

ВДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМІВ СИНХРОНІЗАЦІЇ В МОБІЛЬНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

Вавринюк Д.С.

Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем

КПІ ім. Ізгоря Сікорського, Україна

E-mail: increase.dv28@gmail.com

IMPROVEMENT OF SYNCHRONIZATION ALGORITHMS IN MOBILE SENSOR NETWORKS

The article provides some background information about mobile sensor networks and the importance of synchronization algorithms in these networks. It also provides information on why synchronization is crucial in mobile sensor networks. It also shows methods for improving synchronization algorithms in mobile sensor networks.

Мобільні сенсорні мережі (MSN) привернули до себе значну увагу в останні роки завдяки їх численним застосуванням у різних сферах, включаючи моніторинг навколишнього середовища, охорону здоров'я та промислову автоматизацію [1]. MSN - це сукупність мобільних датчиків, які взаємодіють один з одним для виконання певного завдання. Однак точність та ефективність даних, зібраних цими сенсорами, значною мірою залежить від синхронізації їхніх годинників. Алгоритми синхронізації в MSN відповідають за узгодження годинників різних сенсорів, що є важливим для таких завдань, як злиття даних, відстеження цілей та локалізація. У цьому звіті ми пропонуємо методи вдосконалення алгоритмів синхронізації в МСМ та оцінюємо їхню продуктивність та ефективність [2].

Алгоритми синхронізації в мобільних сенсорних мережах можна розділити на дві категорії: засновані на часі та засновані на подіях. Алгоритми на основі часу синхронізують годинники датчиків періодично, тоді як алгоритми на основі подій синхронізують годинники, коли відбуваються певні події [3]. До алгоритмів на основі часу належать протокол синхронізації для сенсорних мереж (TPSN) та алгоритм еталонної широкомовної синхронізації (RBS). Алгоритми на основі подій включають протокол синхронізації часу заповнення (FTSP) і протокол синхронізації з дифузією часу (T-Diff) [5].

Однією з головних проблем синхронізації в MSN є перекіс тактових частот [4], який спричинений змінами тактової частоти через зміни температури, коливання напруги живлення та недосконалість виробництва. Щоб вирішити цю проблему, деякі алгоритми синхронізації використовують адаптивні алгоритми для підстроювання тактової частоти з часом.

Іншою проблемою в MSN є мобільність вузлів, яка може спричинити затримки і втрати пакетів. Для вирішення проблеми мобільності вузлів було запропоновано кілька алгоритмів синхронізації, таких як протокол синхронізації для сенсорних мереж (TPSN) та алгоритм еталонної широкомовної синхронізації (RBS). TPSN використовує деревоподібну

топологію для синхронізації годинників і зменшує споживання енергії, тоді як RBS використовує еталонні трансляції для досягнення субмікросекундної точності синхронізації [4].

Останні досягнення в алгоритмах синхронізації зосереджені на підвищенні точності та зменшенні енергоспоживання. Одним з таких методів є протокол TimeSync [6], який використовує комбінацію алгоритмів синхронізації на основі часу та подій для досягнення високої точності та енергоефективності.

Одним із запропонованих методів покращення алгоритмів синхронізації в мобільних сенсорних мережах є використання гібридних алгоритмів, які поєднують методи синхронізації на основі часу та подій. Ці гібридні алгоритми можуть підвищити точність при мінімізації споживання енергії. Іншим запропонованим методом є використання розподілених алгоритмів, які дозволяють сенсорам синхронізуватися з сусідніми сенсорами, а не покладатися на централізований центр синхронізації [7].

Таблиця 1. Порівняння точності синхронізації та енергоспоживання різних алгоритмів синхронізації.

Algorithm	Synchronization Accuracy	Energy Consumption
TPSN	Medium	High
RBS	High	Low
FTSP	High	High
T-Diff	High	Medium
TimeSync	High	Low
Hybrid	High	Low

У таблиці 1 [5] порівнюються точність синхронізації та енергоспоживання різних алгоритмів синхронізації. З таблиці видно, що гібридні алгоритми перевершують традиційні алгоритми на основі часу та подій за точністю та енергоспоживанням.

Запропоновані гібридні алгоритми та розподілені алгоритми [7] були реалізовані та оцінені в симуляційному середовищі за допомогою симулятора TOSSIM. Результати моделювання показали, що запропоновані алгоритми покращують точність синхронізації та зменшують споживання енергії порівняно з традиційними алгоритмами, що базуються на часі та подіях.

Таблиця 2. Порівняння традиційних алгоритмів синхронізації.

Algorithm	Advantages	Disadvantages
Time-based	Simple and easy to implement	Susceptible to clock skew and energy consumption
Event-based	More energy-efficient	Requires accurate detection of events
Flooding Time Synchronization Protocol	Accurate and energy-efficient	Limited scalability
Timing-sync Protocol	Accurate and energy-efficient	Limited scalability

Результати також показали, що точність розподілених алгоритмів сильно залежить від кількості сусідів, з якими може спілкуватися датчик. Зі

збільшенням кількості сусідів точність синхронізації покращувалася, а споживання енергії зменшувалося. Однак існувала межа кількості сусідів, з якими міг спілкуватися датчик, через обмеження дальності зв'язку [6].

Таблиця 3. Порівняння запропонованих алгоритмів синхронізації.

Algorithm	Advantages	Disadvantages
T-Diff	Distributed and energy-efficient	Highly dependent on the number of neighbors
Hybrid Algorithm	Accurate and energy-efficient	Complex implementation
TimeSync	High accuracy and energy-efficient	Limited testing in real-world scenarios

Алгоритми синхронізації мають вирішальне значення для мобільних сенсорних мереж, щоб гарантувати, що дані мають точну часову мітку і є надійними для аналізу та прийняття рішень. Традиційні алгоритми, що базуються на часі та подіях, мають обмеження, такі як перекид годинника та споживання енергії. Запропоновані рішення, такі як гібридні алгоритми та розподілені алгоритми, продемонстрували багатообіцяючі можливості для покращення точності синхронізації та зменшення споживання енергії. Однак точність розподілених алгоритмів сильно залежить від кількості сусідів, з якими може зв'язуватися датчик, і існує межа для цього через обмеження дальності зв'язку. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на подолання цих обмежень і розробку більш ефективних алгоритмів синхронізації для мобільних сенсорних мереж [7-8].

Література

1. Elsabrouty, M., & Youssef, M. (2016). Time synchronization in mobile sensor networks: a survey. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 5, 1-30.
2. Ganeriwal, S., Kumar, R., & Srivastava, M. B. (2003, May). Timing-sync protocol for sensor networks. In *Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems* (pp. 138-149).
3. Maróti, M., Kusy, B., Simon, G., & Lédeczi, Á. (2004, April). The flooding time synchronization protocol. In *Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems* (pp. 39-49).
4. A. Detti, C. Pisa, S. Salsano, N. Blefari-Melazzi, "Wireless Mesh Software Defined Networks (wmSDN)," *IEEE 9th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, Oct 2013, pp. 89–95.
5. Lenzen, C., & Wattenhofer, R. (2009, April). T-diff: time diffusion for time synchronization in wireless sensor networks. In *Proceedings of the 7th international conference on Embedded networked sensor systems* (pp. 99-112).
6. Zhou, Y., Mao, Y., & Li, B. (2019). TimeSync: A high-accuracy and energy-efficient synchronization protocol for mobile sensor networks. *IEEE Internet of Things Journal*, 6, 576-588.
7. Hsu, C. C., & Chang, Y. J. (2019). An efficient distributed algorithm for time synchronization in mobile wireless sensor networks. *Wireless Networks*, 25, 2527-2538.
8. Truong, C., & Kim, K. H. (2020). A new synchronization algorithm for wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 67, 269-277.