

**О. В. Кузьмін**

Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ЛОКАЛІЗАЦІЇ В СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ МЕТОДУ МУЛЬТИЛАТЕРАЦІЇ

Запропоновано для задачі локалізації сенсорних мереж використати метод мультилатерації. Ця задача може бути вирішена, якщо кожний нод буде мати у своєму складі GPS приймач. Але такі ноди дорожчі і для мереж різного призначення можна використовувати ноди без наявності GPS. Для таких мереж застосовуються так звані якірні ноди, координати яких відомі. Вони складають деякий відсоток від загальної кількості нодів. Вони використовуються для знаходження координат решти нодів, які входять до складу мережі. Якщо застосовуються тільки якірні ноди для задачі позиціонування, то такі мережі називаються некооперативні мережі. Якщо в позиціонуванні нодів приймають участь всі ноди, то такі мережі називаються кооперативними. Опимано методи розв'язку задачі локалізації сенсорних мереж, такі як: метод трилатерації, мультилатерації. Проаналізовано методи визначення відстаней між нодами сенсорної мережі, а саме: TDOA, DOA, TOA, RTT, RSSI. Розроблено алгоритм моделювання процесу локалізації сенсорних мереж методом мультилатерації. Побудовано імітаційну модель для дослідження впливу метода мультилатерації на точність визначення координат нодів. Проведені експерименти з розробленою моделлю і отримані результати цих досліджень. Кількість якірних нодів змінювалася і обчислювалася при цьому похибка позиціонування. Для більшої статистичної значимості експерименти повторювалися певну кількість разів при зміні початкового значення генератора рівномірно розподілених випадкових чисел і підраховувалося при цьому середнє значення похибки локалізації, а також мінімальне та максимальне значення. Отримані статистичні дані відображені у вигляді відповідних графіків.

Ключові слова: GPS, сенсорна мережа, нод, мультилатерація.

Вступ / Introduction

Сенсорні мережі набули широкого використання в різних галузях народного господарства. Вони є складовими елементами IoT, IWSN, систем моніторингу навколишнього середовища, різних SMART систем управління містами, будинками тощо [1]. Вони є самоорганізуючими системами. Це означає, що при їх розгортанні самі елементи (ноди), спілкуючись один із одним, визначають як своє місцезнаходження, так і структуру взаємодії між собою при передачі інформації на вузол збирання і оброблення інформації. Розглядають такі типи алгоритмів, які можуть бути реалізовані у WSN [2]:

- Централізовані – коли алгоритми виконуються на центральному вузлі. Такі алгоритми не дуже поширені, оскільки витрати на отримання інформації про мережу загалом достатньо великі.
- Розподілені алгоритми – це алгоритми, які виконуються на різних нодах і використовують техніку передачі повідомлень.
- Локалізовані алгоритми – це алгоритми, які виконуються на окремих нодах і використовують локальну інформацію про мережу (в околицях нода), а не глобальну інформацію про мережу.

Серед базових сервісів, які можуть бути використані різними алгоритмами, можна виділити:

- Локалізація. Знаходження географічного положення нодів WSN у випадку випадкового їх розміщення.

- Розміщення нодів. Детерміністичне розміщення нодів із метою забезпечення покриття відповідного простору при мінімальних витратах на електроенергію [3–5].
- Контроль щільності. Основна мета розміщення нодів полягає у економії енергії за допомогою алгоритму керування щільністю [6–9].

Одним із основних сервісів, який може використовуватися різними алгоритмами, є знаходження координат розташування нодів. Ця задача називається задачею локалізації сенсорних мереж. Розрізняють кооперативні і некооперативні сенсорні мережі. В кооперативних сенсорних мережах при вирішенні задачі локалізації приймають участь всі ноди сенсорної мережі. В некооперативних сенсорних мережах при вирішенні задачі локалізації приймають участь тільки, так звані, якірні ноди, координати яких відомі. Постає питання, який процент якірних нодів серед всіх нодів повинен бути, щоби визначити координати всіх нодів, і скільки якірних нодів необхідно використовувати при визначенні координат інших нодів, щоб досягти бажаної точності.

Об'єкт дослідження – сенсорні мережі.

Предмет дослідження – метод мультилатерації для визначення координат нодів.

Мета роботи – дослідити вплив кількості якірних нодів на точність визначення координат нодів.

Для досягнення зазначеної мети визначені такі основні завдання дослідження:

- провести аналіз робіт із застосування методів локалізації в сенсорних мережах;

- побудувати імітаційну модель, яка використовує метод мультилатерації для визначення координат нодів;
- провести експерименти з побудованою моделлю, щоб визначити вплив на точність визначення координат нодів кількості якірних нодів, які приймають участь у визначенні координат;
- провести аналіз отриманих результатів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Реалізація задачі локалізації може здійснюватися централізовано, або розподілено. При централізованій локалізації всі обчислення відбуваються у кореновому ноді, який є центром збирання інформації [2]. Такий спосіб не потребує обчислювальних потужностей у самих нодах і здешевлює вартість мережі та її розгортання. При розподіленій локалізації кожен нод обчислює свої координати [10–13].

В роботі [15] представлений алгоритм мультилатераційної локалізації в WSN. Для визначення відстані між сенсорними вузлами авторами використовувався метод вимірювання RSSI. Розроблений алгоритм моделюється, а потім реалізується в реальній сенсорній логістичній мережі для транспортування їжі. Результати тестування показали, що алгоритм мультилатерації із RSSI відповідає вимогам логістичних програм.

У роботі [16] автори пропонують для реалізації задачі локалізації сенсорних мереж алгоритм DV-Нор. Запропонований алгоритм використовує вагові коефіцієнти, які враховують вплив різних факторів, таких як кількість якірних нодів, радіус зв'язку та найближчий якірний нод для визначення розташування невідомого вузла. Результати моделювання та теоретичного аналізу підтверджують, що запропонований алгоритм перевершує традиційний алгоритм DV-Нор із боку помилки локалізації та потужності.

В роботі [17] проводиться оцінювання чотирьох найпоширеніших методів локалізації в сенсорних мережах, а саме Trilateration, Centroid, MinMax та Multilateration. Розглядається математичний опис досліджуваних методів із метою оцінки їх складності, а також практична реалізація на інструменті моделювання Cooja. Оцінюються досліджувані методи з боку кількості розгорнутих сенсорних нодів та їх ступені мобільності з метою виявити найбільш прийнятний метод локалізації для конкретного випадку розгортання. Також надаються пропозиції щодо покращення найбільш відповідного методу локалізації.

В роботі [18] пропонується для задачі локалізації сенсорної мережі використовувати центроїдний алгоритм на основі середньої ваги (AWBCL). AWBCL використовує ваги, які залежать від середнього розрахункового значення розташування сенсорних нодів і фактичного положення нода. Проведені авторами експерименти доводять, що AWBCL має кращу точність позиціонування та зменшену помилку розташування, ніж звичайний простий алгоритм WCL.

У роботі [19] авторами замість традиційного центроїдного алгоритму, який широко використовується для локалізації бездротових сенсорних мереж завдяки простоті обчислень, пропонується центроїдний алгоритм, який враховує інформацію RSSI. Результати моделювання показують, що в порівнянні з традиційним

центроїдним алгоритмом локалізації, метод зваженого центроїда на основі RSSI дає кращу точність позиціонування, що забезпечує ефективне рішення задачі локалізації для великомасштабних бездротових сенсорних мереж.

У роботі [20] проводиться порівняння ефективності двох алгоритмів локалізації – DV Нор і центроїдний. Результати моделювання показали, що алгоритм DV-Нор забезпечує кращу точність визначення положення невідомих нодів у бездротовій сенсорній мережі, аніж простий Centroid.

В роботі [21] пропонується метод локалізації нода WSN на основі ітераційного центроїдного алгоритму з використанням оцінки RSSI. Результати моделювання показують, що запропонований метод має кращу точність позиціонування та стійкість до шуму, а також підходить для визначення місцезнаходження великої кількості нодів WSN.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Для обчислення координат нодів сенсорної мережі варто або знати відстані до нодів із відомими координатами (якірні ноди), або кути до них. Методи, які використовують відстані до відомих нодів, це методи трилатерації, мультилатерації, ймовірнісний метод, метод обмеження квадрату. В методі трилатерації для знаходження координат невідомого ноду використовуються три ноди з відомими координатами. Це відображено на рис. 1, де (x_i, y_i) – координати відомих нодів; (x, y) – координати нода, які варто знайти; d_i – визначені відстані до нодів із відомими координатами; $r_i = d_i - e_i$ – похибка вимірювання відстані до i -го нода; $residuals = r_1 + r_2 + r_3$ – залишкова похибка оцінки координат, яку варто мінімізувати. В методі мультилатерації використовується більше трьох нодів із відомими координатами (рис. 2). В даній роботі будемо використовувати саме цей метод.

Для визначення відстаней застосовуються такі методи фізичних вимірювань: час затримки прибуття (TDOA), напрямок прибуття (DOA), час прибуття (TOA), час отримання відповіді (RTT) і отримана енергія сигналу (RSSI). DOA можна оцінити, використовуючи різницю фаз, виміряну на приймальних датчиках [14], і застосовується вона, коли джерело звуку випромінює когерентний, вузькосмуговий сигнал. TDOA підходить для широкосмугової акустики локалізації джерела [6, 7].

В роботі розглядається двовимірний варіант задачі локалізації сенсорних мереж. Для двовимірного варіанту (2D) рішення задачі локалізації у сенсорних мережах методом мультилатерації полягає у рішенні системи нерівностей (1), яка визначає множину точок області, де знаходиться істинне положення відповідного ноду, та знаходження оцінки положення ноду в цій області. Ця задача не має єдиного розв'язку, який залежить як від алгоритму, який застосовується, так і від визначення метрики критерію оптимізації [2].

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 < d_1^2 \\ \vdots \\ (x - x_n)^2 + (y - y_n)^2 < d_n^2 \end{cases}, \quad (1)$$

де (x, y) – координати ноду, положення якого визначається; (x_i, y_i) – координати відомих якірних нодів

($i = \overline{1, n}$), де n – кількість якірних нодів. d_i – визначені відстані, які включають похибку r_i (рис. 1), яка залежить від методу фізичного вимірювання; d_i можна представити як:

$$d_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} + r_i. \quad (2)$$

Точність оцінки (error) будемо визначати як відстань між оцінним положенням ноду та його істинним положенням (3):

$$error = \sqrt{(\hat{x} - x)^2 + (\hat{y} - y)^2}, \quad (3)$$

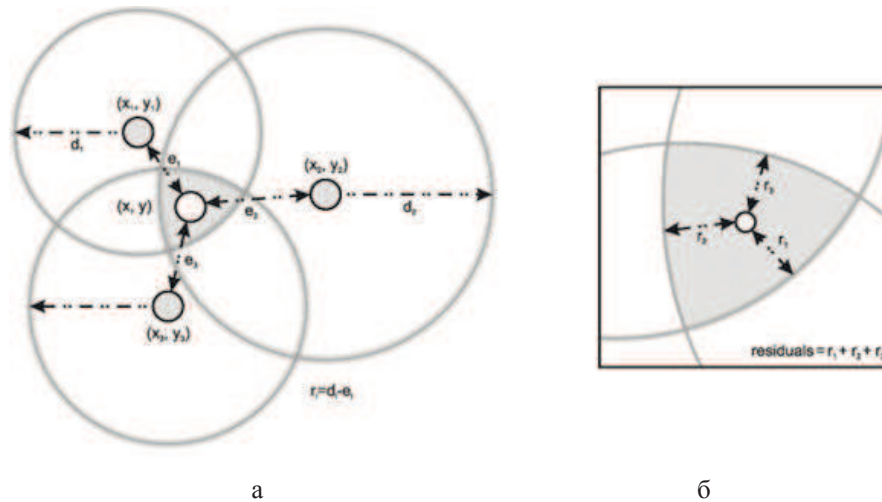


Рис. 1. Метод трилатерації: а – невідповідність позицій і відстаней генерують систему з нескінченною множиною рішень; б – залишкова похибка оцінки координат / The method of trilateration: a) inconsistency of positions and distances generate a system with an infinite set of solutions; b) residual error of coordinate estimation

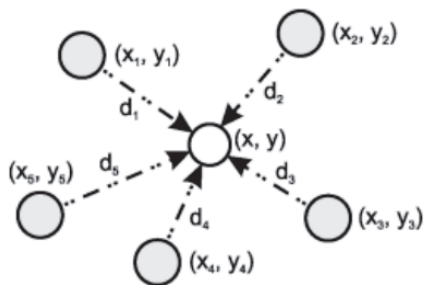


Рис. 2. Метод мультилатерації / Multilateration method

Генеруються координати ноду, локалізацію якого слід визначити, використовуючи датчик рівномірно розподілених випадкових чисел у визначеній області, і який відображається візуально колом радіусом дії WiFi ноду, в центрі якого розміщений сам нод.

В області кола генеруються координати якірних нодів (x_i, y_i) із GPS, по яких буде визначатися локалізація ноду. Візуалізуються якірні ноди аналогічно попередньому пункту, але радіусом кола, яке дорівнює відстані від якірного ноду до центра кола ноду, локалізацію якого треба визначити, помноженої на коефіцієнт $1/p$, де p – похибка вимірювання відстані в реальних умовах. Знайдені відстані d_i використовуються в подальшому для знаходження кутових точок області, де знаходиться істинне положення ноду, координати якого оцінюються.

де (\hat{x}, \hat{y}) – координати оцінчного положення ноду, а (x, y) – координати істинного положення ноду.

Основна мета роботи – дослідити, як змінюється точність оцінки при застосуванні методу мультилатерації при збільшенні кількості якірних нодів, які приймають участь в оцінці положення ноду. Для цього була створена імітаційна модель процесу локалізації для окремого ноду. Алгоритм моделювання полягав у наступному. Встановлюється початкове значення генератора рівномірно розподілених випадкових чисел і воно запам'ятовується.

Знаходиться розв'язок системи нерівностей (1). Знайдені координати кутових точок області знаходження істинного положення ноду використовуються для знаходження оцінки координат положення ноду та визначається похибка оцінювання error.

До якірних нодів додається ще один і повторюються попередні кроки до досягнення заданої кількості якірних нодів, які приймають участь у процедурі локалізації ноду.

Моделювання повторюється для різних початкових значень генератора випадкових чисел і усереднюються результати досліджень, тобто обчислюється математичне сподівання похибки оцінки локалізації як функція від степені мультилатерації (кількості якірних нодів, які приймають участь у процедурі локалізації), а також знаходиться мінімальна і максимальна похибки.

Залежності математичного сподівання похибки оцінки локалізації, мінімальне та максимальне значення похибки відображаються на відповідних графіках, залежно від кількості якірних нодів.

Для знаходження координат кутових точок області, де розташований нод, координати якого визначаються, використовувався певний алгоритм.

Знаходяться розв'язки всіх систем із двох рівнянь, які отримуються з системи (1) шляхом перебору всіх можливих комбінацій із n до 2 та заміною нерівностей на рівняння. Кількість таких систем визначається (4):

$$C_2^n = \frac{n!}{2!(n-2)!}. \quad (4)$$

Знайдені рішення підставляються в систему (1). Ті рішення, які відповідають всім нерівностям (1) і є кутовими точками шуканої області.

Оцінка координат ноду (\hat{x}, \hat{y}) визначається як середнє арифметичне координат знайдених кутових точок області, в якій знаходиться істинне положення ноду, яке позначено як $\begin{pmatrix} \cdot \\ x, y \end{pmatrix}$.

На рис. 3 відображено розташування ноду, координати якого треба визначити – центр червоного кола, та координати якірних нодів – центри чорних кіл для випадку трилатерації (три якірних нодів). Радіуси чорних кіл відповідають визначеним відстанням d_i шляхом вимірювань. Точка синього кольору відповідає отриманій оцінці положення ноду.

На рис. 4 відображено приклад розташування чотирьох якірних нодів.

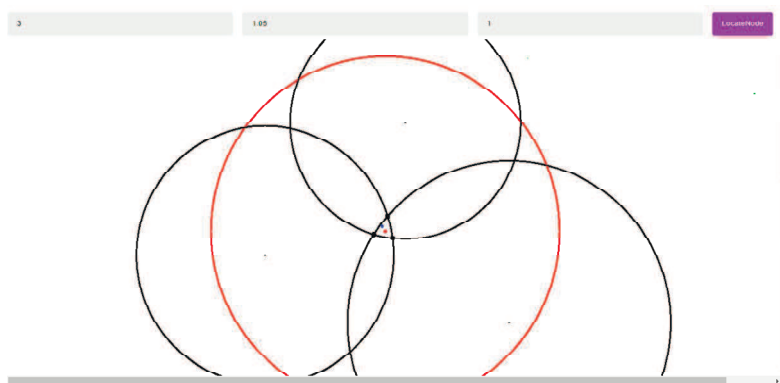


Рис. 3. Приклад розташування трьох якірних нодів / An example of the arrangement of three anchor nodes

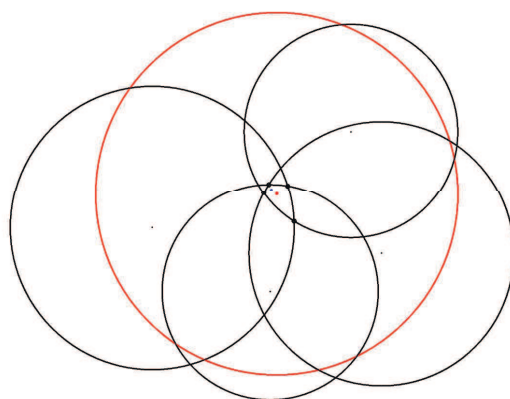


Рис. 4. Приклад розташування чотирьох якірних нодів / An example of the arrangement of four anchor nodes

Обговорення результатів дослідження. В роботі [21] проводилися експерименти із метою перевірки ефективності запропонованого алгоритму. 100 нодів випадковим чином розподілялися у двовимірній площині 100×100 м. У результаті моделювання процесу локалізації було виявлено, що коли щільність якірних нодів збільшується з 10 % до 30 %, помилка позиціонування зменшується лише з 13,5 % до 8,1 % для традиційного центроїдного алгоритму. Запропонований метод при тій самій щільності дає кращу точність та вищу степінь покриття.

В роботі [20] проводилися експерименти на площі 100 м \times 100 м. Для 16 якірних нодів та 50 нодів, координати яких необхідно було визначити, DV-NOP алгоритм показав точність 1,1102, а центроїдний – 1,2853 для діапазону зв'язку 30 м.

В роботі [18] проводилися експерименти на площі розгортання 100 м \times 100 м і порівнювалися результати для різних алгоритмів локалізації. Так для звичайного простого алгоритму WCL для діапазону зв'язку 20 м мі-

німальна, максимальна та середня похибка складає, відповідно, 0,2849, 2,3861, 1,1479, а для центроїдного алгоритму на основі середньої ваги (AWBCL) – 0,2311, 0,5807, 0,40216, відповідно.

В даній роботі проводилися дослідження із розробленою моделлю для оцінки впливу кількості якірних нодів, які використовуються для задачі локалізації, на степінь точності оцінки позиціонування нодів сенсорної мережі. Використовувався центроїдний алгоритм.

Нижче наведені результати експериментальних досліджень, які проводилися для різної кількості якірних нодів та кількості ітерацій. Кожна ітерація характеризується іншим розміщенням якірних нодів. Використовувався стандарт IEEE 802.15.4 (ZigBee) із радіусом дії 1000 м. На рис. 5 відображені графіки залежності математичного сподівання похибки оцінки локалізації, мінімальне і максимальне значення похибки при зміні кількості якірних нодів від 3 до 7 для 1000 ітерацій та 10 % похибки вимірювання відстаней d_i .

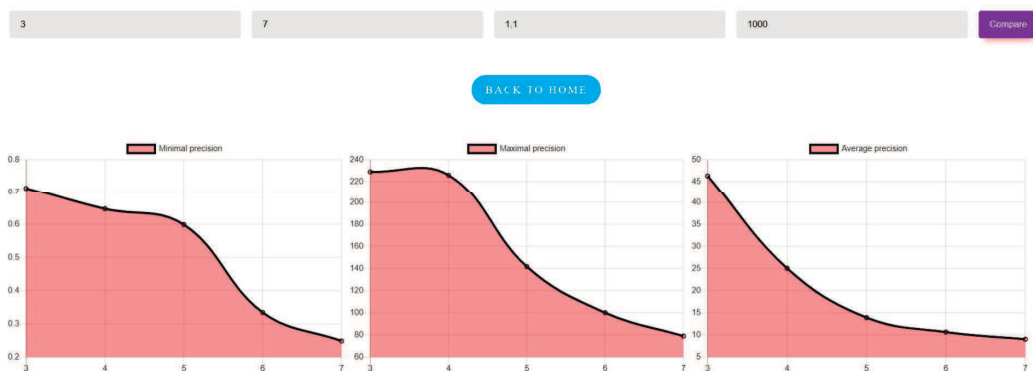


Рис. 5. Результати експериментальних досліджень при зміні кількості якорних нодів від 3 до 7 / Results of experimental studies when changing the number of anchor nodes from 3 to 7

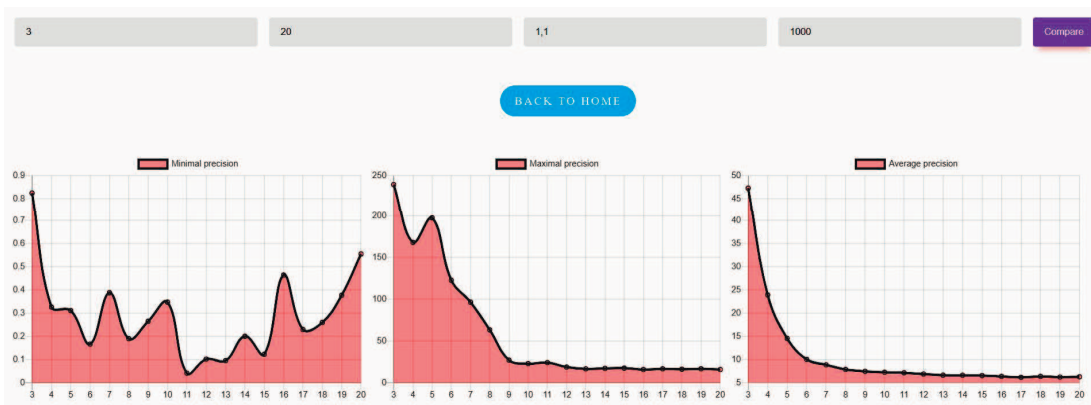


Рис. 6. Результати експериментальних досліджень при зміні кількості якорних нодів від 3 до 20 / Results of experimental studies when changing the number of anchor nodes from 3 to 20

На рис. 6 відображені графіки залежності математичного сподівання похибки оцінки локалізації, мінімальне і максимальне значення похибки при зміні кількості якорних нодів від 3 до 20 для 1000 ітерацій та 10 % похибки вимірювання відстаней.

Із графіків видно, що при збільшенні кількості якорних нодів, мінімальне значення коливається в межах 0,1–0,55 м, максимальне значення зменшується до 17 м, а середнє значення зменшується експоненційно, і вже при 6 якорних нодах становить 10 м.

Отже, за результатами роботи можна сформулювати таку наукову новизну і практичну значущість результату дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – полягає у побудові імітаційної моделі, яка дає змогу визначити вплив кількості якорних нодів, які приймають участь у процесі локалізації, на точність оцінювання положення нодів сенсорної мережі.

Практична значущість результатів дослідження – полягає у можливості оцінити кількість якорних нодів, необхідних при розгортанні сенсорної мережі при вирішенні задачі локалізації з заданою точністю.

Висновки / Conclusions

Розроблено алгоритм моделювання процесу локалізації сенсорних мереж методом мультилатерації.

Побудовано імітаційну модель для дослідження впливу метода мультилатерації на точність визначення координат нодів.

Проведено експерименти з розробленою моделлю і отримано результати цих досліджень.

Зазначено, що дослідження показали, що для задовільної оцінки положення нодів у сенсорній мережі достатньо 6 якорних нодів, і така кількість нодів є значною.

Подальші дослідження можуть стосуватися визначення необхідної кількості якорних нодів, залежно від площі покриття та щільності розташування нодів. Також необхідно дослідити вплив на оцінку положення нодів застосування кооперативного і некооперативного алгоритму локалізації сенсорних мереж.

References

- [1] Akyildiz, W. Su., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: A survey, *Comput. Networks J.*, 38(4), 393–422. [https://doi.org/10.1016/S1389-1286\(01\)00302-4](https://doi.org/10.1016/S1389-1286(01)00302-4)
- [2] Mohammad, Reza Gholami. (2011). Positioning Algorithms for Wireless Sensor Networks. Department of Signals and Systems Technical Report No. R001/2011 ISSN 1403-266X
- [3] Dhillon, S. S., Chakrabarty, K., & Iyengar, S. S. (2002). Sensor placement for grid coverage under imprecise detections. *Proceedings of 5th International Conference on Information Fusion, (Fusion 2002)*, Vol. 2, Annapolis, M July 2002, IEEE, New York, 1581–1587. <https://doi.org/10.1109/ICIF.2002.1021005D>,
- [4] Chakrabarty, K., Iyengar, S. S. Qi., H., & Cho, E. (2002). Grid coverage for surveillance and target location in distributed sensor networks. *IEEE Transactions on Computers*, 51(12), 1448–1453. <https://doi.org/10.1109/TC.2002.1146711>
- [5] Biagoni, E. S., & Sasaki, G. (2003). Wireless sensor placement for reliable and efficient data collection. *Hawaii International Conference on Systems Sciences, (HICSS)*, Hawaii, January, IEEE, New York, 127–136. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2003.1174290>
- [6] Xu, Y., Heidemann, J., & Estrin, D. (2001). Geography-informed energy conservation for ad-hoc routing. *Proceedings ACM/IEEE*

- [7] Schurgers, C., Tsiatsis, V., Ganeriwal, S., & Srivastava, M. (2002). Optimizing sensor networks in the energy-latency-density design space. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 1(1), 70–80. <https://doi.org/10.1109/TMC.2002.1011060>
- [8] Chen, B., Jamieson, K., Balakrishnan, H., & Morris, R. (2002). Span: An energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks. *Wireless Networks*, 8(5), 481–494. <https://doi.org/10.1023/A:101654229220>
- [9] Ye, F., Zhong, G., Cheng, J., Lu, S., & Zhang, L. (2003). PEAS: A robust energy conserving protocol for long-lived sensor networks. *Proceedings of the 23rd International Conference on Distributed Computing Systems*, Providence, RI, May, IEEE, New York, 28–37.
- [10] Niculescu, D., & Nath, B. (2001). Ad hoc positioning system (APS). 2001 IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '01), Vol. 5, San Antonio, TX, November, IEEE, New York, 2926–2931. <https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2001.965964>
- [11] Savarese, C., Rabaey, J. M., & Beutel, J. (2001). Locationing in distributed ad-hoc wireless sensor networks. *Proceedings of the IEEE Signal Processing Society International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing 2001 (ICASSP 01)*, Vol. 4, Salt Lake City, UT, May, IEEE, New-York, 2037–2040.
- [12] Savvides, A., Park, H., & Srivastava, M. B. (2002). The bits and flops of the n-hop multilateration primitive for node localization problems. *Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA'02)*, Atlanta, GA, September, ACM, New-York, 112–121. <https://doi.org/10.1145/570738.570755>
- [13] Savvides, A., Han, C.-C., & Srivastava, M. B. (2003). The n-hop multilateration primitive for node localization. *Mobile Networks and Applications*, 8(4), 443–451. <https://doi.org/10.1023/A:1024544032357>
- [14] Carter, G. C. (1993). *Coherence and Time Delay Estimation*. New York: IEEE Press.
- [15] Xinwei, W., Ole, B., Rainer, L., Steffen, P. (2009). Localization in Wireless Ad-hoc Sensor Networks using Multilateration with RSSI for Logistic Applications. *Proceedings of the EuroSensors XXIII conference*. Published by Elsevier B. V. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2009.07.115>
- [16] Amanpreet, K., Padam, K., Govind, P. G. (2019). A weighted centroid localization algorithm for randomly deployed wireless sensor networks. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 31, 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2017.01.007>
- [17] Laaouafy, M., Lakrami, F., Laboudiya, O., Elkamoun, N. (2022). An experimental evaluation of localization methods used in wireless sensor networks. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, Vol. 25, 3, March, 1518–1528. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v25.i3.pp1518-1528>
- [18] Arun, M., Sivasankari, N., Vanathi, Dr. P. T., Manimegalai, Dr. P. (2017). Analysis of Average Weight Based Centroid Localization Algorithm for Mobile Wireless Sensor Networks. *Advances in Wireless and Mobile Communications*. ISSN 0973-6972, Vol. 10, 4, 757–780.
- [19] Pingfang, H., Bo, Z. (2021). Research on Centroid Localization Algorithm in Wireless Sensor Networks. *Journal of Physics: Conference Series* 1883, 012026. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1883/1/012026>
- [20] Ram, D., Varinderjit, K. (2014). Analysis of Some Localization Algorithm in Wireless Sensor Networks. *International Journal of Computer & Organization Trends*, 4, July to August, 32–36.
- [21] Xin, L. (2020). Research on WSN Node Localization Algorithm Based on RSSI Iterative Centroid Estimation. *Technical Gazette*, 27, 5, 1544–1550. <https://doi.org/10.17559/TV-20190827114252>

O. V. Kuzmin

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

STUDY OF LOCALIZATION ACCURACY IN SENSOR NETWORKS THAT UTILIZE MULTILATERATION METHOD

One of the main tasks of deploying sensor networks is determining the coordinates of nodes that are unknown at their initial placement. This problem is known as the localization problem of sensor networks. It can be solved if each node has a GPS receiver in its composition. However, such nodes are more expensive, and for networks of various purposes, for example, environmental monitoring, fixation of moving objects in a certain area, various types of IoT, and others, nodes without GPS can be used. To solve the problem of localization in such networks, so-called anchor nodes are used, the coordinates of which are known. They form a certain percentage of the total number of nodes. They are used to find the coordinates of the remaining nodes that are part of the network. If only anchor nodes are used for the localization problem, then such networks are called non-cooperative networks. If all nodes participate in the positioning of nodes, then such networks are called cooperative. Different methods are used to solve this problem such as the method of trilateration, multilateration, triangulation, random, and others. To apply these methods, it is necessary to know the distances or angles to nodes whose coordinates are determined based on the nodes with known coordinates. At the same time, various methods are used to determine distances, namely: TDOA, DOA, TOA, RTT, RSSI. Corresponding means in modern nodes are present as separate functions. For example, the IEEE 802.15.4 (ZigBee) standard. In this paper, studies of the influence of the multilateration method on the accuracy of determining the coordinates of nodes were carried out. An algorithm was used, according to which the position of the node, for which the coordinates should be determined, was generated, as well as the coordinates of the anchor nodes that take part in the localization of the node. The distance measurement error according to the ZigBee standard with a range of 1000 m was taken as 10 %. The number of anchor nodes was changed throughout the analysis, and the respective positioning error was calculated. For greater statistical significance, the experiments were repeated a certain number of times while changing the initial value of the generator of uniformly distributed random numbers, and at the same time, the average value of the localization error, and the minimum and maximum values were calculated. The obtained statistical data were visualized in the form of relevant graphs. As a result of research, it was determined that six anchor nodes are enough to obtain a positioning accuracy of 10 m.

Keywords: GPS, sensor network, node; multilateration, functions, formulas of central finite differences, calculation of derivatives.

Інформація про автора:

Кузьмін Олександр Васильович, канд. техн. наук, доцент, кафедра автоматизованих систем управління.

Email: oleksandr.v.kuzmin@lpnu.ua

Цитування за ДСТУ: Кузьмін О. В. Дослідження точності локалізації в сенсорних мережах при застосуванні методу мультilaterації. *Український журнал інформаційних технологій*. 2023. Т. 5, № 1. С. 86–91.

Citation APA: Kuzmin, O. V. (2023). Study of localization accuracy in sensor networks that utilize multilateration method. *Ukrainian Journal of Information Technology*, 5(1), 86–91. <https://doi.org/10.23939/ujit2023.01.086>