множину  $A$  номерів антен, за допомогою яких хоча б один раз прийняті сигнали відповідей від радіомітки, та вектор  $R$  коефіцієнтів відповідей радіомітки антенам. При цьому коефіцієнт відповіді деякої радіомітки деякої антени можна визначати як відношення числа прийнятих сигналів відповідей від даної радіомітки за допомогою даної антени до числа посланих даною антеною запитальних сигналів.

Сформована для кожної радіомітки, що відповіла зчитувачу, вимірювальна інформація використовується для оцінки її місцеположення. Така оцінка проводиться наступним чином. Для шуканої радіомітки розраховується інтегральна умовна густина ймовірності  $P(x, y | S, A, R)$  місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що за допомогою антен від шуканої радіомітки отримані сигнали відповідей з усередненими рівнями  $S$ , сигнали відповідей від шуканої радіомітки прийняті антенами з номерами  $A$ , коефіцієнти відповідей шуканої радіомітки антенам дорівнюють  $R$ . Функція  $P(x, y | S, A, R)$  може визначатися як зважена сума трьох нормованих умовних густин ймовірності місцеположення радіомітки в зоні локалізації:

$$P(x, y | S, A, R) = K_S \bar{P}(x, y | S) + K_A \bar{P}(x, y | A) + K_R \bar{P}(x, y | R), \quad (1)$$

де  $K_S, K_A, K_R$  - вагові коефіцієнти, які вибираються експериментально;

$\bar{P}(x, y | S)$  - умовна густина ймовірності місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що за допомогою антен від шуканої радіомітки отримані сигнали відповідей з усередненими рівнями  $S$ .

$\bar{P}(x, y | A)$  - умовна густина ймовірності місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що сигнали відповідей від шуканої радіомітки прийняті антенами з номерами  $A$ ,

$\bar{P}(x, y | R)$  - умовна густина ймовірності місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що коефіцієнти відповідей шуканої радіомітки антенам дорівнюють  $R$ ;

$\bar{P}(x, y | S)$ ,  $\bar{P}(x, y | A)$  та  $\bar{P}(x, y | R)$  - нормовані функції  $P(x, y | S)$ ,  $P(x, y | A)$ ,  $P(x, y | R)$ , відповідно.

Також функція  $P(x, y | S, A, R)$  може визначатися як добуток функцій  $P(x, y | S)$ ,  $P(x, y | A)$  та  $P(x, y | R)$ :

$$P(x, y | S, A, R) = P(x, y | S) P(x, y | A) P(x, y | R). \quad (2)$$

Після обчислення функції  $P(x, y | S, A, R)$  знаходиться точка її максимуму, яка вважається оцінкою місцеположення  $(\hat{x}, \hat{y})$  шуканої радіомітки та об'єкта локалізації, на якому ця радіомітка знаходиться:

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \operatorname{argmax}_{x, y} P(x, y | S, A, R). \quad (3)$$

Функція  $P(x, y | S)$  для шуканої радіомітки розраховується як добуток  $N$  умовних густин ймовірності  $P(x, y | S_n)$  місцеположення радіомітки в зоні локалізації за умови того, що за допомогою  $n$ -ї антени від даної радіомітки отримані сигнали відповідей з усередненим рівнем  $S_n$ :

$$P(x, y | S) = \prod_{n=1}^N P(x, y | S_n). \quad (4)$$

Функція  $P(x, y | S_n)$  визначається функцією правдоподібності  $P(S_n | x, y)$  отримання усередненого рівня  $S_n$  в результаті прийому сигналів відповідей від радіомітки за допомогою

$n$ -ї антени в точці  $(x, y)$  зони локалізації. У найпростішому випадку можна прирівняти  $P(x, y | S_n)$  до  $P(S_n | x, y)$ :

$$P(x, y | S_n) = P(S_n | x, y). \quad (5)$$

Функція  $P(S_n | x, y)$  визначається як усереднена сума  $K$  одновимірних гаусових функцій:

$$P(S_n | x, y) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \frac{1}{\sigma_S \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{(S_n - \text{TABLE}_{x,y,n,k})^2}{2\sigma_S^2} \right], \quad (6)$$

де  $\sigma_S$  - середньоквадратичне відхилення, величина якого вибирається експериментально;

$\text{TABLE}_{x,y,n,k}$  - рівень сигналу відповіді зразкової радіомітки з таблиці рівнів сигналів відповідей, прийнятого за допомогою  $n$ -ї антени в осередку зони локалізації з координатами  $(x, y)$  при  $k$ -му номері вимірювання.

10 Якщо в точці  $(x, y)$  зони локалізації не проводилися вимірювання рівнів сигналів відповідей зразкової радіомітки під час проведення попереднього етапу, то відповідна величина  $\text{TABLE}_{x,y,n,k}$  може бути отримана за допомогою апроксимації величин з сусідніх комірок таблиці.

У відповідності зі схемою розміщення п'яти антен, зображеною на фіг. 3, на фіг. 5 представлений приклад графіка функції  $\bar{P}(x, y | S)$  для деякої радіомітки. При цьому функція розраховувалася у припущенні того, що сигнали відповідей від цієї радіомітки прийняті антенами з номерами  $A = \{1, 3\}$ , використовувалася таблиця рівнів сигналів відповідей з фіг. 4, вектор усереднених рівнів сигналів відповідей від радіомітки задавався як  $S = (-68, -100, -65, -100, -100)$  дБм, а величина середньоквадратичного відхилення вибиралася рівною  $\sigma_S = 4$  дБм.

20 У ході обчислення функції  $P(x, y | A)$  для шуканої радіомітки розраховуються області перетину і об'єднання зон дії антен. При цьому вираз для обчислення функції  $P(x, y | A)$  можна представити таким чином:

$$P(x, y | A) = \begin{cases} Z_1 \text{ якщо } (x, y) \in R_A; \\ Z_2 \text{ якщо } (x, y) \notin R_A \wedge (x, y) \in \bigcup_{i \in A} C_i; \\ Z_3 \text{ якщо } (x, y) \notin \bigcup_{i \in A} C_i, \end{cases} \quad (7)$$

25 де  $Z_1, Z_2, Z_3$  - деякі константи, що задаються до запуску робочого етапу, при цьому має виконуватися співвідношення  $1) Z_1 \geq Z_2 \geq Z_3 > 0$ ;

$R_A$  - результуюча зона радіомітки, сигнали відповідей від якої прийняті антенами з номерами  $A$ , що визначається як результат теоретико-множинної операції різниці області перетину зон дії антен із номерами  $A$  та області об'єднання зон дії всіх інших антен:

$$R_A = \bigcap_{i \in A} C_i \setminus \bigcup_{j \in A_a \setminus A} C_j, \quad (8)$$

30 де  $A_a$  - множина номерів всіх антен.

У відповідності зі схемою розміщення п'яти антен, зображених разом із зонами дії на фіг. 3, на фіг. 6 представлений приклад графіка функції  $\bar{P}(x, y | A)$  для розглянутої раніше радіомітки. При цьому функція розраховувалася у припущенні того, що сигнали відповідей від цієї радіомітки прийняті антенами з номерами  $A = \{1, 3\}$  для випадку  $Z_1 = 0,8, Z_2 = 0,3, Z_3 = 0,1$ .

Функція  $P(x, y|R)$  для шуканої радіомітки розраховується як добуток  $N$  умовних густин ймовірності  $P(x, y|R_n)$  місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що коефіцієнт відповіді даної радіомітки  $n$ -й антені дорівнює  $R_n$ :

$$P(x, y|R) = \prod_{n=1}^N P(x, y|R_n) \quad (9)$$

- 5 При цьому функція  $P(x, y|R_n)$  може визначатися двовимірним кільцевим розподілом, який утворюється обертанням фігури, що визначається одновимірним гаусовим або іншим подібним розподілом, щодо осі ординат, наприклад:

$$P(x, y|R_n) = \frac{1}{\sigma_R \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{\left[ \sqrt{(x_n - x)^2 + (y_n - y)^2} - d(R_n) \right]^2}{2\sigma_R^2} \right\}, \quad (10)$$

де  $\sigma_R$  - середньоквадратичне відхилення, величина якого вибирається експериментально;

- 10  $(x_n, y_n)$  - координати  $n$ -ї антени,

$d(R_n)$  - залежність проекції відстані між  $n$ -ю антеною і шуканою радіоміткою на площину зони локалізації від коефіцієнта відповіді  $R_n$  шуканої радіомітки  $n$ -й антені.

Функція  $d(R_n)$  зазвичай виражається зворотно пропорційною залежністю.

У відповідності зі схемою розміщення п'яти антен, зображеною на фіг. 3, на фіг. 7

- 15 представлений приклад графіка функції  $\bar{P}(x, y|R)$  для розглянутої раніше радіомітки. При цьому функція розраховувалася у припущенні того, що вектор коефіцієнтів відповідей цієї радіомітки антенам задано як  $R = (0,8, 0, 0,9, 0, 0)$ , а величина середньоквадратичного відхилення дорівнює  $\sigma_R = 2$ .

Після розрахунку функцій  $P(x, y|S)$ ,  $P(x, y|A)$  та  $P(x, y|R)$ , нормовані графіки яких

- 20 представлені на фіг. 5, фіг. 6 та фіг. 7, відповідно, можна обчислити функцію  $P(x, y|S, A, R)$  у відповідності зі схемою розміщення п'яти антен, зображеною на фіг. 3. На фіг. 8 та фіг. 9 представлені графіки цієї функції для розглянутої раніше радіомітки при розрахунку за виразами (1) і (2), відповідно. При цьому для наочності виконано нормування функції  $P(x, y|S, A, R)$ , а для проведення обчислень за виразом (1) використовувалися значення
- 25  $K_S = 0,3, K_A = 0,4$  та  $K_R = 0,3$ . По фіг. 8 та фіг. 9 видно, що в обох випадках завдання функції  $P(x, y|S, A, R)$  її максимум формується приблизно в одній і тій же точці. Отже, для розрахунку функції можуть використовуватися обидва вирази.

- 30 Підвищення точності локалізації для способу визначення місцеположення об'єктів у двовимірному просторі, що заявляється, забезпечується внаслідок того, що при локалізації кожної радіомітки використовується вимірювальна інформація трьох видів, а також застосовуються ефективні підходи до обробки цієї інформації.

- Для експериментальної перевірки досягнення технічного результату винаходу було проведено дослідження ефективності розробленого способу на основі виготовленої системи радіочастотної ідентифікації та просторової локалізації, що складалась зі зчитувача Мерсигуве
- 35 компанії ThingMagic, 16 антен лінійної поляризації, набору із 144 радіоміток ALN-9654 компанії Alien Technology та блока локалізації у вигляді комп'ютера. Дослідження проводилося в закритому приміщенні розміром 5 м x 5 м. Фотографії частини експериментальної установки представлені на фіг. 10, при цьому на них видно пластини з розміщеними радіомітками 4 та антени 3, встановлені на кріпленнях під стелею приміщення на висоті 2,6 м.

- 40 При дослідженні також розглядався варіант використання відомих з рівня техніки способів визначення місцеположення об'єктів у двовимірному просторі: способу зон перекриття; способу трилатерації; імовірного способу найближчого сусіда. У ході експерименту для кожної з радіоміток кожним із способів виконувалася оцінка її місцеположення в зоні локалізації, після



чого розраховувалася помилка місцевизначення як відстань між реальним становищем радіомітки та отриманою оцінкою.

Після цього була побудована коробчаста діаграма (опис діаграм такого типу представлено в [4]), на якій для кожного із способів визначення місцеположення об'єктів у двовимірному просторі представлені основні параметри розподілу помилки місцевизначення радіоміток (фіг. 11). Як параметри представлено 10-і та 90-і процентилі (короткі вертикальні лінії зовні прямокутників), перші і треті квартилі (межі прямокутників), медіани (жирні лінії усередині прямокутників), середні значення (жирні штрихові лінії усередині прямокутників), а також викиди, які не потрапляють в інтервали між 10-ми та 90-ми процентилями (малі кола).

При цьому досліджувані способи зазначені на діаграмі наступним чином: спосіб зон перекриття як спосіб 1; спосіб трилатерації як спосіб 2; імовірнісний спосіб найближчого сусіда як спосіб 3; спосіб, що заявляється, при розрахунку функції  $P(x,y|S,A,R)$  шляхом зваженого підсумовування нормованих функцій  $\bar{P}(x,y|S)$ ,  $\bar{P}(x,y|A)$  та  $\bar{P}(x,y|R)$  як спосіб 4; спосіб, що заявляється, при розрахунку функції  $P(x,y|S,A,R)$  шляхом множення функцій  $P(x,y|S)$ ,  $P(x,y|A)$  та  $P(x,y|R)$  як спосіб 5.

Середнє значення помилки місцевизначення радіоміток отримано наступним:

- 40,5 см для способу зон перекриття,
- 43,9 см для способу трилатерації;
- 41,9 см для імовірнісного способу найближчого сусіда;

- 36,6 см для способу, що заявляється, при розрахунку функції  $P(x,y|S,A,R)$ , шляхом зваженого підсумовування нормованих функцій  $\bar{P}(x,y|S)$ ,  $\bar{P}(x,y|A)$  та  $\bar{P}(x,y|R)$ ;

- 37,4 см для способу, що заявляється, при розрахунку функції  $P(x,y|S,A,R)$  шляхом множення функцій  $P(x,y|S)$ ,  $P(x,y|A)$  та  $P(x,y|R)$ .

Тобто найменша помилка місцевизначення радіоміток отримана для випадків використання способу, що заявляється. Виходячи з представлених результатів, можна зробити висновок, що розроблений спосіб визначення місцеположення об'єктів у двовимірному просторі дозволяє підвищити точність визначення місцеположення об'єктів, і, таким чином, технічний результат винаходу досягнутий.

Джерела інформації:

1. Валеев М.А. Городская система позиционирования, мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов на основе метода перекрывающихся зон: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.12.04 / Валеев М.А. - Казань, 2002. - 16 с.

2. Localization technologies for indoor human tracking / D. Zhang et al. // Future Information Technology (FutureTech), 2010 5th International Conference. - Busan, 2010. - P. 1-6.

3. Roos T. A probabilistic approach to WLAN user location estimation / T. Roos, P. Myllymaki, H. Tirri, P. Misikangas // International Journal of Wireless Information Networks.-2002. - Vol.9. - No 3. - P. 155-164.

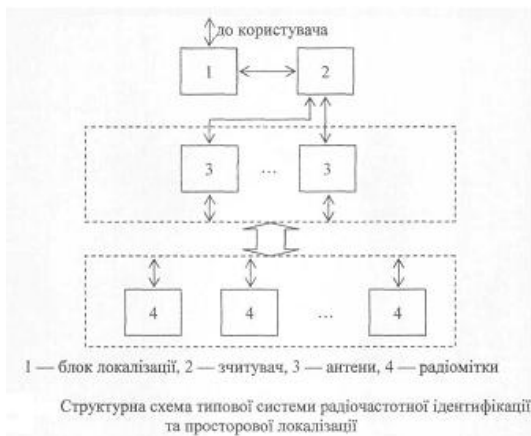
4. Ящик с усами [Електронний ресурс] / Википедия. - [http://ru.wikipedia.org/wiki/Ящик\\_с\\_усами](http://ru.wikipedia.org/wiki/Ящик_с_усами).-07.10.2013.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

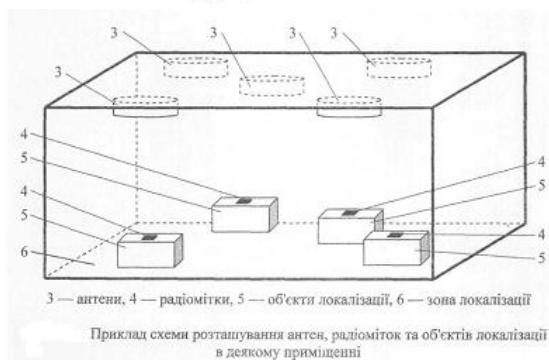
Спосіб визначення місцеположення об'єктів у двовимірному просторі на основі системи радіочастотної ідентифікації та просторової локалізації, яка складається зі зчитувача, набору з  $N$  антен, блока локалізації та набору радіоміток з унікальними ідентифікаторами, що розміщуються на об'єктах локалізації, розташованих в зоні локалізації, який полягає в тому, що послідовно виконують попередній та робочий етапи, причому під час попереднього етапу зону локалізації ділять на відповідне число осередків, після чого по черзі в кожен з цих осередків поміщають зразкову радіомітку, вимірюють  $K$  раз рівні сигналів відповідей зразкової радіомітки, посланих нею у відповідь на запитальні сигнали кожної з  $N$  антен, і зберігають отримані значення рівнів сигналів відповідей у таблиці рівнів сигналів відповідей, під час робочого етапу відповідне число раз виконують процеси комунікації зчитувача за допомогою кожної з антен із радіомітками, в результаті чого для кожної радіомітки, що відповіла зчитувачу, формується вектор  $S$  усереднених рівнів сигналів відповідей радіомітки, прийнятих за

допомогою антен, після чого для кожної радіомітки, що відповіла зчитувачу, розраховують умовну густину ймовірності  $P(x, y|S)$  місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що за допомогою антен від даної радіомітки отримані сигнали відповідей з усередненими рівнями  $S$ , як добуток  $N$  функцій  $P(x, y|S_n)$ , що є умовними густинами ймовірності місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що за допомогою  $n$ -ї антени від даної радіомітки отримані сигнали відповідей з усередненим рівнем  $S_n$ , причому функція  $P(x, y|S_n)$  визначається функцією правдоподібності  $P(S_n|x, y)$  отримання усередненого рівня  $S_n$  в результаті прийому за допомогою  $n$ -ї антени сигналів відповідей від радіомітки в точці  $(x, y)$  зони локалізації, яка розраховується як усереднена сума  $K$  одновимірних гаусових функцій змінної  $S_n$ , у кожної  $k$ -ї з яких математичне сподівання визначається рівнем сигналу відповіді зразкової радіомітки, узятим з таблиці рівнів сигналів відповідей, прийнятим за допомогою  $n$ -ї антени в осередку зони локалізації з координатами  $(x, y)$  при  $k$ -му номері вимірювання в ході виконання попереднього етапу, який **відрізняється** тим, що під час робочого етапу для кожної радіомітки, що відповіла зчитувачу, додатково формується множина  $A$  номерів антен, за допомогою яких щонайменше один раз були прийняті сигнали відповідей від радіомітки, та вектор  $R$  коефіцієнтів відповідей радіомітки антенам, після чого для кожної радіомітки, що відповіла зчитувачу, розраховують умовну густину ймовірності  $P(x, y|A)$  місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що сигнали відповідей від даної радіомітки прийняті антенами з номерами  $A$ , яка задається у вигляді  $Z_1$  для точок, що належать результуючій зоні радіомітки,  $Z_2$  для точок, що належать об'єднанню зон дії антен із номерами  $A$  та не належать результуючій зоні радіомітки,  $Z_3$  для точок, що не належать об'єднанню зон дії антен із номерами  $A$ , причому величини  $Z_1$ ,  $Z_2$  та  $Z_3$  вибирають зі співвідношення  $1/Z_1 \geq Z_2 \geq Z_3 > 0$ , а результуючу зону радіомітки визначають як результат теоретико-множинної операції різниці області перетину зон дії антен із номерами  $A$  та області об'єднання зон дії всіх інших антен, крім того для кожної радіомітки, що відповіла зчитувачу, розраховують умовну густину ймовірності  $P(x, y|R)$  місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що коефіцієнти відповідей даної радіомітки антенам дорівнюють  $R$ , як добуток  $N$  функцій  $P(x, y|R_n)$ , що є умовними густинами ймовірності місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що коефіцієнт відповіді даної радіомітки  $n$ -й антені дорівнює  $R_n$ , при цьому функцію  $P(x, y|R_n)$  визначають двовимірним кільцевим розподілом, утвореним обертанням щодо осі ординат фігури, що формується одновимірним гаусовим або подібним розподілом з математичним сподіванням, яке визначається коефіцієнтом відповіді  $R_n$  даної радіомітки  $n$ -й антені, та наступним зсувом отриманої після обертання фігури до точки з координатами  $(x_n, y_n)$ , які є координатами точки розміщення  $n$ -ї антени, після чого для кожної радіомітки, що відповіла зчитувачу, знаходять відповідну точку зони локалізації, в якій досягається максимум інтегральної умовної густини ймовірності  $P(x, y|S, A, R)$  місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що за допомогою антен від даної радіомітки отримані сигнали відповідей з усередненими рівнями  $S$ , сигнали відповідей від даної радіомітки прийняті антенами з номерами  $A$ , коефіцієнти відповідей даної радіомітки антенам дорівнюють  $R$ , для розрахунку якої перемножуються або нормуються і підсумовуються зі зважуванням функції умовної густини ймовірності  $P(x, y|S)$  місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що за допомогою антен від даної радіомітки отримані сигнали відповідей з усередненими рівнями  $S$ , умовної густини ймовірності  $P(x, y|A)$  місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що сигнали відповідей від даної радіомітки прийняті антенами з номерами  $A$ , та умовної густини ймовірності  $P(x, y|R)$

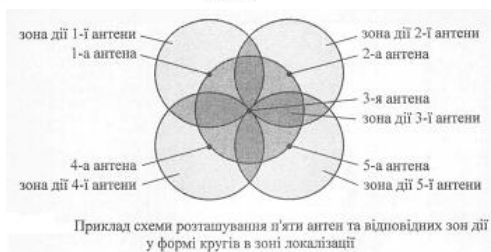
місцезнаходження радіомітки в зоні локалізації за умови того, що коефіцієнти відповідей даної радіомітки антенам дорівнюють  $R$ , і далі знайдену точку вважають оцінкою місцеположення відповідної радіомітки та об'єкта локалізації, на якому вона знаходиться.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3

TABLE →

(62 63)	(65 65)	(69 70)	(100 100)	(100 100)	(100 100)	(100 100)
100 100	100 100	100 100	100 100	71 70	66 66	64 64
100 100	67 68	66 67	70 70	70 70	71 70	100 100
100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100
100 100	100 100	100 100	70 70	70 71	70 70	100 100
(65 64)	(69 69)	(68 68)	(100 100)	(100 100)	(100 100)	(100 100)
100 100	100 100	100 100	100 100	68 69	64 65	
70 69	69 68	65 64	66 66	65 65	69 69	100 100
70 70	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100
100 100	70 70	100 100	100 100	100 100	71 71	100 100
(66 65)	(66 64)	(69 68)	70 70	(100 100)	(100 100)	(100 100)
100 100	100 100	100 100	100 100	73 72	70 69	67 67
71 70	67 67	63 63	62 62	62 63	69 68	100 100
100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100
72 72	70 71	100 100	100 100	100 100	71 71	100 100
70 71	66 67	78 68	100 100	(100 100)	(100 100)	(100 100)
100 100	100 100	100 100	100 100	71 70	71 71	
70 70	69 69	64 63	62 62	63 62	67 67	100 100
68 68	68 67	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100
(100 100)	(100 100)	100 100	73 72	67 67	66 66	69 69
(100 100)	(100 100)	100 100	100 100	74 73	(100 100)	(100 100)
100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100
100 100	69 69	67 67	64 64	66 66	67 67	70 70
65 65	65 66	71 71	100 100	100 100	100 100	100 100
(100 100)	(100 100)	100 100	73 72	69 69	64 65	63 63
(100 100)	73 72	100 100	(100 100)	(100 100)	(100 100)	(100 100)
100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100
100 100	70 70	68 68	66 66	66 66	69 69	100 100
62 63	65 65	69 69	100 100	100 100	100 100	100 100
(100 100)	100 100	100 100	100 100	66 67	64 64	62 62
(100 100)	(100 100)	100 100	(100 100)	(100 100)	(100 100)	(100 100)
100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100	100 100
100 100	100 100	100 100	72 71	68 68	74 73	100 100
65 66	67 68	70 70	100 100	100 100	100 100	100 100
(100 100)	100 100	100 100	100 100	68 68	65 66	62 62

Приклад таблиці рівнів сигналів відповідей

Fig. 4

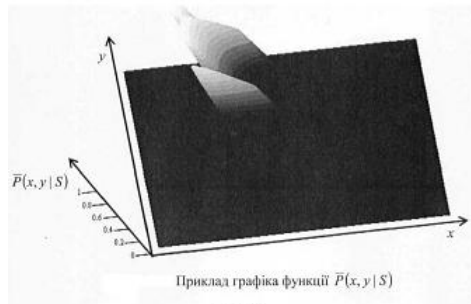


Fig. 5

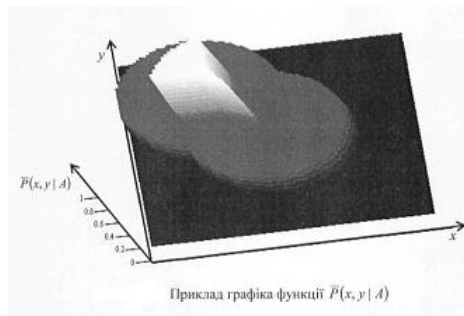
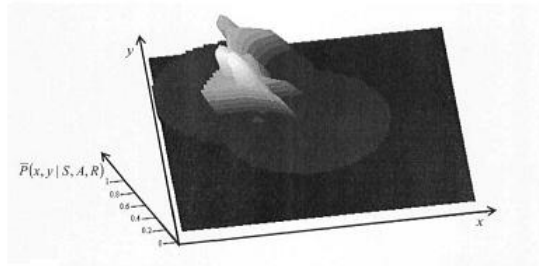


Fig. 6

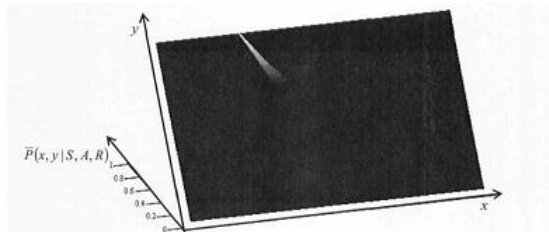


Fig. 7



Приклад графіка нормованої функції  $\bar{P}(x, y | S, A, R)$ , розрахованої шляхом зваженого підсумовування нормованих функцій  $\bar{P}(x, y | S)$ ,  $\bar{P}(x, y | A)$  та  $\bar{P}(x, y | R)$

Fig. 8



Приклад графіка нормованої функції  $\bar{P}(x, y | S, A, R)$ , розрахованої шляхом множення функцій  $P(x, y | S)$ ,  $P(x, y | A)$  та  $P(x, y | R)$

Fig. 9

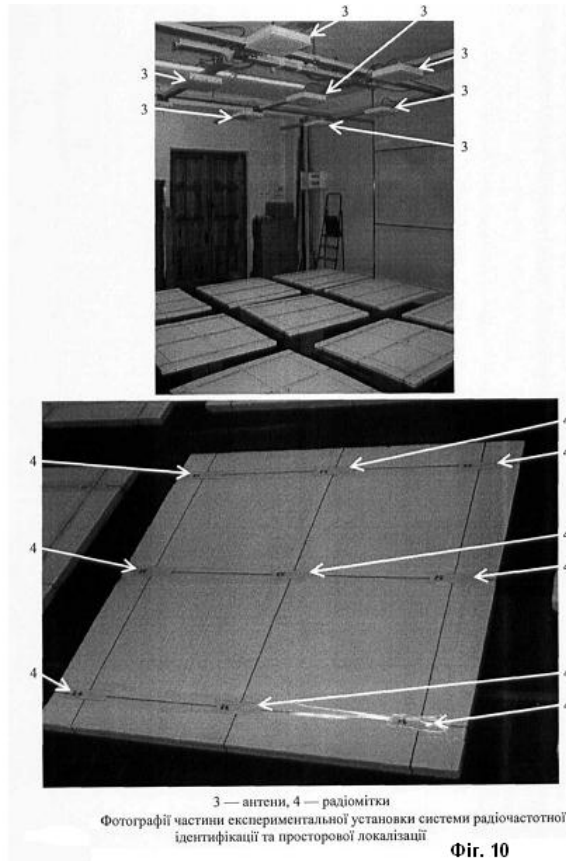
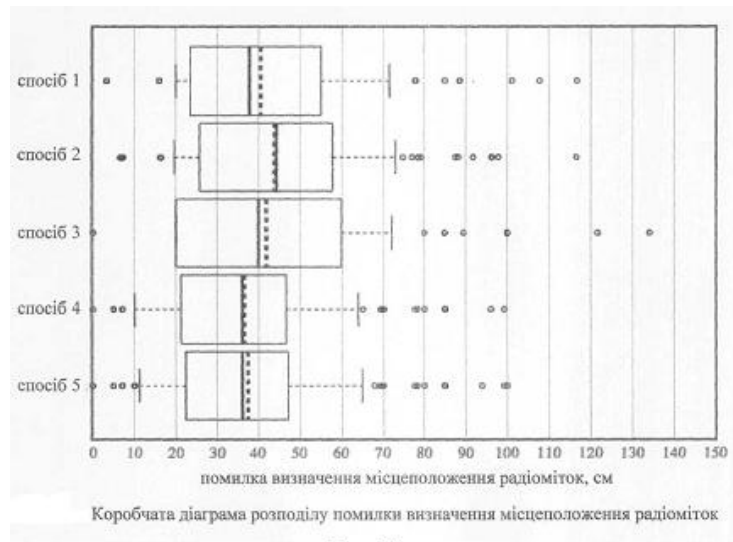


Fig. 10



Фіг. 11

Комп'ютерна верстка Л. Бурлак

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601