

СИНХРОНІЗАЦІЯ ЧАСУ В БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ

Синявіна Є.П.

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
E-mail: janesynavina13@gmail.com*

TIME SYNCHRONIZATION IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

This article explains the time synchronization problem in wireless sensor networks and details the basic algorithms proposed in this area. Wireless sensor networks consist of small devices distributed over geographical area. Each one of these devices has sensing, computing, and communicating components. Wireless sensor networks are used in many applications where partial or full time synchronization in the network is required. Time synchronization aims at equalizing the local times for all nodes in the network, if necessary.

Бездротова мережа складається з просторово розподілених автономних пристроїв для спільного моніторингу фізичних або екологічних умов, таких як температура, звук, вібрація, тиск, рух та забруднюючі речовини, в різних місцях. Сенсорні мережі - це особливий тип спеціальних мереж, де бездротові пристрої (зазвичай їх називають вузлами в мережі) працюють разом, щоб спонтанно формувати мережу без потреби в будь-якій інфраструктурі [4]. Вузли можуть надсилати дані, отримувати дані або діяти як маршрутизатори в мережі.

Традиційні методи синхронізації, які використовувались у дротових мережах, не підходять для бездротових мереж. NTP, який широко використовується в Інтернеті, занадто складний для впровадження та не є енергоефективним. GPS, з іншого боку, не є практичним, оскільки пристрій, який потрібно підключити до вузла мережі, є великим і дорогим. Крім того, оскільки датчики зазвичай використовуються в суворих умовах, сигнали GPS часто недоступні.

Обмін повідомленнями використовується в багатьох алгоритмах синхронізації часу. Якщо один вузол відправляє пакет із позначкою часу, недетерміновані затримки, такі як час доступу та розповсюдження, ускладнюють для вузла приймача точну синхронізацію з вузлом відправника.

Загалом, наступні елементи сприяють **помилкам синхронізації** [3]:

– *Час надсилання*: це загальний час побудови повідомлення та передачі його в мережевий інтерфейс, який потрібно надіслати (залежить від налаштувань ОС).

– *Час доступу*: це час, необхідний для доступу до фізичного каналу передачі.

– *Час поширення*: це час, необхідний для розповсюдження повідомлення по повітрю від мережевого інтерфейсу відправника до мережевого інтерфейсу приймача.

– *Час отримання*: це час, витрачений на отримання повідомлення через мережевий інтерфейс та його передачу на прикладний рівень хосту.

При розробці алгоритму синхронізації часу обмеження бездротової мережі забезпечують виконання певних вимог. Зазвичай для оцінки будь-якої техніки синхронізації використовують такі показники: точність, надійність, масштабованість, довговічність, енергоефективність, вартість, сфера застосування, затримка.

Методи синхронізації для безпроводних сенсорних мереж.

Схеми синхронізації спрямовані на коригування місцевого часу вузлів мережі до одного і того ж еталонного значення. Найбільш суворі та енергоємні схеми вимагають синхронізації всіх вузлів у мережі постійно (завжди увімкнено), тоді як інші більш спокійні схеми вимагають синхронізації кількох вузлів одночасно.

А. Довідкова синхронізація трансляції (Reference Broadcast Synchronization, RBS). У [1] було введено RBS, де приймач із приймачем замість відправника з приймачем використовується синхронізація. Вузлі, що транслюють маяки, та інші вузли використовують час прибуття цих маяків як послання, щоб знаходити часові зсуви між ними. Основна ідея цього алгоритму полягає у видаленні недетермінованого часу надсилання. Єдині джерела помилок у цій схемі зумовлені недетермінованістю розповсюдження та часом прийому. Помилками, спричиненими часом поширення, можна знехтувати, якщо припустити, що радіодіапазон короткий і що маяк транслюється на всі вузли в цей час. Тож час отримання - це єдине джерело помилок у цій схемі.

Типовий сценарій зв'язку полягає в тому, що один вузол надсилає маяк своїм сусідам, і приймачі обмінюються часом отримання цього маяка, щоб знайти їх відносні часові зсуви, а отже, синхронізувати між собою. За допомогою цієї техніки можна досягти точності в декілька мкс. Крім того, цей алгоритм був застосований до машин Linux, що здійснюють зв'язок за протоколом 802.11, і була досягнута точність $6,29 \pm 6,45$ мкс.

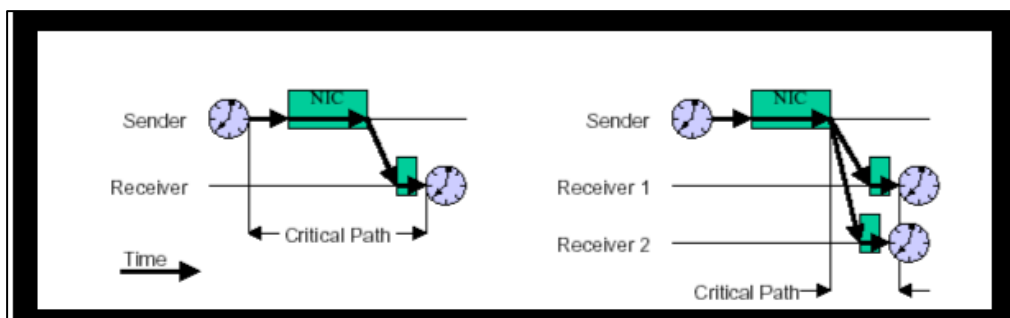


Рис. 1. Аналіз критичного шляху для традиційних протоколів синхронізації часу (ліворуч) та RBS (праворуч) [1].

В. Протокол синхронізації таймінгів для сенсорних мереж (Timing-Sync Protocol for Sensor Networks, TPSN) запропоновано в [5]. Ця техніка синхронізації складається з двох фаз; фаза виявлення рівня та фаза синхронізації.

- На *фазі виявлення* кожному вузлу присвоюється рівень; лише одному вузлу присвоюється рівень 0, і він називається кореневим вузлом.
- На другій фазі вузол рівня n синхронізується з вузлом рівня $n-1$, і до кінця цієї фази досягається загальномережева синхронізація. Знову ж таки, кореневий вузол починає *фазу синхронізації*, надсилаючи пакет `time_sync`. Вузол А рівня n синхронізується з вузлом В рівня $n-1$ за допомогою двостороннього обміну

повідомленнями. Вузол А відправляє пакет разом із місцевим часом передачі T_1 . Вузол В приймає пакет в момент часу T_2 , який можна обчислити як [5]:

$$T_2 = T_1 + T_d + \Delta \quad (3)$$

де T_d є затримкою розповсюдження, а Δ є відносним зміщенням тактової частоти між вузлами, і обидва вважаються постійними протягом часу обміну повідомленнями. Вузол В чекає випадковий час і відповідає назад на вузол А через пакет підтвердження в момент T_3 , який включає значення T_1 , T_2 , T_3 і номер його рівня. Як тільки вузол А отримає цей пакет в T_4 , він може обчислити Δ і T_d наступним чином [5] і синхронізуватися з вузлом В.

$$\Delta = \frac{(T_2 - T_1) - (T_4 - T_3)}{2}; \quad T_d = \frac{(T_2 - T_1) + (T_4 - T_3)}{2} \quad (4)$$

Цей метод синхронізації всіх вузлів на рівні n до вузлів на рівні $n-1$ триває до тих пір, поки всі вузли в мережі не синхронізуються.

Порівнюючи TPSN з RBS, TPSN має більше накладних енергетичних витрат, ніж RBS. Пакети, надіслані для вибору кореневого вузла, і ті, що надіслані на фазі виявлення рівня, вважаються накладними витратами. Цей вид накладних витрат скорочує термін служби мережі, особливо якщо кореневі вузли так часто гинуть у мережі, і весь метод синхронізації повинен бути повторений. Ми виявили, що RBS та TPSN працюють дуже добре з точки зору точності. Точність їх становить кілька мікросекунд. Оскільки надсилання та отримання пакетів є найбільш енергоємним завданням при синхронізації мережі, кількість пакетів, необхідних для синхронізації пари вузлів, може бути використана для оцінки енергоефективності.

У RBS, який є алгоритмом від приймача до приймача, 4 пакети надіслані та 3 пакети отримані для синхронізації двох вузлів. У TPSN 2 відправлені та 2 отримані пакети для синхронізації двох вузлів. Незважаючи на те, що TPSN звучить більш енергоефективно, той факт, що для виявлення рівня в TPSN потрібні додаткові відправлені та отримані пакети, і той факт, що більше ніж один приймач може синхронізуватися в одному імпульсі в RBS. Деревовидні алгоритми синхронізації гнучкі, і на основі заданої точності складність може бути як високою, так і низькою. Кореневий вузол відіграє головну роль у цих алгоритмах і може бути підключений до зовнішніх вузлів, щоб отримати реальний час життя.

Література

1. J. Elson, L. Girod, and D. Estrin, "Fine-Grained Time Synchronization using Reference Broadcasts," Proceedings of the Fifth Symposium on Operating Systems Design and Implementation (OSDI 2002), Boston, MA, December 2002.
2. M.L. Sichitiu and C. Veerarittiphan, "Simple, Accurate Time Synchronization for Wireless Sensor Networks," Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003. 2003 IEEE Volume 2, 20-20 March 2003 pps.1266 - 1273 vol.2.
3. S. Ping, "Delay Measurement Time Synchronization For Wireless Sensor Networks," Technical Report, Intel Research Berkeley Lab, 2003.
4. F. Sivrikaya and B. Yener, "Time Synchronization in Sensor Networks: A Survey," Network, IEEE Volume 18, Issue 4, July-Aug. 2004, pps.45 – 50.
5. S. Ganeriwal, R. Kumar, and M. Srivastava, "Timing Sync Protocol for Sensor Networks," ACM SenSys, Los Angeles, November 2003.