

ANALISA KINERJA SISTEM DETEKSI TERDISTRIBUSI PADA JARINGAN SENSOR NIRKABEL

Eni Dwi Wardihani, Wirawan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Pasca Sarjana Teknik elektro bidang telekomunikasi Multimedia
Kampus ITS, Keputih, Sukolilo, Surabaya, Indonesia
E-mail: osa220102@yahoo.com, wirawan@ee.itc.ac.id

ABSTRAKSI

Pada sistem deteksi terdistribusi jaringan sensor nirkabel, sejumlah sensor disebar dalam suatu daerah tertentu untuk mendeteksi suatu target. Sensor mengumpulkan data dan membuat keputusan sementara berdasarkan data yang diperoleh. Keputusan sementara dari sensor dikirimkan ke pusat pengolahan data yang disebut fusion center. Fusion center membuat keputusan final hipotesa yang mendekati benar berdasarkan data yang dikirimkan sensor. Kinerja dari system dapat dilihat dari parameter yang dinamakan probabilitas deteksi system dan probabilitas false alarm. Disini akan dievaluasi parameter-parameter tersebut untuk berbagai macam kondisi jaringan sensor nirkabel.

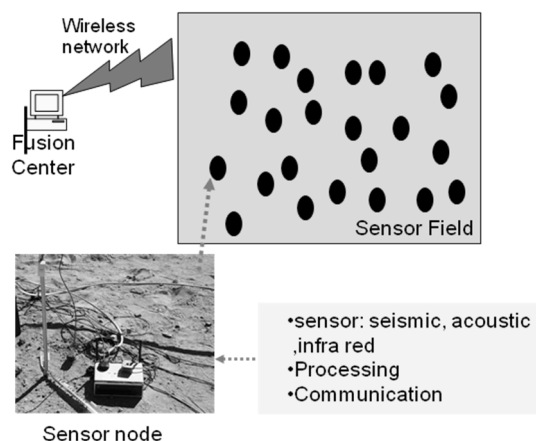
Kata kunci : deteksi terdistribusi , jaringan sensor nirkabel, fusion center, probabilitas deteksi, probabilitas false alarm

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini jaringan sensor nirkabel berkembang sangat pesat, hal ini dikarenakan jaringan sensor nirkabel mempunyai aplikasinya yang sangat luas diberbagai bidang kehidupan, seperti bidang militer, kesehatan, perumahan, industri, transportasi dan lingkungan. Di bidang militer contohnya, penyebaran yang cepat dan dinamis serta *self-organization* dari jaringan sensor membuat sistem ini menjadi suatu sistem penginderaan yang sangat menjanjikan untuk keperluan militer diantaranya dalam memberi aba-aba, sistem kontrol, dan intelijen. Dibidang kesehatan, jaringan sensor dapat digunakan untuk memonitor kondisi pasien, dinama data psikologis pasien dapat diakses menggunakan remote oleh dokter. Jaringan sensor juga dapat digunakan untuk mendeteksi penyebaran polutan/bahan kimia asing pada udara dan air, dapat membantu mengidentifikasi jenis, kadar dan lokasi dari polutan [1]

Sebuah jaringan sensor nirkabel terdiri dari sejumlah sensor yang disebar pada suatu daerah tertentu yang disebut sebagai sensor field/medan sensor. Penyebaran sensor ini dapat dilakukan secara acak atau mengikuti suatu pola tertentu. Masing-masing sensor dilengkapi dengan beberapa komponen utama yaitu sensor, memori dan peralatan komunikasi.

Salah satu ciri dari jaringan sensor nirkabel yang harus diperhatikan adalah keterbatasan energi dan bandwidth dari jaringan sensor nirkabel. Hal ini disebabkan karena rata-rata sensor dicatu oleh baterai yang mempunyai lifetime sangat terbatas. Bandwidth komunikasi pada jaringan sensor nirkabel juga sangat terbatas.



Gambar 1. Jaringan Sensor Nirkabel

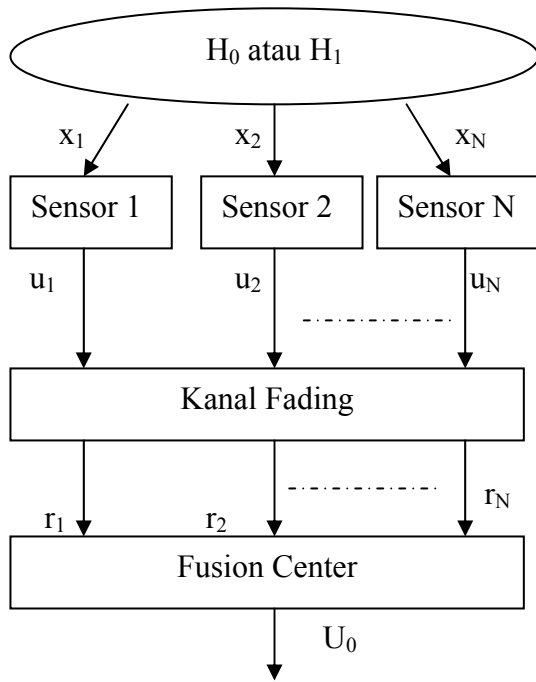
Salah satu cara untuk mengatasi hal ini adalah dengan sistem deteksi terdistribusi dimana sensor melakukan pengolahan data untuk membuat keputusan sementara dan mengirimkan hasil keputusannya ke pusat pengolahan data atau fusion center. Keputusan dari sensor merupakan bilangan biner, '0' jika tidak ada target dan '1' jika ada target. Fusion center yang akan membuat keputusan final ada tidaknya target.

2. PERMASALAHAN

Pada paper ini akan dibandingkan metode pengambilan keputusan pada Fusion Center untuk berbagai macam kondisi dari jaringan. Kinerja dari sistem dapat dilihat dari parameter deteksi yaitu probabilitas deteksi dan probabilitas error dari masing-masing metode untuk berbagai variasi nilai SNR

3. MODEL SISTEM DAN PERUMUSAN MASALAH

Model sistem deteksi terdistribusi pada jaringan sensor nirkabel yang dipengaruhi kanal fading, dengan topologi paralel dapat dilihat pada gambar. 2. Dari gambar tersebut terdapat tiga bagian utama, yaitu sensor, kanal fading dan fusion center.



Gambar 2. Model sistem deteksi terdistribusi pada jaringan sensor nirkabel dengan topologi paralel.

3.1 Sensor

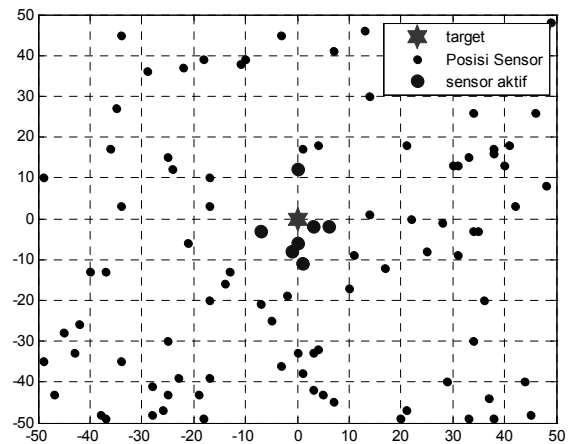
Terdapat tiga hal penting pada sensor, yaitu model penyebaran sensor, Model deteksi sensor, kinerja deteksi sensor.

3.1.1 Model Penyebaran Sensor

Terdapat N sensor yang disebar secara acak pada area yang diinginkan (Region of Interest/ROI), dengan luas a^2 . Lokasi dari sensor diasumsikan identik independent distributed (i.i.d) berdistribusi uniform [2]

$$f(x_i, y_i) = \frac{1}{a^2} \left(-\frac{a}{2} \leq x_i, y_i \leq \frac{a}{2} \right) \quad (1)$$

Untuk $i=1, \dots, N$ dimana (x_i, y_i) adalah koordinat sensor ke i .



Gambar 3. Simulasi Penyebaran Sensor

3.1.2 Model Deteksi Sensor

Sensor mengubah energi fisik dari suatu kejadian alam kedalam sinyal elektrik. Diasumsikan sinyal yang dihasilkan oleh target menurun sebagai fungsi dari jarak antara target dengan sensor. Dipakai model redaman sinyal isotropik dimana [3] :

$$a_i^2 = \frac{P_0}{1 + \alpha d_i^n} \quad (2)$$

Atau ekuivalen dengan

$$a_i = \sqrt{\frac{P_0}{1 + \alpha d_i^n}}$$

Dimana P_0 adalah daya sinyal yang dipancarkan oleh target. d_i adalah jarak antara target dengan sensor ke i [3] :

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_t)^2 + (y_i - y_t)^2} \quad (3)$$

(x_t, y_t) adalah koordinat dari target, n adalah faktor penurunan eksponensial dan diambil 2 dan 3, α adalah konstanta redaman yang ditetapkan.

Diasumsikan noise pada sensor identik independent distributed dan berdistribusi Gaussian :

$$n_i \sim N(0, 1) \quad (4)$$

Hipotesa untuk sensor ke i :

$$H_1 : S_i = a_i + \eta_i \quad (5)$$

$$H_0 : S_i = \eta_i$$

Dimana s_i adalah sinyal yang diterima sensor ke i dan a_i adalah amplitudo dari sinyal.

3.1.3 Kinerja Deteksi Sensor

Diasumsikan semua sensor menggunakan threshold yang sama dalam membuat keputusan. Performa deteksi pada tiap sensor dapat dikarakteristikan dengan menggunakan probabilitas deteksi (p_d) dan probabilitas false alarm (p_{fa}) dari

sensor. Probabilitas false alarm dari sensor ke i adalah :

$$p_{fa} = p(u_i = 1 | H_0) = \int_{\tau}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = Q(\tau) \quad (6)$$

Probabilitas deteksi sensor ke i :

$$\begin{aligned} p_{di} &= p(u_i = 1 | H_1) = \int_{\tau}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-a_i)^2}{2}} dt \\ &= Q\left(\tau - \sqrt{\frac{P_0}{1 + \alpha d_i^n}}\right) \end{aligned} \quad (7)$$

3.2 Kanal

Keputusan sensor dinotasikan dengan u_i untuk $i=1, \dots, N$ ditransmisikan melalui paralel kanal yang dipengaruhi oleh fading. Asumsi yang digunakan disini adalah :

- Diasumsikan kanal flat fading antara sensor dan fusion center.
- Phase yang diterima adalah koheren sehingga pengaruh dari kanal fading dapat disederhanakan sebagai perkalian skalar dengan sinyal biner yang dikirimkan.
- Noise kanal adalah additive white noise Gaussian dan tidak berkorelasi antar kanal.
- Varian noise identik untuk kanal yang berbeda.

Output dari kanal atau input fusion center untuk sensor ke i adalah:

$$r_i = h_i u_i + n_i \quad (8)$$

Dimana h_i adalah gain dari kanal fading dan n_i adalah zero mean Gaussian random variabel dengan varian= σ^2

3.3 Fusion Center

Data yang diterima dari semua sensor dinotasikan $R = \{r_i, i = 1, 2, 3, \dots, N\}$. Setelah menerima semua data dari sensor fusion center membuat keputusan final tentang ada tidaknya target.

Terdapat beberapa metode fusion rule antara lain adalah [4]:

1. Log Likelihood Ratio

$$\begin{aligned} \Lambda(r) &= \log \left[\frac{f(r_i | H_1)}{f(r_i | H_0)} \right] \\ &= \sum_{i=1}^N \log \left[\frac{pd_i e^{-\frac{(r_i - h_i)^2}{2\sigma^2}} + (1 - pd_i) e^{-\frac{(r_i + h_i)^2}{2\sigma^2}}}{pf_i e^{-\frac{(r_i - h_i)^2}{2\sigma^2}} + (1 - pf_i) e^{-\frac{(r_i + h_i)^2}{2\sigma^2}}} \right] \end{aligned} \quad (9)$$

dimana : σ^2 adalah varians dari AWGN. Aturan ini membutuhkan kinerja sensor yang baik dan informasi kanal yang lengkap.

2. Chair-Varshney

$$\Lambda_1 = \sum_{\text{sign}(r_i)=1} \log \frac{pd_i}{pf_i} + \sum_{\text{sign}(r_i)=-1} \log \frac{1 - pd_i}{1 - pf_i} \quad (10)$$

Digunakan untuk nilai SNR yang besar, artinya pendekatan ini baik digunakan untuk mengoptimalkan persamaan 3.4 pada kanal dengan SNR yang besar dan tidak membutuhkan pengetahuan tentang statistic kanal.

3. Maximal Ratio Combining

$$\Lambda_2 = \sum_{i=1}^N (pd_i - pf_i) h_i r_i \quad (11)$$

Tidak membutuhkan P_{d_k} dan P_{f_k} , tetapi membutuhkan pengetahuan tentang gain kanal.

4. Equal Gain Combining

$$\Lambda(r) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i \quad (12)$$

Merupakan alternative paling sederhana untuk nilai SNR dengan range yang lebar Pada metode ini keputusan diambil berdasarkan jumlah total dari keputusan hasil sensor dibandingkan dengan threshold dari fusion center

4. EVALUASI KINERJA SISTEM

Kinerja dari system deteksi dapat dievaluasi dengan menggunakan distribusi Binomial, dimana probabilitas deteksi pada fusion center :

$$Pd_0 = \sum_{i=T}^N \binom{N}{i} p_1^i (1 - p_1)^{N-i} \quad (13)$$

Dan probabilitas false alarm pada fusion center :

$$Pf_0 = \sum_{i=T}^N \binom{N}{i} p_0^i (1 - p_0)^{N-i} \quad (14)$$

Dimana T adalah threshold yang digunakan di fusion center dan p_1 , p_0 adalah :

$$\begin{aligned} p_1 &= p(r_i \geq 0 | H_1) \\ p_0 &= p(r_i \geq 0 | H_0) \end{aligned}$$

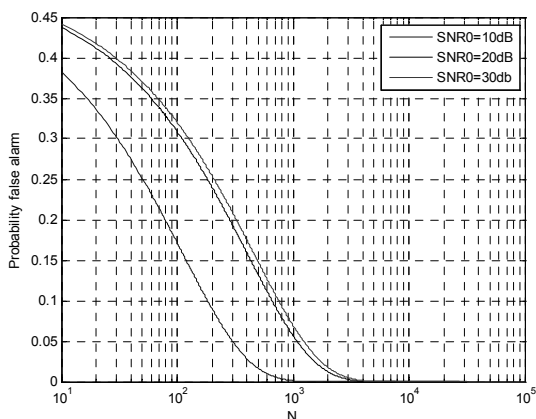
Jika diasumsikan sensor identik sehingga p_{d_i} dan p_{f_i} untuk semua sensor adalah sama, maka metode pengambilan keputusan pada bagian dua adalah penjumlahan dari variable acak yang identik, independent distributed sehingga dapat didekati dengan Central Limit theorem (CLT).

Untuk jumlah sensor yang besar maka akan mendekati distribusi Gaussian, sehingga akan lebih mudah untuk dianalisa. Persamaan (13) dan (14) untuk jumlah sensor cukup besar dapat dihitung dengan menggunakan pendekatan Laplace-Demoivre[5]

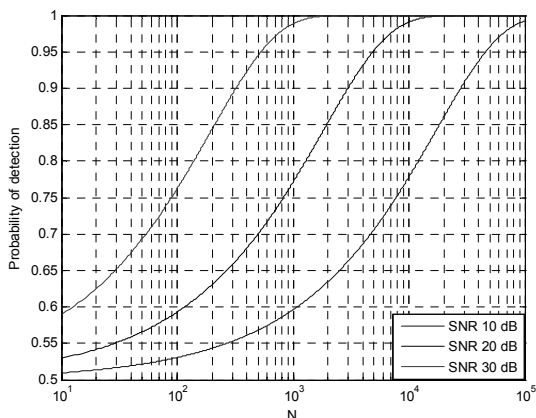
$$P_{f_0} \approx Q\left(\frac{T - Np_{fa}}{\sqrt{Np_{fa}(1 - p_{fa})}}\right) \quad (15)$$

$$P_{d_0} = Q\left(\frac{T - N\overline{pd}}{\sqrt{N\sigma^2}}\right) \quad (16)$$

Dimana T adalah threshold yang digunakan pada fusion center, N adalah jumlah sensor, p_{fa} : probabilitas false alarm sensor, \overline{pd} : mean dan σ^2 : adalah variance

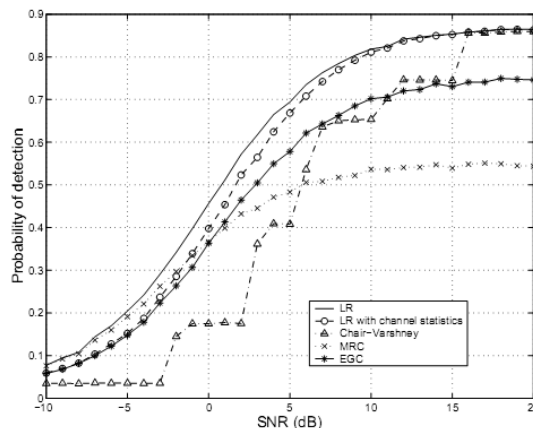


Gambar 4. System level P_{f_0} as a function of N, pada area 100 X 100 m²



Gambar 5. System level P_{d_0} as a function of N, pada area 100 X 100 m²

Pada gambar 4 dan 5 dapat dilihat bahwa pada jumlah sensor yang cukup banyak probabilitas deteksi sistem dapat mencapai nilai 1 dan probabilitas false alarm sistem mencapai nilai 0. Untuk nilai SNR yang lebih kecil kinerja sistem lebih bagus. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 6. probabilitas deteksi sistem untuk berbagai variasi SNR dengan berbagai metode fusion rule. Terlihat bahwa metode LR merupakan metode yang paling optimal untuk berbagai nilai SNR



Gambar 6. Kinerja sistem pada berbagai variasi SNR

5. KESIMPULAN

Jika sensor yang disebar pada suatu daerah dengan luasan tertentu cukup banyak, dengan SNR kecil, maka kinerja deteksi dari system akan sangat bagus.

Pada semua nilai SNR metode LR merupakan yang terbaik dibandingkan metode fusion rule lainnya.

PUSTAKA

- [1] Akyldiz, I.F. Sankarasubramanian, Y, and Cayirci, E, A Survey on Sensor Network, IEEE Commun.Mag, page 102-114, 2002
- [2] R.Niu, P.K. Varshney, M.H. Moore, and D. Klammer, Decisions Fusion in Wireless Sensor Network with a Large number of Sensors, Proc. 7th IEEE International Conference on Information Fusion (ICIF '04), Stocholm, Swedia, juni-juli, 2004
- [3] D.Li, K.D. Wong, Y.H. Hu and A.M Sayeed, *Detection, classification and Tracking of Targets*, IEEE Signal Processing Magazine, 19(3):17-29, Mar, 2002
- [4] Niu, Ruixin., B. Chen., P.K. Varshney, *Fusion Decisions Transmitted Over Rayleigh Fading Channels in Wireless Sensor Network*, IEEE Transactions On Signals Processing, Vol. 54, No. 3, hal.1018-1027, 2006.
- [5] A. Papoulis, *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*, Mc Graw-Hill, New York, NY, 1984