

УДК 004.94:621.396.99

DOI: <http://doi.org/10.20535/0203-3771372019171702>Л. М. Рижков¹, д.т.н., професор, Н. О. Пархоменко², магістр

СИСТЕМА ПОЗИЦІОНУВАННЯ КВАДРОКОПТЕРА НА ОСНОВІ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ

En

This paper provides an overview of algorithms and systems to determine the coordinates of an object (indoor positioning). Based on the analysis of existing technologies and algorithms for determining coordinates, it was concluded that most of the work in the field of positioning inside buildings is done with the use of an additional device (RFID tags) on the object of detection. In this work, a mathematical model of positioning a mobile device (quadcopter) within an enclosed space (premises) without using data from the GPS sensor was developed using one of these technologies, namely radio frequency identification (RFID). The trilateration method was used to solve the problem. Based on the developed algorithm, simulation was performed in MatLab environment. It is concluded that the proposed method is further for experimental research and, if satisfactory, the implementation of such a system in production.

Ru

Работа содержит обзор алгоритмов и систем определения координат объекта (позиционирование внутри помещений). Учитывая существующие методы позиционирования подвижных объектов, была разработана математическая модель для квадрокоптера, что движется в помещении без использования данных с датчика *GPS*, а также проведено моделирование такой системы в среде *MatLab*.

Вступ

Високий інтерес до систем позиціонування у закритих приміщеннях зумовлений багатьма чинниками, від завдань, пов'язаних із забезпеченням контролю місця розташування людей у великих будівлях [2, 9], мобільних роботів на автоматизованому виробництві, до адресної доставки реклами в електронних форматах на мобільні пристрої відвідувачів супермаркетів [4, 10].

Для деяких завдань запропоновані і отримали практичне застосування локальні системи відстеження місцеположення об'єктів, однак, у силу своєї специфіки і обмежень, такі системи часто не можуть бути застосовані для вирішення більш широкого кола завдань [5]. Ситуацію особливо ускладнюють вимоги у визначенні координат всередині будівель з точністю від десятків сантиметрів до міліметрів [7]. На даний час на ринку не іс-

¹ КПП ім. Ігоря Сікорського

² КПП ім. Ігоря Сікорського

нує універсальних, доступних і надійних рішень, що дозволяють здійснювати визначення координат рухомих об'єктів у будівлях і спорудах, із точністю порівнянної з точністю систем ГЛОНАСС або *GPS* на відкритій місцевості.

Постановка задачі

Розглянемо приміщення, де використання даних *GPS* неможливе. Для позиціонування квадрокоптера (далі *K*) в таких умовах розробимо локальну систему, де функцію супутників *GPS* візьмуть на себе датчики меншого радіусу дії. Виходячи зі сказаного, вирішимо дві основні задачі:

- розробка математичної моделі системи позиціонування *K* на основі локальних мереж;
- моделювання розробленої математичної моделі в середовищі *MatLab*.

Для розробки математичної моделі, розглянемо основні підходи та їх переваги/недоліки. Умовно їх можна поділити на три групи, в залежності від способу визначення місцезнаходження об'єкта (*K*):

- підхід, заснований на використанні триангуляції (метод *angle of arrival*);
- підхід, заснований на використанні трилатерації (метод *time of arrival*, метод *time difference of arrival*);
- підхід, заснований на вимірюванні потужності сигналу (метод *received signal strength indicator*).

Метод *angle of arrival* (*AoA*) заснований на визначенні відстані до джерела сигналу, шляхом вимірювання різниці часу прибуття сигналу між базовими станціями (БС) і об'єктом. Для цього використовуються БС, що забезпечені декількома антенами. Чим більше кількість БС, тим точніше можна визначити цю зону [7].

Серед переваг методу: простота алгоритми визначення місця розташування об'єкта, можливість роботи із використанням різних фізичних принципів, великий радіус дії.

Серед недоліків: складність антени, низька точність визначення місця розташування мобільного пристрою.

Метод *time of arrival* (*ToA*) передбачає вимірювання затримки поширення радіосигналу між мобільним пристроєм і БС. Мінімальна кількість вимірювань для визначення місця розташування об'єкта дорівнює трьом. Мобільний пристрій відправляє сигнал у точно відомий БС час. БС вимірює часовий інтервал між відправленням сигналу мобільним пристроєм і його отриманням [7].

Серед переваг методу: мале енергоспоживання, висока точність визначення місця розташування об'єкта, великий радіус дії.

Серед недоліків: необхідність синхронізації часу на всіх БС і *K*;

Метод *time difference of arrival (TDoA)* заснований на вимірюванні різниці за часом передачі сигналу від об'єкта до БС, із синхронізованими годинами і заздалегідь відомим місцем розташування. Знаючи різницю в часі отримання сигналу за допомогою математичної обробки можна отримати відстань від мобільного пристрою до базових станцій [7].

Серед переваг методу: мале енергоспоживання об'єктом, висока точність визначення місця розташування об'єкта, великий радіус дії.

Серед недоліків: необхідність синхронізації часу між усіма БС та об'єктами, складні алгоритми визначення місця розташування об'єкта.

Метод *received signal strength indicator (RSSI)* – це індикатор рівня потужності сигналу. Даний метод дозволяє визначити місце розташування пристрою, ґрунтуючись на рівні інтенсивності сигналу, отриманого БС або навпаки. Для використання цього методу застосовується перерахунок рівня потужності сигналу в відстань [7].

Серед переваг методу: мале енергоспоживання об'єктом, низька варіативність.

Серед недоліків: низька точність визначення місця розташування об'єкта, складні алгоритми визначення місця розташування об'єкта.

Зазначимо, що на основі аналізу існуючих методів перерахованих вище, було обрано *TOA* як найоптимальніший метод для подальшого моделювання математичної моделі, для приміщення, де розташовані 4 радіочастотних (*RFID*) приладів-зчитувачів, прикріплених у кутах приміщення на певній висоті. На тій самій висоті рухається із *RFID*-мітками шуканий квадрокоптер (далі *K*). Об'єкт і прилади-зчитувачі обмінюються сигналами, за якими визначаються місцеположення об'єкта (проводиться триангуляція) згідно із наступними розрахунками.

У разі наявності достатньої кількості вимірників, для визначення місця розташування *K* необхідно вирішити систему рівнянь:

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = R_1^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = R_2^2 \\ \dots \\ (x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 = R_n^2 \end{cases}$$

де (x, y) – координати мобільного пристрою; $(x_i, y_i), i = \underline{1, n}$ – координати точок доступу бездротової мережі, а n – їх кількість; R – оцінки відстані від точок доступу до мобільного пристрою.

Для обчислення відстані до *K* допустимо використовувати формулу втрат у вільному просторі для ідеальної ізотропної антени [9]:

$$\frac{P_i}{P_r} = \frac{(4\pi R)^2}{\lambda^2},$$

де P_t – потужність сигналу передавальної антени; P_r – потужність сигналу, що надходить на антену приймача; λ – довжина несучої хвилі, яка визначається виразом $\lambda = f/c$, де c – швидкість світла, а f – центральна частота несучої хвилі; R – відстань, пройдену сигналом між двома антенами.

Для інших типів антен необхідно враховувати коефіцієнт посилення, тоді рівняння для втрат потужності сигналу у вільному просторі набуде вигляду [9]:

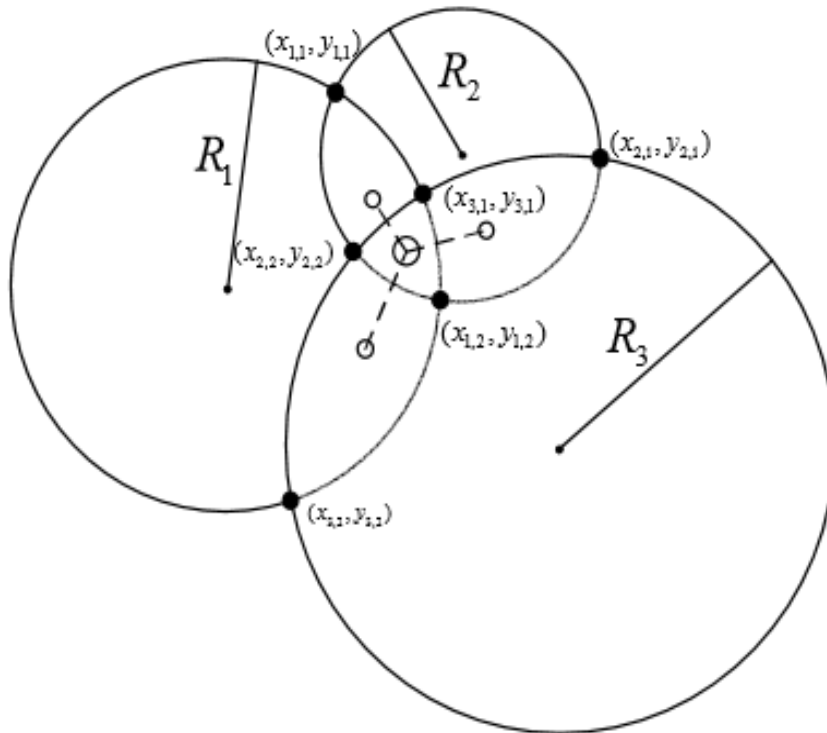


Рис. 1. Геометрична інтерпретація метода трилатерації

$$\frac{P_t}{P_r} = \frac{(4\pi R)^2}{G_t G_r \lambda^2},$$

де G_t і G_r – коефіцієнти передавальної і приймальної антен відповідно.

Вираз для шуканої точки $(\tilde{x}_{tr}, \tilde{y}_{tr})$ обчислюємого місцеположення користувача К:

$$\tilde{x}_{tr} = \frac{1}{2 \cdot N_{AP}} \cdot \sum_{i=1}^{N_{AP}} \sum_{j=1}^2 x_{i,j}, \quad \tilde{y}_{tr} = \frac{1}{2 \cdot N_{AP}} \cdot \sum_{i=1}^{N_{AP}} \sum_{j=1}^2 y_{i,j}$$

Програмне моделювання

Подальше моделювання буде проведене в середовищі *MatLab* за наступним алгоритмом рис. 2.

Як результат, ми отримуємо область, в якій буде знаходитись K . При достатній чутливості приладів–зчитувачів, можна вважати отриману область координатою K (рис. 3).

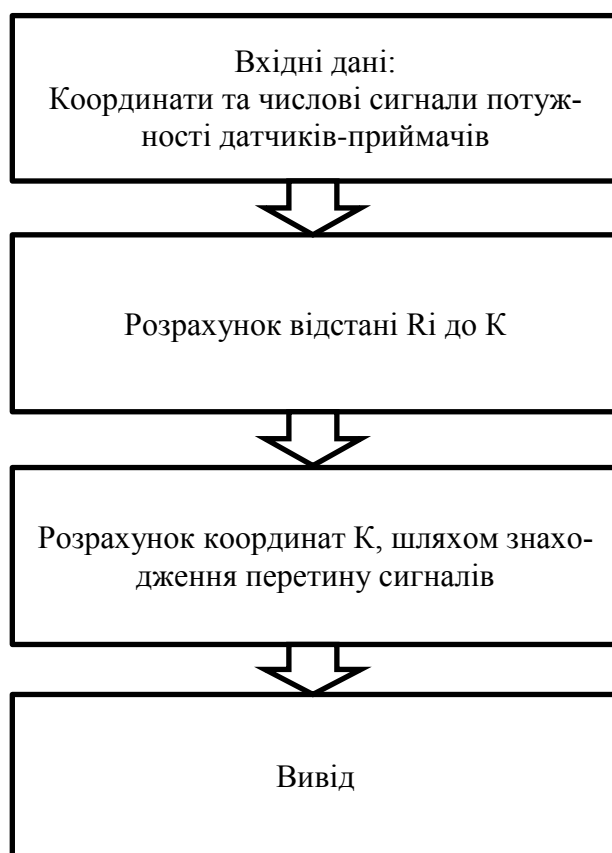


Рис. 2. Блок–схема алгоритму програми в середовищі *MatLab*

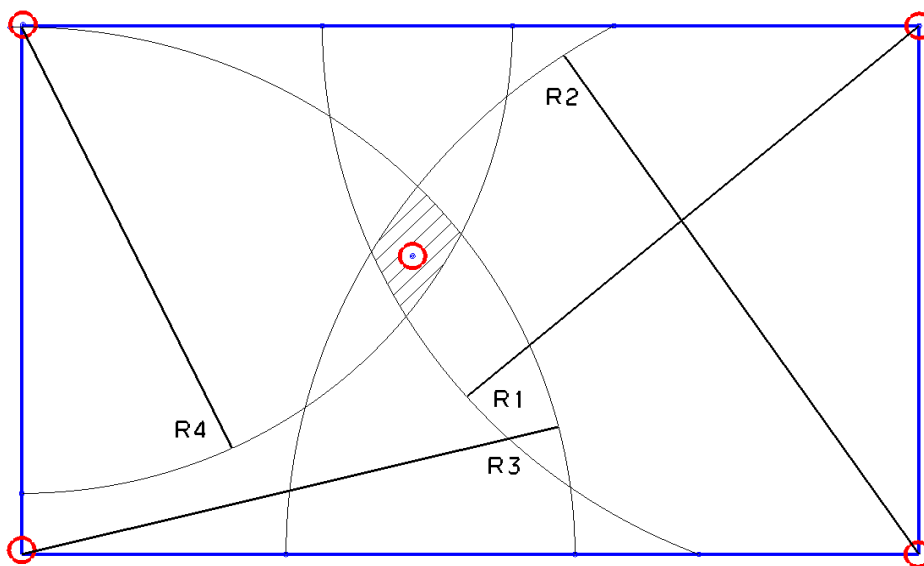


Рис. 3. Результати моделювання у *MatLab*

Висновки

Розглянувши перераховані вище технології і алгоритми визначення координат, можна зробити висновок, що основна частина робіт в області позиціонування всередині будівель зроблена із застосуванням додаткового пристрою (*RFID*-мітками) на об'єкті виявлення. Уданій роботі на основі однієї з таких технологій, а саме радіочастотної ідентифікації (*RFID*), була розроблена математична модель позиціонування мобільного пристрою (квадрокоптера) в межах закритого простору (приміщення). Також така система була промодельована в середовищі *MatLab*, що дає можливість використовувати даний метод в подальшому для експериментальних досліджень і, у разі задовільного результату, реалізації такої системи у виробництві.

Список використаної літератури

1. *Мініахметов Р. М.* Огляд алгоритмів локального позиціонування для мобільних пристроїв / Р. М. Мініахметов, А.А. Рогов, М.Л. Цимблер // Вісник ЮУрГУ. Серія «Обчислювальна математика та інформатика». Челябінськ: Видавничий центр ЮУрГУ, 2013. – Т. 2. № 2. – С. 83-96. – ISSN 2410–7034 doi: <http://dx.doi.org/10.14529/cmse130207>.
2. *Радайка С. А.* Вивчення алгоритмів локального позиціонування в просторі, використовуючи Wi-Fi і LBS дані стільникових операторів / С. А. Радайка // Молодий вчений. – Казань: Видавництво Молодий вчений, 2016. – № 14. – С. 89–92. – ISSN 2072-0297.
3. *Frank van Diggelen.* Down and Deep. [Електронний ресурс] // GPS World, December 1, 2010. URL: (<https://gpsworld.com>).
4. *Nasrullah Pirzadaa, M Yunus Nayanb, Fazli Subhanc M Fadzil Hassand, Muhammad Amir Khane.* Device-free Localization Technique for Indoor Detection and Tracking of Human Body // International Conference on Innovation, Management and Technology Research. Malaysia, 22–23 September, 2013. – Published by Elsevier Ltd, 2014. – С. 422 – 429. doi: 10.1016 / j.sbspro.2014.03.696.
5. *Haeyong KANG, JungSuk Choi.* Sound Source Localization using Window Function Filtering and Weighted Cumulative Histogram Method. // 14th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing. – Bucharest, IFAC Proceedings Volumes, 2012. – Published by Elsevier Ltd, 2014 року – С. 1808–1813. doi: 10.3182 / 20120523–3–RO–2023.00253.
6. *ZhenghuanWanga, HengLiua, XiaoliMab, JianpingAna, ShengxinXu.* Enhancing indoor radio tomographic imaging based oninterference link elimination // Digital SignalProcessing44 (2015) – Elsevier Inc, 2015. – С. 26–36. – ISSN 1051-2004.

7. *Xiyuan Chen, Yuan Xu, Qinghua Li, Jian Tang, Chong Shen.* Improving ultrasonic-based seamless navigation for indoor mobile robots utilizing EKF and LSSVM // Measurement 92 (2016). – Elsevier Ltd, 216. – С. 243–251. – ISSN 0263-2241
8. *Холл Стівен, Джефріз Ендрю, Бивен Девід, Бейнс Стівен.* Визначення місця розташування користувачів або терміналів для управління мережею, наприклад, мобільне управління // Патент РФ 2527483 URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2527483>
9. *Bruce L. Davis, Tony F. Rodriguez, Shankar Thagadur Shivappa.* Mobile Device Indoor Navigation // Patent US20120214515 A1.
10. *Геннадій Баркович, Руслан Будник, Володимир Свириденко.* SPIRIT Navigation: Multi-Technology Indoor Localization // Microsoft Indoor Localization Competition-Seattle, 2015. <https://www.microsoft.com/enus/research/wpcontent/uploads/2014/10/>