

# Вимірювання Локації Об'єктів за допомогою Сенсорних Мереж

А.С. Дуднік  
кафедра мережевих та інтернет технологій  
Київський Національний університет імені Т. Шевченка  
Київ, Україна  
a.s.dudnik@gmail.com

## Measuring the Location of Objects Using Sensor Networks

A. Dudnik  
Department of network and Internet technologies  
Kyiv National Taras Shevchenko University  
Kyiv, Ukraine  
a.s.dudnik@gmail.com

*Анотація*— Однією з актуальних задач є визначення місця розташування окремих об'єктів мережі. Неодмінною умовою при експлуатації будь-яких систем моніторингу та контролю є прив'язка даних, зібраних всією системою до географічних координат для відображення зібраної інформації на карті і подальшого аналізу. Крім того, така мережа (на відміну від традиційних радіомереж) за наявності вбудованої підсистеми позиціонування окремих об'єктів може бути розгорнута практично де завгодно з мінімальними витратами. Це може бути зроблено, наприклад, шляхом розкидання об'єктів мережі з літака.

Крім прив'язки отриманих мережею даних в процесі роботи до карти місцевості, інформація про координати об'єктів буде необхідна в процесі функціонування самої мережі (побудова ефективних з точки зору енергоспоживання алгоритмів маршрутизації, збір отриманих даних).

У зв'язку з цим розробка алгоритмів визначення координат об'єктів в сенсорній мережі стає актуальним завданням.

*Abstract*— One of the topical tasks is to determine the location of individual network objects. An indispensable condition for the operation of any monitoring and control system is the binding of data collected by the system to geographic coordinates for displaying the collected information on the map and further analysis. In addition, such a network (unlike traditional radio networks) in the presence of a built-in subsystem of the positioning of individual objects can be deployed virtually anywhere with minimal costs. This can be done, for example, by scattering objects from the aircraft.

In addition to the binding of the data received in the process of work to the map of the area, information about the coordinates of objects will be needed in the process of functioning of the network itself (building efficient in terms of energy consumption of routing algorithms, collection of data).

In this regard, the development of algorithms for determining the coordinates of objects in the sensor network becomes an urgent task.

*Ключові слова*— безпроводна сенсорна мережа; вузол; якор; похибка; локалізація; zigbee.

*Keywords*— sensor networks; node; anchor; error; localization; zigbee.

### I. ВСТУП

Невизначеність на відстані призвела до появи методу імовірнісних підходів для обчислення позиції вузла. У імовірнісному підході обчислення позиції не зводиться до одного єдиного пункту, як в інших випадках, але у ряді пунктів є вірогідності того, щоб це буде реальна позиція невідомого вузла.

### II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Оцінка відстані імовірнісного підходу змодельована як нормальна випадкова змінна. Коли невідомий вузол отримує пакет від опорного вузла, це може бути у будь-якому місці навколо опорного вузла з імовірністю як зображено на рисунку 1.а. Коли інший пакет отриманий від іншого опорного вузла, невідомий вузол обчислює свою позицію знову як зображено на рисунку 1.б. Коли

нова інформація розташування інших вузлів отримана, тоді стає можливим, щоб ідентифікувати імовірне місце розташування невідомого вузла, як зображено на рисунку 1.в.

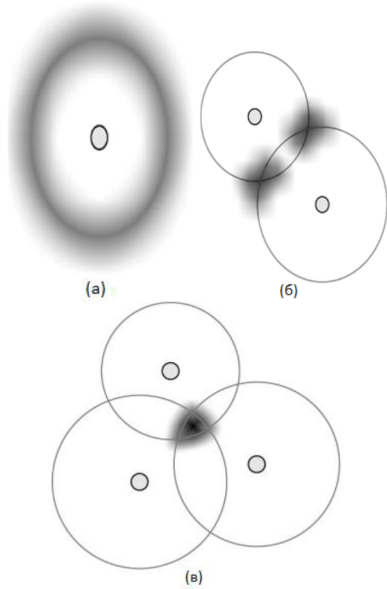


Рис. 1. Імовірнісний підхід

### III. [АНАЛІЗ ІМОВІРНІСНОГО ПІДХОДУ]

Основна проблема цього підходу – висока обчислювальна потужність і простір пам'яті. Дослідження цього методу показують, що, якби ми розглядали типовий розмір як матрицю  $d \times d$ , складність цього методу була б  $O(3d^2)$ . Вся суть роботи цього( методу полягає в передаванні зібраної інформації до центрального вузла, на якому проводяться обчислення позицій [1].

### IV. ОБМЕЖЕННЯ КВАДРАТУ

Метод обмеження квадрату (Bounding Box), використовує квадрати – замість кругів, які використовуються наприклад в методі трilaterації, – обмежуючи можливі положення вузла. Приклад цього методу зображений на рисунку 2.10 [2].

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \left( \frac{\max(x_i - d_i) + \min(x_i + d_i)}{2}, \frac{\max(y_i - d_i) + \min(y_i + d_i)}{2} \right).$$

Незважаючи на похибку цього методу при завершенні обчислення, яка більша, ніж у методі трilaterації, але значно менша кількість ресурсів процесора використовується для обчислення перетину квадратів, ніж обчислення перетину кіл.

### V. ОБМЕЖЕННЯ КВАДРАТУ

Відповідно до припущення, що найвірогідніше розміщення вузла – центральна точка серед усіх опорних вузлів, ми можемо обчислити позицію невідомого вузла без потреби оцінки відстаней або кутів, але тільки при використанні методу на основі дальності сигналу.

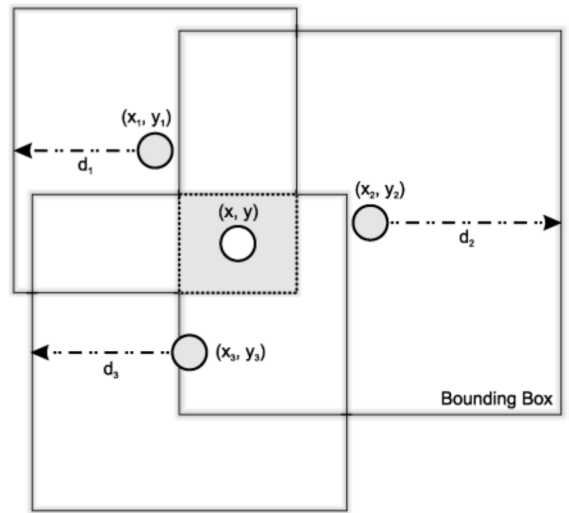


Рис. 2. Метод Bounding Box

Для кожного  $i$  опорного вузла, обмежуючий квадрат, визначений як квадрат з центром у позиції цього вузла  $(x_i, y_i)$ , із сторонами розміру  $2d_i$  (де  $d$  – передбачувана відстань), з координатами:

$$(x_i - d_i, y_i - d_i) \text{ та } (x_i + d_i, y_i + d_i)$$

Перетин усіх обмежуючих квадратів може бути обчислений без потреби обчислень з плаваючою комою, беручи максимально низькі і мінімально високі координати усіх зв'язуючих квадратів:

$$\left( \max(x_i - d_i), \max(y_i - d_i) \right) \text{ та } \left( \min(x_i + d_i), \min(y_i + d_i) \right)$$

Отримуємо заштрихований прямокутник який можна побачити на рисунку 2. Позиція невідомого вузла потім обчислюється як центр перетину усіх зв'язуючих квадратів:

В цьому випадку, позиція вузла вичислена при використанні наступного рівняння [28]:

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \left( \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \right)$$

де  $n$  – кількість опорних вузлів.

Цей метод є найбільш простим з точки зору обчислювальних ресурсів та необхідної інформації. Тільки операції з плаваючою комою (де  $n$  – кількість опорних вузлів), обов'язкові для обчислення позиції. З іншого боку,

отримані рішення не точні, головне щоб кількість опорних вузлів була невеликою.

## VI. АЛГОРИТМИ ЛОКАЛІЗАЦІЇ

Алгоритм локалізації – головний компонент системи локалізації. Цей компонент визначає, яким чином будуть використовувати інформацію про відстані та положення об'єктів, щоб обчислити розташування вузлів сенсорної мережі із найменшими помилками.

Алгоритми локалізації класифікуються по таких категоріях:

- розподілені чи централізовані (Distributed or Centralized) Розташування вузлів можуть бути обчислені розподіленим способом вузлами мережі (само позиціонування), або єдиним центральним вузлом (наприклад, більш потужнішим вузлом – маршрутизатором) [3]
- з або без інфраструктури. Якщо немає ніякої потреби в інфраструктурі чи якщо є потреба перепроектувати попередню інфраструктуру, щоб дозволити функціонування алгоритму локалізації (наприклад, ручне розміщення якірних вузлів) [4]
- відносне або абсолютне розташування. Обчислені позиції можуть бути пов'язані з глобальними координатами (наприклад, широта, довгота), або пов'язані з вузлом або пунктом мережі [5]

One Hop або Multi Hop. Якщо всі невідомі вузли мають прямий зв'язок з опорними вузлами або необхідно здійснити декілька переходів по мережі. [6]

Для оцінки продуктивності використовують наступні визначення:

- вартість зв'язку. Визначає складність алгоритму з точки зору обміну пакетами. Він також визначає вартість локалізації системи в сенсорній мережі
- кількість визначених вузлів. Визначає відсоток мережевих вузлів, які змогли обчислити свої

позиції в кінці локалізації алгоритму. В ідеалі потрібно, щоб всі вузли в змозі розрахувати свої позиції, але в багатьох випадках це не можливо

- кількість якірних вузлів. Визначає кількість якірних вузлів для роботи алгоритму локалізації. Якірні вузли, як правило, дорожчі, ніж звичайні вузли, і їх використання повинно бути зведене до мінімуму.

Деякі мережеві характеристики можуть торкнутися продуктивності алгоритму локалізації. Важливо зробити експерименти для кожної запропонованої системи локалізації, щоб оцінити їх поведінку, змінюючи характеристики, які включають:

- щільність мережі. У щільних мережах, невеликі відстані між вузлами, що призводить до зниження помилок в оцінці відстані, а також помилок локалізації системи. Крім того, велике число сусідів призводить до додаткової інформації, яка може бути використана невідомими вузлом щоб краще обчислити його положення
- масштаб мережі. Збільшення кількості вузлів (зберігання і щільність мережі, що збільшує площу) призводить до підвищення кількості хопів. Як правило, велике число хопів призводить до більш неточних розрахунків розташування, підвищення середньої помилки локалізації системи
- кількість якірних вузлів. Розгортаючи більш високе число якірних вузлів маяка в мережі, помилка системи локалізації має тенденцію зменшуватися, і число опорних вузлів має тенденцію збільшуватися
- точність GPS. GPS не дає ідеальної локалізації, особливо в сенсорних мережах. Оскільки більша частина якірних вузлів використовують GPS, щоб отримати свої координати, точність GPS вплине на остаточне положення про помилки локалізації системи, які залежать від цієї послуги.

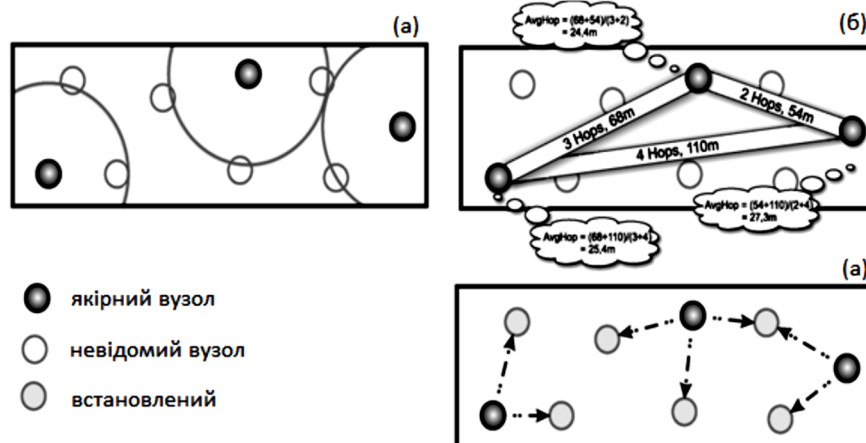


Рис. 3. Метод DV-Hop

## VII. СИСТЕМА ПОЗИЦІОНУВАННЯ В AD НОС

В алгоритмі локалізації Ad Hoc Positioning System (APS), кожен вузол оцінює свою відстань до опорних вузлів в хопів. Як тільки ці відстані оцінені, вузли можуть обчислити свої позиції, використовуючи трилатерацію. Розглянемо два методи: DV-Hop, DV-Distance [7].

У методі DV-Hop якірні вузли в радіусі своєї дії передають серії повідомлень (рисунок 3.а). Працюючи як розширення векторного алгоритму відстані, усі вузли отримують інформацію про розташування усіх якірних вузлів так само як кількість хопів до цих якорів. Коли якірний вузол отримує інформацію позиції від інших якірних вузлів, у нього є достатньо інформації, щоб вчислити середній розмір одного хопу, заснованого на його власній позиції, на позиції інших якірних вузлів, і також на кількості хопів серед них (рисунок 3.б).

Коли невідомий вузол отримує виправлення, він у змозі перетворити його відстань до якірного вузла від кількості хопів у метри (рисунок 3.в).

Метод DV-Distance працює так само як DV-Hop. Але, замість того, щоб поширювати кількість хопів, він поширює передбачувані відстані (наприклад, використовуючи RSSI) і кожен вузол, перш, ніж відправити інформацію позиції якірних вузлів, додає свою передбачувану відстань до того, що містилося в пакеті. В цьому випадку, немає ніякої потреби в коефіцієнті виправлення, тому що відстані до якірних вузлів вже вказані в метрах.

Перевага специфікації система позиціонування Ad Hoc, полягає в тому, що її алгоритм локалізації вимагає невеликої кількості якірних вузлів, щоб працювати. Проте, спосіб, яким відстані передаються, так само як шлях відстані, - перетворений з хопів до метрів в DV-Hop, результати в помилковому обчисленні позиції, збільшують кінцеву помилку локалізації системи.

### ВИСНОВКИ

Вибір методу оцінки відстані між вузлами в системі локалізації є важливим коефіцієнтом, який впливає на продуктивність системи. Зазвичай, щоб оцінити точне розташування вузла потрібно використовувати принаймні три оцінки відстані.

Також не мало важливим є вибір методу обчислення позиції. Тому що обраний метод може також впливати на кінцеву продуктивність системи локалізації. Залежно від використовуваного алгоритму локалізації, помилка в обчисленні позиції може завдати шкоди у великий або незначній мірі системі локалізації в цілому. У деяких алгоритмах, наприклад, вузли які були невідомими обчисливши свою позицію розташування використовуються, щоб допомогти іншим невідомим вузлам обчислювати свої позиції. В цьому випадку, маленька помилка в обчисленні позиції може внести великі помилки роботу системи локалізації.

Інформація розташування і відстаней, зібраних вузлом і доступними ресурсами процесора також, обмежує вибір методу, який буде використовуватися.

Алгоритм локалізації - основний компонент системи локалізації. Цей компонент визначає, яким чином інформація, дана від якірних вузлів, за оцінками відстаней, і по обчисленнях позиції, буде управлятися, щоб дозволити інформації про локалізацію розповсюджуватися від якірних вузлів до вузлів мережі.

### ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Sichitiu M., Ramadurai V. Localization of wireless sensor networks with a mobile beacon // In Proceedings of the 1st IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems (MASS 2004), FL, October 2010. – P. 174–183.
- [2] Simic S., Sastry S. Distributed localization in wireless ad hoc networks. // Technical Report UCB/ERL M02/26, UC Berkeley. – 2003.
- [3] Hofmann-Wellenho B., Lichtenegger H., Collins J. Global Positioning System: Theory and Practice, 4th edition // Springer-Verlag, Berlin. – 2003.
- [4] Priyantha N., Balakrishnan H., Teller S. The cricket compass for context aware mobile applications // In 7th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, Rome, Italy, July 2006. – P. 325.
- [5] Niculescu D., Nath B. Ad hoc positioning system (aps) using aoa // I Proceedings of INFOCOM 2003, San Francisco, CA. – 2009. – P. 238.
- [6] Savvides A., Han C. Strivastava M. Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors // In 7th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, Rome, Italy, 2010. – P. 166–179.
- [7] Whitehouse K. The design of calamari: An ad hoc localization system for sensor networks // M.S. thesis, University of California at Berkeley. – 2009.