

SINKRONISASI WAKTU PADA *WIRELESS SENSOR NETWORK* (JARINGAN SENSOR NIRKABEL)

Adkhan Sholeh

Program Studi D3 Manajemen Informatika
STMIK Jenderal Achmad Yani Yogyakarta

adkhan75@live.com

Abstrak

Wireless sensor network (WSN) merupakan jaringan yang dibentuk oleh node-node berupa perangkat sensor. Untuk dapat mengirimkan data melalui jaringan dan memenuhi berbagai kebutuhan pembacaan data, sangatlah penting suatu node mempunyai sumber informasi waktu yang tepat dan sinkron terhadap node-node lainnya. Persoalan sinkronisasi waktu dalam sistem terdistribusi adalah keniscayaan, termasuk dalam WSN. Karakteristik khusus node WSN memberikan tantangan yang unik untuk sinkronisasi waktu, di samping persoalan-persoalan yang umum dijumpai terkait sinkronisasi waktu antar node dalam suatu jaringan. Tulisan ini menguraikan pentingnya sinkronisasi waktu untuk WSN, penelitian-penelitian serta metode sinkronisasi yang telah dihasilkan, serta gambaran umum masalah-masalah dalam sinkronisasi waktu dalam WSN.

Kata kunci: jaringan, sinkronisasi waktu, WSN, protokol, clock.

1. Pendahuluan

Salah satu karakter yang paling membedakan antara *wireless sensor network* (WSN) dengan jaringan komputer umumnya adalah tidak adanya infrastruktur yang menghubungkan dan mengatur node-node dalam WSN. Jaringan WSN tidak difasilitasi dengan *switch* ataupun *router* seperti dalam jaringan komputer konvensional. Koneksi dan komunikasi yang berlangsung terbentuk secara kolektif oleh *node-node* dalam WSN. *Node-node* tersebut harus bekerja sama dengan saling meneruskan paket data dari sumber data hingga ke tujuannya. Kerja sama ini menghasilkan bentuk jaringan *multi-hop*.

Data dari suatu *node* sensor sering kali harus dilengkapi dengan informasi waktu sebelum dikirimkan ke *node* lain. Pada berbagai aplikasi dan sistem operasi terdistribusi, termasuk WSN, sinkronisasi waktu merupakan layanan kunci yang harus tersedia. Informasi waktu ini tidak jarang bersifat mutlak pada aplikasi-aplikasi seperti pengukuran kecepatan, pelacakan obyek, dan pemantauan cuaca yang berbasis WSN. Terdapat pula kepentingan untuk membaca label waktu dalam proses pengolahan data, semisal untuk kompilasi data. Oleh karena itu sinkronisasi waktu antar *node-node* menjadi sangat penting. Sinkronisasi waktu antar *node* mungkin diperlukan di tingkat jaringan WSN lokal, bisa juga pada jaringan WSN yang lebih luas (global).

Protokol sinkronisasi waktu yang paling banyak diaplikasikan untuk jaringan internet adalah Network Time Protocol (NTP). Pada jaringan yang *node-node*-nya dilengkapi sensor GPS, sinkronisasi waktu dapat dilakukan dengan memanfaatkan label waktu dari satelit GPS. Sayangnya, NTP dan GPS tak dapat diimplementasikan pada WSN. Daya komputasi yang rendah dan sumber energi yang terbatas menjadi penghalang penerapan NTP pada *node* WSN. Adapun penggunaan sensor GPS akan terlalu mahal pada *node* sensor yang umumnya berbiaya murah. Selain itu, pemasangan sensor di bawah air atau di dalam gedung akan menghalangi penerimaan sinyal GPS.

2. Latar Belakang dan Penelitian Terkait

Penelitian Lamport (1978) merupakan tonggak dalam sinkronisasi waktu komputer. Lamport menekankan pada waktu virtual di mana kausalitas (urutan kejadian) lebih penting dibandingkan waktu absolut. Terdapat aplikasi yang hanya memerlukan waktu relatif, misalnya pengukuran propagasi suara, sehingga waktu absolut tidak diperlukan. NTP yang diajukan Mills (1991) mencuat karena skalabilitasnya, mempunyai kemampuan mengkonfigurasi sendiri pada jaringan *multi-hop*, tahan terhadap kerusakan dan sabotase, dan sudah digunakan di banyak jaringan.

Elson dan Estrin (2003) memelopori penelitian sinkronisasi waktu di mana tiap-tiap *node* normalnya tidak tersinkronisasi dengan jaringan. Cara kerjanya adalah dengan menempatkan sebuah *node* suar yang secara periodik menyebarkan pesan ke *node-node* sensor yang berada dalam jangkauannya. Ketika suatu *event* (kejadian) terdeteksi sensor, *event* ini akan dicatat menggunakan referensi waktu lokal *node* tersebut. Segera setelah *node* itu menangkap pesan yang disebar oleh *node* suar, maka label waktu dalam *event* itu segera diganti menggunakan referensi waktu *node* suar. Skema sinkronisasi waktu ini disebut sebagai protokol Reference Broadcast Synchronization (RBS).

Di tahun 2002 protokol RBS dipertajam dengan penyebaran pesan referensi melalui lapisan fisik (Elson, dkk., 2002). RBS mengabaikan beberapa faktor dengan hanya menggunakan waktu tibanya pesan referensi. Karena kesamaan waktu tibanya pesan referensi pada semua *node*, maka pesan yang disebar bisa digunakan sebagai acuan oleh sejumlah *node* penerima pesan referensi tersebut. Skema ini dapat diperluas pada kasus jaringan *multi-hop* yang diperluas, meskipun masih diperlukan studi lanjut terkait dengan dampak kesalahan translasi, adanya jeda, serta belum dipertimbangkannya sinkronisasi global pada keseluruhan jaringan.

Protokol TPSN (Timing-Sync Protocol for Sensor Network) diajukan oleh Ganeriwal, dkk. (2003) dengan metodologi yang sama pada NTP, di mana *node-node* sensor diatur dalam struktur bertingkat dan disinkronisasikan waktunya dengan *node* tertinggi (*node root*). Berbeda dengan Internet, *node root* dan *node-node* di bawahnya yang bertanggung jawab untuk sinkronisasi boleh jadi lebih sering rusak. Selain itu *node-node mobile* bisa mengacaukan prosedur sinkronisasi yang sudah terbentuk. Pada platform WSN tertentu yang menggunakan TPSN, dimungkinkan mengakses lapisan MAC, sehingga pemberian label waktu dapat dilakukan saat pengiriman dan penerimaan pesan. Hal ini bisa mengatasi 3 ketidakpastian utama dalam protokol RBS. Waktu propagasi antara dua *node* juga bisa dihitung dengan menerapkan proses *handshake* secara dua arah. Antara RBS dan TPSN, keduanya memiliki kelemahan yang sama karena ketidakpastian pengambilan label waktu dari lapisan MAC yang ditimbulkan oleh *jitter* dalam *interrupt handling* dan waktu untuk melakukan *decoding*.

Maroti, dkk. (2004) mengajukan Flooding Time Synchronization Protocol (FTSP) yang secara efektif mengurangi semua sumber kesalahan pelabelan waktu kecuali waktu propagasi. FTSP dirancang untuk aplikasi penempatan *sniper* yang memerlukan ketepatan sangat tinggi. Akurasi pada FTSP dicapai dengan menggunakan label waktu lapisan MAC yang dikustomisasi dan dengan menggunakan kalibrasi untuk menghilangkan jeda yang tidak diketahui. FTSP mampu bertahan terhadap kerusakan jaringan karena menggunakan *flooding* untuk koneksi berpasangan maupun sinkronisasi global. Regresi linier dari beberapa label waktu digunakan untuk memperkirakan pergeseran jam dan *offset*. Kelemahan utama FTSP adalah perlunya kalibrasi pada *hardware* yang dipakai. FTSP juga memerlukan akses ke lapisan MAC. Namun dari sisi akurasi, FTSP bisa mencapai angka kurang dari 2 μ s jika kalibrasinya bagus.

3. Sinkronisasi Waktu

3.1 Waktu dan Sinkronisasi

Sebuah *node* sensor umumnya dilengkapi dengan *clock* (jam) yang bersumber dari hitungan osilasi kristal *quartz*. Terdapat kemungkinan ada perbedaan waktu antara dua *node* yang disebabkan oleh:

- 1) *node-node* tersebut dihidupkan dalam waktu yang berbeda. Beda waktu yang tertera antara kedua *node* disebut *offset*.

- 2) terdapat sedikit perbedaan frekuensi dari kristal *quartz* pada masing-masing *node*, sehingga dalam rentang waktu yang lama akan makin terlihat selisih waktu antara kedua *node*. Selisih waktu yang dihasilkan disebut *skew error*.
- 3) perubahan frekuensi dari kedua *clock* yang bisa muncul antara lain karena faktor suhu lingkungan. Akibatnya akan timbul pergeseran waktu yang disebut dengan *drift error*.

Meski setiap *node* sensor dilengkapi *clock* sendiri, waktu yang tertera biasanya tidak dibaca apa adanya. Bagaimanapun bagusnya kalibrasi *clock* saat *node* dipasang/dihidupkan, tetap saja *clock-clock* tersebut akan mengalami *error skew*. Dan karena adanya kelemahan pada semua *hardware* dari *clock* lokal, maka *clock* lokal masing-masing *node* akan saling bergeser. Lebih jauh lagi, waktu yang dilihat maupun interval waktu antara satu *node* dengan lainnya akan berbeda. Solusi untuk menghasilkan waktu yang akurat dan disepakati bersama adalah dengan pertukaran pesan untuk secara konstan melakukan penyesuaian atau *update* waktu.

3.2 Hardware Clock dan Software Clock

- *Hardware clock* adalah jam sensor untuk menunjukkan waktu yang bersumber dari *hardware* yang dipasang sebagai jam sensor.
- *Logical clock* adalah waktu yang ditampilkan sensor yang bersumber dari waktu yang sudah tersinkronisasi. *Logical clock* merupakan fungsi *software* dan hanya dihitung berdasarkan permintaan pada saat pembacaan *hardware clock*.

3.3 Definisi Sinkronisasi Waktu

Permasalahan sinkronisasi pada jaringan beranggotakan sejumlah perangkat adalah bagaimana menyamakan hitungan waktu antara perangkat-perangkat tersebut. Sinkronisasi global berupaya agar semua anggota jaringan dapat tersinkronisasi waktunya. Adapun sinkronisasi lokal, hanya mentargetkan sinkronisasi pada *node-node* yang jaraknya cukup dekat.

Menyamakan acuan waktu pada satu kesempatan dengan mengoreksi *offset* tidaklah cukup, karena perbedaan pada masing-masing *hardware clock* akan menimbulkan *error drift* yang berbeda-beda. Oleh karena itu skema sinkronisasi dilakukan dengan menyamakan kecepatan *clock* sekaligus *offset*-nya, atau dengan melakukan koreksi *offset* secara berulang-ulang agar dalam suatu periode *clock-clock* itu selalu tersinkronisasi.

Bentuk sinkronisasi dapat dibedakan menjadi:

- 1) Sinkronisasi untuk menentukan urutan kejadian dengan benar
- 2) Sinkronisasi yang bertujuan menjaga *clock* relatif. Pada jenis ini tiap *node* mempunyai jam lokal masing-masing, tetapi juga memantau informasi *drift* relatif dan *offset* mereka terhadap jam-jam yang ada pada jaringan.
- 3) Sinkronisasi 'selalu aktif' di mana tiap *node* memastikan agar *clock*-nya selalu sinkron dengan *clock* referensi dalam jaringan.

3.4 Faktor-faktor Penting dalam Sinkronisasi Waktu

- Temperatur: penempatan *node* sensor di berbagai tempat terbuka memunculkan naik turunnya suhu dalam berbagai rentang waktu. Variasi suhu ini dapat mempercepat atau memperlambat frekuensi *clock* sensor, yang berujung pada *error drift*.
- Derau fase: di antara penyebab *noise* (derau) adalah fluktuasi arus/tegangan pada antarmuka *hardware*, variasi respon sistem operasi terhadap *interrupt*, dan *jitter* pada jeda jaringan.
- Derau frekuensi, disebabkan oleh tidak stabilnya frekuensi *clock* kristal.
- Jeda asimetrik, yaitu perbedaan waktu tempuh antara *node* A ke *node* B dengan waktu tempuh dari *node* B ke *node* A. Hal ini bisa terjadi karena media perambatan gelombang adalah udara dan adanya kemungkinan perambatan tidak bisa secara segaris pandang (*line of sight*), melainkan dengan cara pemantulan.
- *Clock glitches*, yaitu lompatan tiba-tiba pada jam yang mungkin timbul karena anomali *hardware* maupun *software*.

3.5 Masalah-masalah Sinkronisasi dalam WSN

Sinkronisasi waktu menggunakan protokol NTP ataupun berbasis sinyal GPS tidak cocok diterapkan pada WSN. Hal ini karena adanya kebutuhan khusus pada jaringan WSN berupa:

- Presisi: Protokol NTP dapat memberikan tingkat presisi hingga beberapa milisekon. Pada beberapa aplikasi WSN, misalnya aplikasi *beam-forming*, kebutuhan terhadap pengukuran dengan presisi hingga di bawah milisekon sangat penting untuk dicapai.
- Biaya: *Node-node* pada WSN umumnya menggunakan sumber daya yang terbatas: catu daya (batere), daya komputasi, dan *storage* (penyimpanan). Sementara pada umumnya protokol yang dikembangkan

pada jaringan kabel harus melakukan pertukaran data berkali-kali serta menyimpan pesan-pesan itu untuk pengolahan statistik.

Masalah pada jaringan sensor modern adalah bahwa *node-node* hanya bisa berkomunikasi secara lokal dengan *node* tetangganya. Komunikasi yang dibatasi untuk lokal ini memunculkan masalah yang lebih sulit: 1) perlunya konsensus yang secara valid diperoleh dari komputasi lokal 2) konsensus lokal harus dibawa ke bagian jaringan yang lain, yang menjadi sangat sulit karena tergantung dengan bagian jaringan yang lain.

Secara umum, masalah-masalah sinkronisasi harus diselesaikan karena alasan-alasan berikut:

- 1) *node-node* sensor harus mengkoordinasikan operasi mereka dan saling berkolaborasi untuk menangani tugas penginderaan yang rumit
- 2) Fungsi penghematan daya memerlukan sinkronisasi untuk meningkatkan umur hidup jaringan. Penghematan daya sensor biasanya akan masuk mode *sleep* dengan mematikan salah satu atau semua dari alat pengindra dan pemancarnya, dan akan menyala kembali pada waktu yang telah dikoordinasikan. Sementara unit penerima sinyalnya tetap harus menyala untuk berjaga-jaga kalau ada data/pesan yang ditujukan kepadanya. Mekanisme penghematan daya ini memerlukan pengaturan waktu yang tepat di antara *node-node* yang berhubungan.
- 3) Algoritma penjadwalan pada WSN mengatur sharing penggunaan media transmisi berbasis waktu, dengan maksud menghindari tabrakan paket data (pesan) dan untuk menghemat energi.

3.6 Ketidakpastian dan Error dalam Sinkronisasi Waktu

Skema sinkronisasi waktu bergantung pada bagaimana pertukaran pesan di antara *node-node* dalam WSN. Faktor yang tidak bisa diukur dalam dinamika jaringan seperti waktu propagasi atau fisik waktu akses kanal menjadikan tugas sinkronisasi tantangan besar bagi banyak sistem. Perlu dicatat bahwa dalam penyebaran *multi-hop* jarak pendek, waktu pemrosesan data dan variasinya memberikan kontribusi terbesar terhadap fluktuasi waktu dan perbedaan dalam penundaan akibat perbedaan jalur yang ditempuh. Juga, beda waktu antara dua *node* sensor dapat menjadi besar dari waktu ke waktu. Sesungguhnya estimasi latensi dikacaukan oleh kejadian acak yang menyebabkan penundaan pada pengiriman pesan bolak-balik yang jalurnya asimetris. Penundaan ini menghalangi penerima untuk membandingkan jam lokal dari dua *node* secara

presisi dan melakukan sinkronisasi secara akurat dengan *node* pengirim. Untuk lebih memahami sumber-sumber error ini, perlu dilakukan penjabaran dari sumber-sumber *latency* pesan itu. Kopetz dan Ochsenreiter (1987) mengajukan empat komponen yang berbeda untuk menganalisis sumber keterlambatan pengiriman dan kemudian diperluas oleh Ganeriwal, dkk. (2003):

- Waktu Kirim: Waktu untuk membangun pesan oleh *node* pengirim.
- Waktu Akses: Setiap paket menghadapi beberapa penundaan di lapisan MAC (Medium Access Control) sebelum transmisi yang sebenarnya. Penundaan ini hanya pada penggunaan protokol MAC.
- Waktu Propagasi: ini adalah waktu yang dibutuhkan untuk penyebaran pesan antara antarmuka jaringan dari pengirim dan penerima. Ketika pengirim dan penerima berbagi akses ke media fisik yang sama, delay ini sangat kecil karena hanya berupa waktu propagasi pesan via media fisik.
- Waktu Penerimaan: ini adalah waktu yang diperlukan oleh antarmuka jaringan penerima untuk menerima pesan dari saluran dan memberitahu sejumlah kedatangannya.
- Waktu Transmisi: Waktu yang diperlukan oleh pengirim untuk mengirimkan pesan, yang besarnya mencapai puluhan milidetik tergantung pada panjang pesan dan kecepatan radio yang digunakan.
- Waktu Terima: Waktu yang diperlukan penerima untuk menerima pesan.
- Waktu Penanganan Interrupt: penundaan akibat mikrokontroler harus menanggapi interupsi.
- Waktu *Encoding*: Waktu yang diperlukan untuk *chip* radio untuk mengkodekan dan mengubah bagian pesan ke gelombang elektromagnetik mulai dari saat ketika munculnya interupsi yang menunjukkan penerimaan pada titik ideal dari mikrokontroler .
- *Decoding Time*: Waktu yang diperlukan untuk *chip* radio di sisi penerima untuk mengubah pesan dari gelombang elektromagnetik jadi data biner.
- Waktu *Byte* Penyelarasan: Penundaan yang terjadi karena *byte alignment* yang berbeda dari pengirim dan penerima.

4. Penutup

Sinkronisasi waktu merupakan salah satu layanan penting bagi aplikasi-aplikasi WSN tertentu. Pada jaringan komputer konvensional, khususnya Internet, telah dikembangkan protokol NTP yang cukup matang untuk keperluan

sinkronisasi waktu *node-node* dalam jaringan. Namun WSN mempunyai karakter khusus yang menyebabkan WSN tidak bisa mengadopsi protokol NTP. Demikian pula sinkronisasi berbasis GPS, yang memunculkan biaya relatif besar dibandingkan keberadaan satu *node* sensor itu sendiri.

Dalam ringkasan artikel ini telah disampaikan permasalahan-permasalahan pokok yang menjadi perhatian utama dalam sinkronisasi waktu untuk jaringan WSN. Masalah inti sinkronisasi sensor *network* sendiri bersumber pada ketidakempurnaan *hardware* yang dipakai sebagai penyedia *clock* bagi sebuah *node* sensor. Ditambah faktor-faktor eksternal yang berkaitan dengan kondisi di mana sebuah *node* sensor dipasang, dan bagaimana *node* sensor hanya mempunyai pilihan metode komunikasi *wireless*, maka terjadilah akumulasi faktor-faktor yang menjadikan sinkronisasi waktu tersebut makin sulit.

Perbedaan kebutuhan sinkronisasi telah mendorong beberapa penelitian menghasilkan beberapa jenis sinkronisasi. Berbagai metode yang dikembangkan antara lain: Reference Broadcast Synchronization (RBS), Timing-Sync Protocol for Sensor Network (TPSN) dan Flooding Time Synchronization Protocol (FTSP).

Daftar Pustaka

- Elson, J. & Estrin, D., 2003. *Time Synchronization for Wireless Sensor Networks*. Disertasi. Los Angeles: University of California.
- Elson, J., Girod, L. & Estrin, D., 2002. Fine-Grained Network Time Synchronization Using Reference Broadcasts. *ACM SIGOPS Operating Systems Review*, 36(SI), pp. 147-163.
- Ganeriwal, S., Kumar, R. & Srivastava, M.B., 2003. Timing-sync Protocol for Sensor Network. Prosiding. *The 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 138-149.
- Kopetz, H. & Ochsenreiter, W., 1987. Clock Synchronization in Distributed Real-Time Systems. *IEEE Transactions on Computers*, 100(8), pp. 933-940.
- Lamport, L., 1978. Time, Clocks, and The Ordering of Events in A Distributed System. *Communications of the ACM*, 21(7), pp. 558-565.
- Maroti, M., Kusy, B., Simon, G. & Ledeczi, A., 2004. The Flooding Time Synchronization Protocol. Prosiding. *The 2nd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 39-49.
- Mills, D. L., 1991. Internet Time Synchronization: The Network Time Protocol. *IEEE Transactions on Communications*, 39(10), pp. 1482-1493.