

## TEKNIK FAULT TOLERANCE UNTUK SENSOR JARINGAN WIRELESS

**Nasir Suruali**

Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura Ambon

e\_mail : *nasir\_si2003@yahoo.com*

### ABSTRAK

*Embedded sensor jaringan adalah suatu sistem nodes yang masing-masing dilengkapi dengan sensing, actuating, computation, communication, dan storage resources, dengan tujuan untuk menghasilkan biaya eksploitasi yang rendah serta teknik fault tolerance yang handal. Permasalahannya adalah bagaimana supaya backup fault tolerance embedded sensor jaringan dapat di desain agar satu jenis resource dapat digantikan dengan yang lain. Pada awalnya diusulkan satu spektrum yang lebar dari teknik fault tolerance heterogen untuk sensor jaringan mencakup komunikasi dan sensing serta saling mem-backup satu sama lain. Kemudian, beralih kepada dua pendekatan yang spesifik, di mana satu jenis sensor dapat membackup jenis sensor yang lain. Diasumsikan kesalahan dihasilkan dari malfunction, dan kesalahan tingkat tinggi. Secara rinci, diperkenalkan teknik multimodal peleburan sensor yang efisien. Selain itu tiap teknik, memiliki efisiensi algoritma dan efektivitas yang berbeda.*

**Kata Kunci** : *fault tolerance, sensor jaringan wireless, multimodal peleburan sensor.*

### ABSTRACT

*Networking embedded sensor is a nodes system with sensing, actuating, computation, communication, and storage resources facilities designed to yield a lower exploitation cost and a reliable tolerance fault technique. Problem is how to design this a backup fault tolerance of this sensor where every kind of resource can be replaced by others. At the beginning we propose a single spectrum which more wide than heterogeneous tolerance fault technique for networking sensor that consist of comunication and sensing and can support one another. After that, we shift to two specific approaches which one kind of sensor can back-up others. We assume the errors resulted from malfunction and high-level fault, and each technique has a different efficiency algorithm and effectivity.*

**Keywords**: *fault tolerance, wireless networking sensor, multimodal melted sensor.*

### PENDAHULUAN

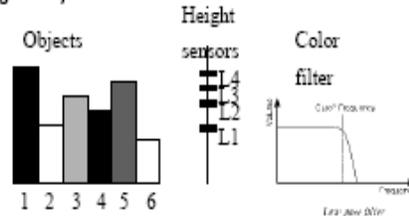
Embedded sensor dan sistem *actuator-based* berpotensi untuk menyediakan jembatan yang murah antara fisik dan dunia computational. Selain itu, juga didefinisikan bagaimana sistem yang berbasis-komputer dirancang dan digunakan. Beberapa persyaratan operasi sistem yang independen antara lain, lokasi pengolahan informasi, energi yang rendah, biaya yang murah, dan keandalan fault tolerance teruji ketika disain sistem yang lebih rumit. Walaupun fault tolerance telah dipelajari pada beberapa dekade dalam komputer dan sistem VLSI, keandalan hakiki yang luar biasa dari VLSI teknologi integrated sirkuit dan operasi pada lingkungan dalam keadaan yang baik terbatas pada pentingnya fault tolerance dalam mayoritas computing sistem.

Bagaimanapun, sensor jaringan akan sering beroperasi dalam potensi yang selalu kontradiktif, kasar dan lingkungan tak terkondisi. Persentase aplikasi jaringan akan menjadi misi kritis, ketika mereka akan melanjutkan operasi, kompleksitas struktural lebih tinggi, dan komponen seperti sensor dan actuator mempunyai rata-rata kesalahan yang lebih tinggi dibanding tradisional semiconductor integrated circuits-based sistem. Sebagai tambahan, pemeliharaan dan penggantian komponen yang mahal akan menjadi penghalang. Oleh karena itu, persyaratan untuk energi yang rendah dan dalam cost sensitivitas tertentu menyiratkan bahwa teknik double tradisional dan triple reduksi fault tolerance bukan solusi yang memenuhi syarat untuk embedded sensor sistem.

Tujuan makalah ini adalah untuk menganalisa fault tolerance dan hubungannya dengan persyaratan dalam embedded sensor jaringan, teknik pengembangan dan algoritma untuk memenuhi tingkat efisiensi. Kita menekankan pada pentingnya beberapa macam teknik faulttolerance, di mana satu type tunggal dari resource membackup jenis resource yang lain. Ide kuncinya adalah untuk menyesuaikan aplikasi algoritma sistem operasi dengan hardware yang tersedia dan aplikasi yang dibutuhkan. Kita mengharapkan bahwa tiap lima type utama jenis resource: komputasi, penyimpanan, komunikasi, sensing dan actuating dapat saling bergantian satu sama lain dengan perubahan system dan aplikasi software. Sebagai contoh, jika bandwidth komunikasi dikurangi dan semua power komputasi tersedia, sistem dapat mengompres data menggunakan beberapa rencana komputasi kompresi yang intensive. Atau kebalikannya, ketika komputasi power dikurangi dan komunikasi tersedia secara penuh, node dapat mentransmisikan lebih banyak data kepada node yang lain untuk diproses.

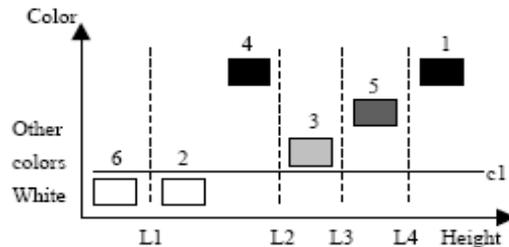
Bagaimana cara mem-backup satu jenis sensor dengan sensor yang lain. Ada dua pertimbangan utama: Pertama, kecenderungan teknologi mengindikasikan bahwa sensing dengan jarak jauh dan tingginya rata-rata fault di antara lima jenis resource. Yang kedua adalah bahwa ada suatu konsensus bahwa peleburan multimodal sensor adalah kunci untuk keberhasilan penggunaan dari embedded sensor jaringan.

Permasalahan dalam fault-tolerant multimodal peleburan sensor untuk sensor biner digital dapat secara informal diuraikan dengan cara seperti pada Gambar 1a-c. Pertama diperkenalkan permasalahan dalam multimodal peleburan sensor. Diasumsikan bahwa dua type sensor diberi satu objek ukuran tinggi dan satu dengan ukuran warna. Masing-Masing obyek adalah unik dalam beberapa hal dan tidak ada dua object secara serempak mengidentifikasi warna dan ketinggian. Semua sensor adalah biner. Dan masing-masing tinggi sensor menandai tinggi atau rendahnya observasi obyek dari nilai tertentu. Dengan cara yang sama, masing-masing sensor warna menggunakan suatu saringan untuk mengidentifikasi ada atau tidaknya warna dari obyek tertentu dari jenis tertentu atau tidak. Kita mempunyai 5 sensor seperti ditunjukkan dalam Gambar 1a. Lagipula, demi kesederhanaan, diasumsikan bahwa kedua warna dan tingginya sensor mempunyai cost yang sama. Akhirnya, kita berasumsi bahwa semua pengukuran adalah tepat. Lokasi resource Sensor dan permasalahan task meminta untuk mengidentifikasi jumlah minimal sensor yang diperlukan untuk dengan uniknya mengidentifikasi tiap objek yang dibaca sensor.



Contoh 1a. tolerant multimodal peleburan sensor untuk sensor biner digital

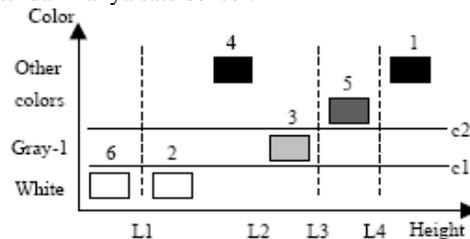
Penugasan Sensor resource adalah untuk mengidentifikasi karakteristik yang tepat (dalam kasus sensor warna – filter warna, dalam kasus tingginya sensor – level ketinggian) untuk tiap sensor diklasifikasikan sehingga dapat diselenggarakan. Gambar 1b menunjukkan satu solusi yang menggunakan satu sensor warna dan empat ketinggian sensor.



Contoh 1b. tolerant multimodal peleburan sensor untuk sensor biner digital

Apakah ada pilihan jika kita ingin mendesain suatu solusi fault tolerance di mana sensor satu kesalahan tunggal dapat ditoleransi? Pertama adalah dengan menduplikasi hardware. Untuk embedded sensor jaringan hasil ini tak dapat diterima. Pada kasus diatas, artinya terjadi penambahan 5 sensor ekstra. Pilihan yang kedua adalah menambahkan satu ekstra sensor dari tiap type backup. Sekarang kita dapat menggantikan kegagalan sensor dengan sensor dari jenis yang sama. Ongkos exploitasi adalah rendah- hanya dua sensor.

Bagaimanapun, kita mengusahakan sesuatu yang lebih baik. Anggaplah kita mengalokasikan hanya empat ketinggian dan dua sensor warna. Oleh karena itu, ongkos eksploitasi adalah hanya satu sensor. Kita masih mampu memfungsikan dengan baik bila ada sensor mendapatkan kesalahan. Inilah sebab kita dapat merubah klasifikasi algoritma untuk menyesuaikan dan mengadaptasi resource yang tersedia. Secara rinci, jika salah satu dari sensor warna mendapatkan kesalahan, kita dapat menggunakan solusi dari Gambar 1b. Solusi itu menggunakan 4 ketinggian dan satu sensor warna. Tetapi, jika salah satu dari sensor ketinggiannya mendapatkan kesalahan, kita dapat menggunakan klasifikasi rencana dari Gambar 1c. Sekarang, kita menggunakan 3 ketinggian dan 2 sensor warna. Oleh karena itu, fleksibilitas dalam prosedur rancangan memungkinkan untuk mempunyai solusi fault tolerance yang multimodal sistem sensor dengan ongkos eksploitasi dari hanya satu sensor.



Contoh 1c. toleran multimodal peleburan sensor untuk sensor biner digital

Yang harus dikerjakan adalah mensurvei pekerjaan yang terkait sepanjang tiga lintas utama: Teknik menghitung faulttolerance, wireless sensor jaringan, dan multimodal sensor peleburan. Fault tolerance sebagai konsep riset yang terkait dengan komputer telah dipelajari oleh hampir separuh abad. Pada awalnya, rendahnya keandalan komponen individu mendorong untuk mendesain sistem yang dapat dipercaya dengan pemanfaatan toleransi kesalahan dan redundansi. Khususnya, Moore dan Shannon [ Moo56] dan von Neumann [ von56] yang membangun pertama pendekatan sistematis untuk memperagakan teknik redundansi. Sejak itu, keandalan komponen individu telah meningkat secara dramatis, secara eksponen kebutuhan untuk sistem faulttolerant terus meningkat, khususnya dalam DRAM.

Sensor Jaringan wireless sudah muncul sebagai topik riset utama. Sejumlah profil aplikasi yang tinggi untuk sensor jaringan wireless telah diimpikan. Dalam pengukuran fault tolerance oleh suatu kelompok sensor, pertama dipelajari oleh Marzullo [Mar90]. Marzullo mengusulkan program proses control yang fleksibel yang mentolerance kesalahan sensor individu. Isu ditujukan termasuk memodifikasi spesifikasi dalam rangka mengakomodasi ketidak-pastian dalam nilai-nilai sensor dan rata-rata nilai sensor fault-tolerant. [Jay96] dikembangkan suatu algoritma yang menjamin output secara akurat dan dapat dipercaya dari sejumlah jenis sensor yang berbeda ketika paling banyak  $k$  keluar dari  $n$  sensor adalah salah. Hasil dari rencana adalah yang bisa diterapkan hanya untuk sensor individu fault tertentu dan jaringan tradisional. Mereka tidaklah bisa menyamaratakan kepada keandalan yang dibutuhkan dalam jaringan yang kompleks dan yang paling penting; mereka tidak mengalamatkan isu keandalan bahwa dibujuk oleh ad hoc alami dari sensor jaringan wireless.

Multi-Sensor peleburan data adalah suatu masalah yang telah menarik banyak perhatian masyarakat ilmiah dan engineering. Mayoritas dari pekerjaan ini terbatas kepada peleburan sensor dari sensor sesuatu modality.

### Fault Dalam Sensor

Pada bagian sebelumnya, telah diuraikan secara singkat garis besar fakta dan asumsi tentang fault model, pendeteksian fault, dan sensor jaringan embedded. Tiap node sensor mempunyai lima komponen: Komputasi, komunikasi, (storage) penyimpanan, sensor, dan actuator. Fault dan error model secara luas diterima untuk processor, FPGAbased komponen, SRAM dan DRAM, non volatile disk dan memori, serta sistem komunikasi. Bagaimanapun, situasi untuk actuator dan sensor adalah sangat berbeda. Keduanya jenis resource secara konseptual lebih rumit dan pada hakekatnya sangat berbeda, namun secara luas dan realistis bisa diterapkan fault dan error model.

Pada penulisan makalah ini, dibatasi pada fault dalam sensor. Diadopsi dua fault model. Pertama dihubungkan dengan sensor yang menghasilkan output biner. Dalam hal ini, sesungguhnya diharapkan sejumlah fault model yang bisa diterapkan. Sebagai contoh, satu model dapat menangkap kemungkinan hasil yang dilaporkan salah. Namun demikian, nampak bahwa paling logis dengan aplikasi cakupan yang berpotensi paling besar adalah model kesalahan permanen di mana hasil yang mungkin adalah

sensor berfungsi atau tidak. Untuk Fault model ini, prosedur pendeteksian kesalahan sering secara langsung: pada umumnya hanya mengamati keluaran dari sensor tersebut.

Fault model yang kedua adalah sensor analog atau multilevel digital output. Fault model untuk sensor jenis ini bahkan berbeda dan lebih rumit. Kita mengusulkan untuk mengukur level dari kesalahan output sensor individu dengan menggunakan multimodal model untuk peleburan sebagai indikasi dari level error dalam sensor.

Pendekatan ini mempunyai dua keuntungan. Pertama, pendekatan toleransi kesalahan sedemikian hingga teknik yang dikembangkan adalah variasi yang dapat digunakan untuk model kesalahan, terutama sekali adalah suite yang cocok untuk error dan kesalahan alamat yang temporer dalam pengukuran. Keuntungan kedua adalah pendekatan secara serempak dialamatkan pada pendeteksian kesalahan dan koreksi dengan asumsi bahwa semua sensor berfungsi dengan baik.

Wireless Embedded Sensor Networks (WESN) adalah system didtribusi kompleks yang ditempatkan dalam ad hoc. WESN terdiri dari sejumlah node sensor, masing-masing dengan jumlah komputasi, komunikasi, storage, sensing, dan actuating resource yang signifikan. Setelah arsitektur jaringan wireless tradisional telah berbasis pada sistem stasiun pangkalan statis, jelas bahwa multihop jaringan di mana tiap node berkomunikasi dengan beberapa node adalah arsitektur yang paling efisien dalam kaitan dengan penghematan energi dan penggunaan kembali bandwidth. Dalam multihop jaringan, tiap node berkomunikasi dengan node lain yang berjarak jauh menggunakan node antara untuk membangun alur komunikasi.

### Penugasan dan Alokasi Sensor Resource

Disini, dirumuskan *Sensor Resource Allocation* (SRA) dan menetapkan kompleksitas masalah tersebut, dan dapat dirumuskan dengan cara berikut.

Set  $a_1$  pada poin  $p_i$  ( $x_{i1}, \dots, x_{im}$ ), dalam dimensi ruang  $m$  di mana  $1 = i = n$ , Positif interger  $J_1$ , set  $H$  pada  $m(n-1)$   $[m-1]$ -dimensional hyperplanes adalah tegaklurus pada salah satu  $m$  axes, maka tiap hyperplane dipisahkan oleh dua point  $p_i$  dan  $p_j$  yang mempunyai koordinat terdekat sepanjang poros pada hyperplane adalah tegaklurus.

### Masalah Penugasan Fault Tolerance Resource

Disini, jelaskan pendekatan dan algoritma untuk penugasan sensor fault tolerance. Walaupun mudah memimpikan solusi yang monolitik, namun juga harus dipertimbangkan persyaratan toleransi kesalahan dan alokasi sensor serta masalah penugasan, mengikuti prinsip separasi dan orthogonality, dirancang sistem modular yang memisahkan mekanisme optimisasi untuk subtask: penugasan sensor, alokasi sensor, dan toleransi kesalahan. Tiga langkah-langkah ini dijelaskan berikut.

Ditetapkan dua algorithmic engine yang berbeda pada masalah RSA: berbasis ILP dan simulasi berbasis annealing. Dasar pemikiran di belakang pendekatan *integer linear programming* (ILP) adalah bahwa walaupun ILP solvers sering tidak cepat, namun menarik karena menjamin solusi yang optimal. Selain itu juga diharapkan bahwa untuk beberapa kejadian kecil dari kepentingan praktis dapat dipecahkan menggunakan pendekatan ini. Yang penting adalah bahwa kita harus mencari solusi bagi masalah SRA sebelum menetapkan biaya komputasi waktu atas stasiun-kerja yang mungkin bisa diterima. Pada kasus ketika ILP tidak bisa diterapkan, kita menyediakan pilihan dari penggunaan simulasi annealing sebagai mekanisme optimisasi.

Formulasi ILP untuk masalah SRA dapat dinyatakan dengan cara berikut.

Masukan : set  $n$ ,  $m$ -dimensional menunjuk  $p_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im})$ ,  $1_s \dots i_{sn}$ . Set semua test yang mungkin  $T$ , dengan lements  $t_k(1_s, t_{ksm}(n-1))$ , di mana  $(1(n-1)+1)$  untuk  $(1+1)(n-1)$  test adalah dalam dimensi  $1, 1_s \dots 1_s \dots m$ , masing-masing memisahkan dua titik yang terdekat dalam dimensi. Cost dari tiap tes  $t_k$  adalah  $c_k$ .

Kita menggambarkan variable  $X_k$  sebagai berikut:

$X_k=1$  jika test  $t_k$  terpilih

$X_k=0$  cara lainnya.

Fungsi sasaran adalah untuk memperkecil total biaya dari semua tes terpilih. Dengan kata lain:

$$\text{OF} : \sum_{k=1}^{m(n-1)} x_k \cdot c_k \quad (1)$$

Batasan masalah adalah, bahwa untuk tiap pasangan poin  $p_i$  dan  $p_j$ , di sana harus sedikitnya satu tes menghasilkan outcome yang berbeda ketika berlaku untuk dua poin ini. Kita gambarkan suatu matrik  $A[n \times k(m-1)]$  dengan unsur  $a_{ik}$  yang konstan,

$a_{ik}=1$  jika tes  $t_k$  menghasilkan 1 pada poin  $pi$   
 $a_{ik}=0$  Jika  $pi$  yang lain.

Menggunakan matriks  $A$  dan variabelnya, ditemukan suatu ungkapan linier yang menghasilkan nol, jika test menghasilkan hasil yang serupa pada kedua poin  $pi$  dan  $pj$  dan yang lainnya. Ungkapan seperti itu adalah  $X_k \times (a_{ik} + a_{jk}) \times (1 - a_{ik} \times a_{jk})$  memiliki property yang diperlukan. Oleh karena itu, untuk mendapatkan hasil percobaan yang berbeda pada tiap set dua poin  $pi$  dan  $pj$ , maka:

$$\sum_{k=1}^{m(n-1)} x_k \cdot (a_{ik} + a_{jk}) \cdot (1 - a_{ik} \cdot a_{jk}) \geq 2 \quad (2)$$

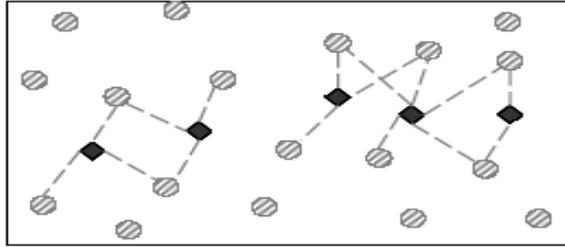
Kita menggunakan standard simulasi annealing kode. Empat komponen dari simulasi annealing (gerak-lingkungan struktur, fungsi objektif, mendingin jadwal, dan criteria pemberhentian) digambarkan dengan cara berikut. Gerak adalah penggantian dari satu sensor dengan sensor yang lain dari jenis yang sama. Hasilnya adalah untuk memaksimalkan fungsi yang objektif. Kita menggunakan geometrik standar penjadwalan. Akhirnya, Kriteria penghentian, kita menggunakan spesifikasi jumlah pemakai pada langkah-langkah di mana peningkatan tidak terjadi.

Kita melakukan alokasi resource dengan cara berikut. Pertama diusulkan solusi awal seperti banyaknya sensor adalah lebih rendah keterikatan dengan solusi yang potensial. Keterikatan dihitung dengan asumsi bahwa semua dimensi mempunyai jumlah sensor yang sama dan tiap dimensi  $n$  kompartemen akan secepatnya berisi satu poin. Setelah itu, dijalankan simulasi algoritma RSA annealing. Selama menjalankan proses, kita modifikasi gerak sedemikian rupa sehingga satu jenis sensor dapat digantikan oleh jenis sensor yang lain. Kita akumulasi statistik jenis bantuan sensor untuk meningkatkan objektif fungsi setelah masing-masing bergerak dan menggunakan informasi ini untuk memutuskan jenis sensor untuk menambahkan atau memindahkan. Untuk fault-tolerance, seseorang dapat menggunakan tiga mekanisme yang berbeda. Yang pertama adalah untuk menetapkan formulasi ILP atau dalam simulasi kode annealing yang tiap dua poin harus dipisahkan oleh sedikitnya  $r$  hyperplanes. Karena pendekatan ini sangat mengutamakan double redundancy, alternatif inisial tidak diterima.

Alternatif kedua adalah untuk menambahkan satu ekstra sensor dari tiap type untuk menghasilkan solusi alokasi masalah sensor resource. Ketika sejumlah besar sensor node tiap type yang digunakan, biaya eksploitasi relatif rendah. Juga, dalam hal ini kebutuhan penyimpanan atau komunikasi lebih dari satu resource solusi tugas dihapuskan. Oleh karena itu, jika moderat tingkat toleransi kesalahan diperlukan, ini bisa merupakan suatu alternatif yang menarik. Alternatif yang paling menarik dalam kaitan dengan biaya eksploitasi adalah ke pengungkitan atas heterogen backup dari sensor yang dilakukan dengan cara yang berbeda. Di sini kita menghasilkan alokasi dengan cara berikut. Pertama mengkalkulasi untuk masing-masing type sensor untuk seluruh lokasi  $k$  dari 1 untuk lebih kecil dibandingkan jumlah yang dialokasikan jauh lebih baik resource solusi alokasi dari biaya keseluruhan solusi. Setelah itu direncanakan semua biaya solusi atas  $y$ -axis pada grafik di mana  $x$ -axis adalah banyaknya sensor yang dialokasikan dari jenis yang dianalisa. Sedemikian kita memperoleh grafik  $m$ , di mana  $m$  adalah banyaknya sensor dari cara lain yang dilakukan. Sekarang kita harus menggunakan algoritma RSA untuk meneliti hanya alokasi yang lebih buruk dalam kaitan dengan biaya dibanding solusi yang optimal dan lebih baik daripada solusi dari alternatif yang kedua. Kita melakukan analisa ini dalam rangka didikte oleh terus meningkatnya biaya solusi yang diusulkan.

### TOLERANSI KESALAHAN DALAM SISTEM MULTIMODAL SENSOR

Ada beberapa cara teknik peningkatan kemampuan aplikasi yang telah diperkenalkan pada bagian sebelumnya. Satu kemungkinan adalah untuk menandai object yang menggunakan data statistik dan untuk membangun model statistik pengambilan keputusan menggunakan data dari sensor. Yang lain, sama penting dan sama besarnya opsi aplikasi domain adalah untuk melakukan peleburan multimodal sensor dalam rangka mendukung proses pengambilan keputusan. Sebetulnya, multimodal multilevel peleburan sensor telah muncul ketika salah satu masalah kronis dalam jaringan sensor. Secara informal itu dapat digambarkan dengan cara berikut. Sejumlah sensor, beberapa di antaranya dilakukan dengan cara yang berbeda. Hasil akhirnya adalah untuk mencari akurasi semaksimal mungkin informasi yang diminta oleh pemakai dari kekacauan pengukuran.



Tracking of an object by the sensors

Walaupun permasalahannya terlalu umum untuk dipecahkan dengan efisien menggunakan pendekatan tunggal, ada suatu cara yang sistematis untuk menunjuk masalah. Yang diperlukan adalah untuk mengembangkan atau menemukan yang lebih baik untuk beberapa model analisis yang telah dikembangkan yang berhubungan dengan jumlah pengukuran. Ketika suatu model analitis di assembled kan, pertanyaan yang penting adalah untuk mencoba menggambarkan dengan pengukuran kesalahan atau derajat ketinggian noise. Untuk menjawab pertanyaan ini adalah mencoba untuk menemukan suatu subset dari pengukuran yang menghasilkan konsistensi satuan model yang analitik. Sehingga, kita dapat mengkalkulasi jumlah nilai untuk semua jumlah yang menarik. Oleh karena itu, kunci untuk menyediakan multimodal peleburan sensor kesalahan yang toleran untuk menghasilkan model yang cukup kaya dari phisik dunia dan khususnya memastikan bahwa sistem adalah yang dapat dipecahkan bahkan ketika sebagian dari penyamaan tidak digunakan. Kesulitannya adalah bahwa sistem dari penyamaan adalah sering nonlinear dan oleh karena itu sangat sukar untuk mengatakan di depan ketika sistem digambarkan dalam beberapa hal bahwa itu dapat dengan uniknya dipecahkan.

Mungkin jauh lebih baik untuk memperjelas pendekatan yang diperkenalkan untuk mendekati contoh. Untuk tujuan ini kita menggunakan skenario ilustrasi pada Gambar 2. Suatu obyek O berjalan terus meliputi  $pi$  poin dalam embedded sensor jaringan yang terdiri dari sejumlah node yang masing-masing mewakili lingkaran  $n_i$ . Kita mempunyai empat jenis sensor: standar RSS menjangkau jarak, speedometer, accelerometer, dan kompas yang digunakan untuk mengukur sudut dalam ruang phisik 2D. Tiga pengukuran standar RSSI dapat digunakan untuk menempatkan obyek O dalam tiap momen tertentu. Mekanika Newton, dan hukum trigonometri dapat digunakan untuk menetapkan hubungan antar pengukuran. Secara rinci, Eq. 1-9 adalah trilateration penyamaan, Eq. 10-13 adalah persamaan hukum Newton dan Eq 14-15 adalah hukum trigonometri. Pengamatan kunci adalah bahwa kita mempunyai beberapa persamaan (15) dibanding variabel (12) itu mungkin mempunyai kesalahan.

$$(x_1 - s_1)^2 + (y_1 - t_1)^2 = R_1^2 \quad \text{Eq 1}$$

$$(x_1 - s_2)^2 + (y_1 - t_2)^2 = R_2^2 \quad \text{Eq 2}$$

$$(x_1 - s_3)^2 + (y_1 - t_3)^2 = R_3^2 \quad \text{Eq 3}$$

$$(x_2 - s_4)^2 + (y_2 - t_4)^2 = R_4^2 \quad \text{Eq 4}$$

$$(x_2 - s_5)^2 + (y_2 - t_5)^2 = R_5^2 \quad \text{Eq 5}$$

$$(x_2 - s_6)^2 + (y_2 - t_6)^2 = R_6^2 \quad \text{Eq 6}$$

$$(x_3 - s_7)^2 + (y_3 - t_7)^2 = R_7^2 \quad \text{Eq 7}$$

$$(x_3 - s_8)^2 + (y_3 - t_8)^2 = R_8^2 \quad \text{Eq 8}$$

$$(x_3 - s_9)^2 + (y_3 - t_9)^2 = R_9^2 \quad \text{Eq 9}$$

$$\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} = \frac{1}{2} \cdot a_1(\Delta t)^2 + v_1(\Delta t) \quad \text{Eq 10}$$

$$\sqrt{(x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2} = \frac{1}{2} \cdot a_2(\Delta t)^2 + v_2(\Delta t) \quad \text{Eq 11}$$

$$a_1 \cdot \Delta t = v_1 - v_0 \quad \text{Eq 12}$$

$$a_2 \cdot \Delta t = v_2 - v_1 \quad \text{Eq 13}$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \left( \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \quad \text{Eq 14}$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \left( \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} \right) \quad \text{Eq 15}$$

Maka, jika salah satu dari sensor tidak berfungsi, kita dapat mengkalkulasinya dari sistem yang dibentuk persamaan. Juga, untuk tiap variabel, kita dapat menemukan berapa banyak telah diubah dalam rangka membuat keseluruhan sistem dari persamaan yang maksimal konsisten. Variabel yang harus diubah adalah seperti pengukuran oleh sensor yang salah. Oleh karena itu, untuk mengidentifikasi dan mengoreksi pengukuran sensor adalah mencoba semua skenario di mana satu type pengukuran sensor tidak dimasukkan dalam diperhitungkan dan bandingkan maksimal kesalahan dalam sistem. Pengamatan lain yang sangat penting adalah dengan sampling semua operasional sensor lebih sering, kita dapat mengganti kerugian untuk sensor yang salah.

### Percobaan Lanjutan

Ada tiga alasan utama mengapa evaluasi dari pendekatan yang baru dan algoritma adalah suatu task yang menantang. Yang pertama adalah bahwasanya fault-tolerant sensor adalah suatu permasalahan NP-Complete oleh karena itu secara umum, tidak temukan solusi yang optimal untuk kejadian yang ditentukan. Alasan yang kedua adalah bahwa tidak ada dibentuk benchmarks dan hasil yang diterbitkan sebelumnya untuk masalah yang ditujukan. Kesulitan yang akhir adalah berhubungan dengan lapisan struktur dari masalah: harus dievaluasi alokasi resource sensor dan toleransi kesalahan. Meskipun demikian, masih mungkin untuk mengevaluasi algoritma yang diusulkan dalam sound; dan cara yang meyakinkan. Kita memisahkan proses evaluasi dalam dua sub task: satu di mana kita mengevaluasi algoritma untuk tugas sensor dan allon1 kation dan satu di mana kita mengevaluasi pendekatan fault-tolerance. Gagasan kunci untuk menghasilkan kejadian yang menantang untuk solusi yang optimal diketahui.

Bahwa, sebagai contoh, dapat terpenuhi dengan cara berikut. Demi kesederhanaan, kita berasumsi bahwa ongkos semua sensor dalam semua  $m$  dimensions adalah sama. Pertama dirancang suatu solusi. Solusi terdiri dari jumlah sensor yang sama pada setiap arah. Berikutnya, kita menempatkan satu obyek pada setiap  $m$  dimensional hypercube yang digambarkan oleh sensor yang terpilih tersebut. Masing-Masing obyek ditempatkan dalam penempatan yang acak dalam hypercube tersebut. Mudah melihat bahwa sensor yang terpilih adalah optimal. Kita dapat mengaburkan solusi dengan tidak menempatkan object dalam sejumlah kecil hypercubes atau dengan tidak menggunakan jumlah sensor yang sama pada setiap dimensi. Lagipula, kita dapat berkombinasi dua atau lebih kejadian dari permasalahan yang diciptakan untuk cakupan yang tak terjangkau untuk object dalam semua dimensi untuk menciptakan kejadian yang baru.

Kita juga dapat juga mengkombinasi kejadian kecil yang dipecahkan oleh pendekatan ILP untuk menciptakan kejadian baru yang lebih besar dari masalah dengan solusi yang dikenal. Evaluasi simulasi algoritma yang berbasis annealing ditunjukkan dalam Tabel 1. Dua kolom pertama menandai banyaknya object dan banyaknya dimensi. Tiga kolom menandai adanya ukuran solusi yang dihasilkan oleh simulasi program annealing dalam 2 menit pada 1 Gh Processor Pentium. Kolom akhir menandai adanya ukuran solusi optimal. Masing-Masing simulasi annealing berjalan 10 kali setiap waktu dalam kejadian yang berbeda dari masalah dengan karakteristik yang sama.

Experimental results for the Simulated Annealing (SA)-based algorithm

| Number of points | Dimension | SA-solution |        |      | Optimal |
|------------------|-----------|-------------|--------|------|---------|
|                  |           | worst       | median | best |         |
| 100              | 2         | 22          | 20     | 19   | 18      |
| 100              | 3         | 15          | 13     | 12   | 12      |
| 200              | 2         | 33          | 30     | 28   | 28      |
| 300              | 3         | 25          | 20     | 18   | 18      |
| 500              | 4         | 23          | 19     | 16   | 16      |
| 800              | 4         | 26          | 22     | 19   | 18      |
| 1000             | 5         | 25          | 20     | 17   | 15      |

Sebagai evaluasi dari pendekatan fault toleran, kita menggunakan random hasil kejadian yang dipecahkan menggunakan simulasi pendekatan annealing. Tabel 2 merupakan ringkasan hasil. Dua kolom pertama menandai banyaknya object dan banyaknya dimensi. Kolom lain menunjukkan banyaknya tambahan sensor yang digunakan oleh fault toleransi plan pada 20 kejadian dari tiap type. Dapat dilihat signifikan cost yang dihasilkan dari pendekatan yang digunakan

Evaluation of the fault tolerance using the SA-based approach.

| Number of points | Dimension | Average overhead |
|------------------|-----------|------------------|
| 200              | 4         | 3.0              |
| 300              | 5         | 3.8              |
| 500              | 5         | 4.0              |
| 800              | 6         | 4.6              |

## KESIMPULAN

Sudah dikembangkan pendekatan baru untuk mendisain fault-tolerant jaringan sensor dengan ongkos eksploitasi yang rendah, dengan tujuan untuk menggunakan satu jenis sensor untuk mem-backup sensor yang lain dengan pemanfaatan fleksibilitas selama multimodal pelepasan data sensor. Kita telah merumuskan masalah untuk dua jenis sensor yang berbeda, kompleksitas computational yang dibentuk dari beberapa permasalahan, dan sudah mengembangkan algoritma untuk memecahkannya. Akhirnya, sudah dipertunjukkan efektivitas dari algoritma dan pendekatan dengan cara khusus rancangan permasalahan di mana solusi yang optimal diperoleh.

## REFERENSI

- R. R. Brooks and S. S. Iyengar, "Multi-Sensor Fusion: Fundamentals and Applications With Software," Prentice-Hall, 1997.
- J. J. Clark and A. L. Yuille, Data Fusion for Sensory Information Processing Systems, Kluwer, 1990 [3]
- [Est00] D. Estrin, R. Govindan, and J. Heidemann. "Embedding the Internet: Introduction," Communications of the ACM, vol. 43, no. 5, pp. 38-42, 2000.
- G.D. Hager, "Task-Directed Sensor Fusion and Planning - A Computational Approach," Kluwer Academic Publishers, 1990.
- D.N. Jayasimha, "Fault tolerance in multi-sensor networks," IEEE Transactions on Reliability, vol. 45, no.2, pp. 308-15, June 1996.
- F. Koushanfar, M. Potkonjak, A. Sangiovanni- Vincentelli. "Fault tolerance techniques in wireless ad-hoc sensor networks", UC Berkeley technical reports, 2002.
- K. Marzullo, "Tolerating failures of continuousvalued sensors," ACM Transactions on Computer Systems, vol. 8, no.4, pp. 284-304, November 1990.
- E.F. Moore, C.E. Shannon, "Reliable Circuits Using Less Reliable Relays I," Journal Franklin Institute, vol. 262, pp. 191-208, September 1956.
- D.P. Siewiorek, R.S. Swartz. "Reliable Computer Systems: Design and Evaluation," 2nd edition, Digital Press, Burlington, MA, 1992.
- D. Tennenhouse, "Proactive Computing," Communications of the ACM, vol. 43, no. 5, pp. 43-50, 2000.
- P. K. Varshney, "Distributed Detection and Data Fusion," N.Y.: Springer-Verlag, 1997.
- J. Von Neumann, "Probabilistic logics and the synthesis of reliable organisms from unreliable components," In C. E. Shannon and J. McCarthy, Eds. Automata Studies. Princeton: Princeton University Press, pp. 43-98, 1956.
- W. H. von Alven (edited book), "Reliability Engineering," Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1964.
- M. Weiser, "The Computer of the Twenty-First Century," Scientific American, pp. 94-100, September 1991