

РОЗПОДІЛЕНА ЛОКАЛІЗАЦІЯ ВУЗЛІВ У БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

Лисенко О.І., Трач Б.В.

Інститут телекомунікаційних систем НТУУ «КПІ»

E-mail: bv.trach@gmail.com

Distributed node localization in wireless sensor networks

Discusses algorithms for localization of nodes in wireless sensor networks. Shows the same structure algorithms, consisting of a phase detection distances to the reference nodes, the calculation of the coordinates in the sensor nodes, and an iterative process of refinement of coordinates.

На даний момент безпроводові сенсорні мережі є важливим інструментом дослідження фізичного світу. Їх важливість пов'язана з новими можливостями використання, що обумовлені такими характеристиками БСМ, як відсутність необхідності у кабельній інфраструктурі, мініатюрність вузлів, низьке споживання електроенергії, вбудований радіоінтерфейс, досить висока обчислювальна здатність, порівняно невелика вартість. Все це зробило можливим їх широке застосування у багатьох сферах людської діяльності з метою автоматизації процесів збору інформації, моніторингу, контролю характеристик різноманітних технічних та природніх об'єктів [1]. При цьому у зв'язку з обмеженими ресурсами окремих вузлів для вирішення багатьох задач необхідна кооперативна робота всіх вузлів мережі для досягнення цілі.

Одною з таких задач є задача локалізації вузлів у безпроводовій сенсорній мережі з самоорганізацією. Вона полягає у визначенні координат індивідуальних сенсорів без використання зовнішньої інфраструктури. Задача локалізації багато досліджувалась у минулому, оскільки у багатьох прикладних сферах важлива інформація про розміщення об'єктів чи людей, і для їх вирішення було розроблено велику кількість систем. Найвідомішою з них є система Global Positioning System (GPS). Однак підхід GPS не може бути застосований у БСМ у зв'язку з його вимогами до наявності великої кількості додаткової інфраструктури (наприклад, супутників).

Мета дослідження — дослідження алгоритмів розподіленої локалізації. Об'єктом дослідження є фази виконання цих алгоритмів. Предметом дослідження є розподілена локалізація вузлів у безпроводових сенсорних мережах.

До алгоритмів, що застосовуються у таких мережах, висувають наступні вимоги: самоорганізація (незалежність від глобальної інфраструктури), надійність (стійкість до відмов вузлів та помилок вимірювання), енергетична ефективність. Ці вимоги випливають з властивостей середовища, у яких застосовують сенсорні мережі. Вимога самоорганізації пов'язана з тим, що контроль над розміщенням кожного вузла відсутній (наприклад, при розгортанні мережі з літального засобу). Передбачається, що деякі вузли мають апіорні знання своїх позицій згідно з певною глобальною системою. Однак ці

вузли мають такі самі властивості, як і інші (системи з вузлами-маяками не розглядаються). У вузлів передбачається можливість визначення відстаней до своїх безпосередніх сусідів. На практиці найкраще працюють методи, що базуються на вимірюванні часу поширення сигналу, особливо при комбінації з акустичними сигналами [2, 3].

Розроблено декілька алгоритмів, що призначені для функціонування у таких умовах: ad-hoc позиціонування [4], N-вузлова мультилатерація [3], та надійне позиціонування [5], кожен з яких має свої переваги та недоліки [6]. Всі вони мають подібну структуру з трьох етапів, на кожному з яких можливо застосовувати один з багатьох алгоритмів:

1. Вимірювання відстані до безпосередніх сусідів.
2. Визначення координат вузла на основі відстаней та інформації від опорних вузлів.
3. Уточнення позицій на основі інформації від сусідніх вузлів.

Перший етап полягає у обміні інформацією для сумісного визначення відстаней до сусідніх та опорних вузлів. На цьому етапі у жодному алгоритмі не виконуються складні обчислення, він полягає у комунікації з сусідніми вузлами. Інформація поширюється флудінгом починаючи від опорних. При цьому постає проблема масштабування – у великих мережах інформація від певного вузла A буде передана всім іншим. Її вирішують обмежуючи поширення інформації – точні координати можливо розрахувати на основі даних від малої кількості опорних вузлів.

Найпростіший алгоритм — це алгоритм суми відстаней, що просто підсумовує відстань до сусіда з оголошеними ним відстанями до всіх відомих вузлів. Алгоритм починає роботу з опорних вузлів, які відправляють повідомлення із оголошенням своєї ідентичності, позиції та довжини шляху, рівною нулю. Кожен вузол, що отримує повідомлення, додає до довжини шляху виміряну відстань до сусіда, що передає це повідомлення, та передає оновлену інформацію. Якщо інформацію про певний вузол вже було передано у мережу, повторна трансляція та оновлення повідомлення дозволяється тільки у випадку, якщо оновлена довжина шляху менша, ніж передана раніше. Його недоліком є накопичення помилки у мережах з малою кількістю проміжних вузлів або низькоякісним обладнанням вимірювання відстані.

Складніший алгоритм - це DV-hop. Він виконується в два етапи, перший з яких ідентичний алгоритму суми відстаней, однак додатково зберігається кількість проміжних вузлів на шляху до кожного з опорних вузлів. Другий етап - це калібрування. При цьому координати кожного з проміжних вузлів на шляху уточнюються з урахуванням множенням середнього арифметичного значення довжини одного прольоту на шляху до опорного вузла на кількість проміжних вузлів на цьому шляху. Цей алгоритм працює на основі припущення, що відстані між вузлами будуть мати низьку дисперсію.

Це припущення відсутнє у евклідовському алгоритмі, що враховує локальну топологію. Коли вузол одержує інформацію про опорний вузол від двох різних сусідів, відстань між якими відома, він уточнює відстань на основі даних від обох сусідів. Це відбувається через механізм "голосування сусідів", що

виконується при наявності третього вузла, на основі даних якого можна перевірити коректність обчислення відстані. Другий метод спрацьовує тоді, коли є три сусідні вузли, відстані між якими відомі, що також може бути використане для уточнення позиції. Передбачається відкидання плоских трикутників, що порушують функціонування обох протоколів.

У другій фазі на основі відстаней до опорних вузлів розраховуються позиції сенсорів. Для обчислення позицій використовується або мультилатерація, або простий алгоритм мінімум-максимум. Найпоширеніший алгоритм - мультилатерація, форма триангуляції. На основі оцінок відстані d_i до i -того опорного вузла та відомих координат (x_i, y_i) виводиться система рівнянь

$$\begin{aligned} (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 &= d_1^2 \\ \vdots \\ (x_n - x)^2 + (y_n - y)^2 &= d_n^2 \end{aligned} \quad (1)$$

де (x, y) — невідомі координати.

Лінеаризувавши цю систему через віднімання останнього рівняння від перших $n-1$, та вирішивши його методом найменших квадратів, одержимо оцінку координат. Для перевірки оцінки обчислюється залишок

$$\frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - d_i}{n}.$$

Велике значення залишку означає високу помилку.

Обчислене значення відкидається, якщо залишок більший за максимальну дальність передачі сигналу.

У третій фазі відбувається уточнення позиції вузла. Зазвичай процедура включає трансляцію сусіднім вузлам оцінки своєї позиції та виконання мультилатерації на основі цієї інформації. Після декількох повторів похибка значно знижується.

Література

1. Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarabramaniam, and Erdal Cayirci: A Survey on sensor networks, IEEE Communications Magazine (2002).
2. A. Savvides, H. Park, M. Srivastava, The bits and flops of the N-hop multilateration primitive for node localization problems, First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Application, Atlanta, GA, 2002.
3. L. Girod, D. Estrin, Robust range estimation using acoustic and multimodal sensing, in: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Maui, Hawaii, 2001.
4. D. Niculescu, B. Nath, Ad-hoc positioning system, in: IEEE GlobeCom, 2001.
5. C. Savarese, K. Langendoen, J. Rabaey, Robust positioning algorithms for distributed ad-hoc wireless sensor networks, USENIX Technical Annual Conference, Monterey, CA, 2002, pp. 317–328.
6. K. Langendoen, N. Reijers, Distributed localization in wireless sensor networks: a quantitative comparison, Computer Networks: Int. Journal of Computer and Telecommunications Networking, V. 43 Iss. 4, 15 Nov. 2003.