

PENGEMBANGAN SIMULATOR ESM UNTUK IDENTIFIKASI SINYAL RADAR DENGAN METODE CLUSTERING MENGGUNAKAN K-MEANS

Norma Ningsih¹, Gamantyo Hendrantoro², Andaya Lestari³ dan Deny Yulian⁴

¹, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Sukolilo, Surabaya

^{3,4} PT Solusi 247, Karet Kuningan Setiabudi, Jakarta Selatan

Kontak Person:

Norma Ningsih

Keputi, Gg Makam perum city home blok E3 no.7

Surabaya, 60111

Telp: 628-5707912115, Fax: xxx-xxxxxxx, E-mail: norma.ningsih59@yahoo.com

Abstrak

Radar merupakan bagian perangkat dari elemen peperangan elektronika atau yang disingkat dengan EW. Electronic Warfare (EW) diklasifikasikan menjadi tiga kategori, salah satunya adalah Electronic Support Measures (ESM). ESM disebut juga sebagai radar detector karena berfungsi untuk mendeteksi radar dengan cara memproses dan menganalisa parameter sinyal yang dikirimkan oleh radar. karakteristik sinyal radar dimodelkan dengan berbagai macam Parameter yang terdapat pada sinyal radar seperti Frekuensi, Angle of Arrival (AOA), Lebar Pulsa dan PRI (Pulse Repetition Interval). Data yang dikirim dari berbagai jenis radar akan diterima oleh penerima berupa data radar yang saling interleaving. pada sisi penerima sinyal radar akan di deinterleaving menggunakan metode PRI Transform dengan menganalisa TOA dari sinyal yang diterima. Namun sebelum dilakukan Proses analisis TOA untuk mendapatkan nilai PRI dari masing-masing radar, dilakukan Pengelompokan atau clustering terlebih dahulu terhadap parameter radar seperti frekuensi dan AOA dari masing-masing radar. Metode Clustering akan mengelompokkan radar berdasarkan parameter yang sesuai, hal ini dilakukan agar identifikasi jenis radar lebih akurat. metode clustering yang digunakan adalah K-means. Output dari radar simulator ini akan dijadikan sebagai input untuk memverifikasi metode sorting dan deinterleaving sinyal radar pada sistem ESM. Performa dari metode yang diusulkan di evaluasi dalam simulasi menggunakan matlab.

Kata Kunci : Radar, ESM, Deinterleaving, Clustering

Pendahuluan

Radar (*Radio Detection and Ranging*) merupakan system yang berfungsi untuk mendeteksi dan menentukan lokasi dari objek berupa pesawat, kapal, manusia dan lainnya [1]. Salah satu aplikasi yang banyak menggunakan bantuan radar untuk proses deteksi yaitu pada bidang militer yang dimanfaatkan untuk peperangan elektronik [2],[3]. *Electronic Warfare* (EW) dikelompokkan menjadi tiga bagian yaitu *Electronic Support Measures* (ESM), *Electronic Support* (ES) dan *Electronic Attack* (EA) [4]. Ketiga kategori tersebut memiliki fungsi untuk mengumpulkan informasi dari pihak musuh sebagai proses monitoring, mengenali ancaman yang terjadi seacara cepat dan merusak peralatan elektronik musuh pada kondisi tertentu.

Pada peperangan electronic, ESM memiliki peranan yang sangat penting untuk menerima dan mengidentifikasi spectrum gelombang radio dari banyak sinyal radar yang berada di *environment*, sehingga *output* dari ESM dapat dijadikan sebagai acuan untuk menentukan radar tersebut merupakan radar dari musuh atau tidak. Perangkat ESM menerima sinyal atau gelombang elektromagnetik dari banyak radar dengan berbagai macam parameter yaitu Time of Arival (TOA), Pulsa Amplitudo (PA), Frequency, Angle of Arival (AOA) dan Pulsa Width (PW) [5].

ESM menerima sinyal radar yang saling bersisipan atau *interleaved* antara sinyal radar satu dengan sinyal radar lainnya, sesuai dengan waktu pemancaran pulsa yang dipancarkan oleh *transmitter* (radar). Sinyal radar yang saling *interleaving* kemudian dijadikan sebagai input pada sisi ESM. Selanjutnya ESM akan melakukan deinterleaving untuk memisahkan kembali sinyal radar yang

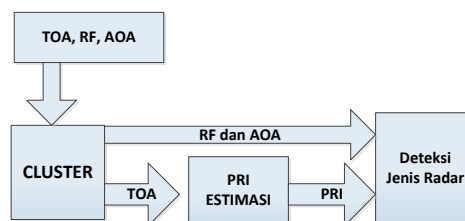
bercampur sesuai dengan waktu pengiriman pulsa. Proses deinterleaving adalah proses analisis parameter-parameter primer dengan suatu metode tertentu sehingga bisa membedakan atau mengelompokkan pulsa atau sinyal radar tertentu dengan pulsa/sinyal radar lainnya yang sebelumnya diterima di receiver dalam kondisi interleave (menumpuk antara satu sinyal radar dengan sinyal radar lainnya). Proses deinterleaving tersebut terjadi di dalam system ESM. Proses deinterleaving pada ESM dilakukan dengan 2 tahapan yaitu clustering sinyal radar dan analisis TOA untuk mendapatkan nilai PRI sinyal radar. Pada langkah pertama yaitu clustering parameter dari sinyal radar. Parameter yang digunakan untuk melakukan pengelompokan adalah frekuensi, AOA (*Angle of Arrival*) dan PW (*Pulse Width*). Metode yang digunakan pada proses clustering adalah Algoritma K-Means. Metode K-Means merupakan metode partitioning *cluster* yang paling umum digunakan karena mudah untuk diimplementasikan.

Langkah deinterleaving yang kedua yaitu analisis TOA atau *deinterleaving* PRI. Algoritma *deinterleaving* PRI memiliki banyak cara diantaranya *statistical histogram*, *Cummulative Difference Histogram* (CDIF) [6], *Sequence Difference Histogram* (SDIF), PRI Transform dan lain-lain. Pada analisis PRI menggunakan histogram memiliki kelemahan yaitu sering terjadi kesalahan deteksi pada beberapa nilai PRI dan kecepatan deteksi PRI relative lambat [7]. Pada paper ini akan dilakukan proses *deinterleaving* PRI menggunakan metode PRI Transform, yang sudah dilakukan pada [8]. Radar memiliki jenis PRI yang bermacam-macam seperti PRI konstan, Jitter, stagger dan lain-lain. Namun pada paper ini, pendeteksian PRI hanya dibatasi pada jenis PRI konstan dengan menggunakan algoritma PRI Transform.

Proses deinterleaving pada ESM memperhatikan 2 aspek yaitu kecepatan dan ketepatan. Pada realisasinya, metode clustering biasanya digunakan sebagai metode awal pengelompokan, hasil dari clustering ini baru di proses lebih lanjut dengan PRI detection. Hal ini ditujukan untuk efisiensi waktu yang diperlukan / memperingan proses perhitungan. Meskipun dalam beberapa kasus clustering sebelum PRI detection dapat mengurangi tingkat akurasi identifikasi radar. Disinilah terjadi *trade off*, jika waktu yang diperlukan dengan metode clustering dan PRI detection bisa lebih cepat daripada hanya menggunakan metode PRI detection namun penggabungan antara metode *cluster* dan *PRI detection* memiliki tingkat akurasi yang lebih rendah. Pada praktiknya Kemungkinan besar menggunakan metode yang pertama, karena ESM memerlukan pemrosesan dalam waktu yang *realtime* atau *near realtime*. Perbedaan metode yang digunakan pada paper ini yaitu sebelum dilakukan analisis TOA, proses deinterleaving pada ESM didahului dengan clustering menggunakan algoritma K-Means. Faktor utama yang perlu diperhatikan pada ESM yaitu kecepatan dan ketepatan (akurasi) dalam pendeteksian sinyal, sehingga ESM dapat melakukan deinterleaving sinyal radar secara *realtime*.

Metode Penelitian

Pada Proses Deinterleaving di sisi penerima, langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan clustering terhadap parameter sinyal radar. Untuk penelitian ini parameter yang digunakan untuk proses clustering berdasarkan *Radio Frequency* (RF), *Pulse Width* (PW) dan nilai *Angle of Arrival* (AOA). Setelah Proses Clustering dilakukan, selanjutnya dilakukan analisa terhadap masing-masing tipe modulasi PRI. Pada penelitian ini tipe modulasi yang coba disimulasikan adalah PRI constant dengan menggunakan metode PRI Transform. Gambar 1 merupakan proses deinterleaving pada sisi ESM yang terdiri dari dua tahapan yaitu clustering parameter sinyal, kemudian melakukan analisa TOA untuk mendapatkan nilai dan model PRI dari masing-masing radar yang diterima oleh ESM.



Gambar 1. Proses Deinterleaving

1.1 PRI Transform

Pada PRI Transform, deretan pulsa yang diterima dengan mengamati urutan dari TOA yang dinyatakan dalam t dianalisa dalam interval waktu $[\tau_{min}, \tau_{max}]$ yaitu range dari nilai PRI. Interval tersebut dibagi menjadi K interval yang sama atau disebut dengan PRI bins. Lebar PRI bin yaitu :

$$b = \frac{\tau_{max} - \tau_{min}}{K} \quad (1)$$

Bin center τ_k yaitu

$$\tau_k = \left(k - \frac{1}{2}\right)b + \tau_{min} \quad k = 1, 2, \dots, K \quad (2)$$

Bin center (τ_k) dan lebar bin (b) digunakan untuk menentukan letak bin dari dua nilai TOA ($t_n - t_m$) yang juga merupakan nilai PRI dari radar. Perumusan PRI transform yaitu :

$$D_k = \sum_{\tau_k - \frac{b}{2} < t_n - t_m < \tau_k + \frac{b}{2}} e^{\left(\frac{2\pi i}{t_n - t_m}\right)} \quad (3)$$

Dimana t_n merupakan TOA dari pulsa sekarang dan t_m merupakan TOA dari pulsa sebelumnya. Hasil Plot dari persamaan ini menunjukkan nilai D_k yang menunjukkan jumlah pulsa yang disimulasikan dan tau yang merupakan nilai PRI. PRI Transform sama dengan fungsi autocorrelation yaitu

$$C_k = \sum_{n=1}^{N-1} \sum_{m=0}^{n-1} \delta(\tau - t_n + t_m) \quad (4)$$

Perbedaan dari PRI Transform dan fungsi autokorelasi adalah pembentukan faktor Phase dimana pada fungsi autokorelasi tidak terdapat factor phase yang berfungsi untuk menekan subharmonic pulsa yang muncul pada fungsi autokorelasi.

1.2 K-Means Clustering

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam melakukan clustering adalah metode K-Means dengan cara menentukan berapa cluster yang akan dibentuk [10]. Tabel 1 menunjukkan contoh dari perhitungan algoritma K-Means menggunakan 2 parameter

Tabel 1. Parameter Clustering

Object	AOA (Derajat)	Frekuensi(MHz)
Radar 1	10	10
Radar 2	20	10
Radar 3	40	30
Radar 4	50	40

1. Inisialisai nilai centroid : Radar 1 dan Radar 2 diasumsikan sebagai centroid

$$C1=(10,10) \text{ dan } C2=(20,10)$$

2. Jarak Objek dan Centroid

$$\begin{matrix} \textcolor{red}{1} & \textcolor{red}{2} & \textcolor{red}{3} & \textcolor{red}{4} \\ \begin{bmatrix} 10 & 20 & 40 & 50 \\ 10 & 10 & 30 & 40 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$\text{Euclidian Distance } d(a, b) = \sqrt{(a_x - b_x)^2 + (a_y - b_y)^2}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 10 & 36.1 & 5 \\ 1 & 0 & 28.3 & 42.4 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{array}{l} C1=(10,10) \\ \text{group 1} \end{array}$$

Jarak dari Radar 3 =(40,30) ke centroid c1=(10,10) adalah

$$\sqrt{(40 - 10)^2 + (30 - 10)^2} = 36.1$$

Dan jarak pada centroid c2=(20,10) adalah

$$\sqrt{(40 - 20)^2 + (30 - 10)^2} = 28.3$$

3. Objek Clustering
Menandai Setiap Objek berdasarkan jarak minimum

$$G2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{array}{l} \text{group 1} \\ \text{group 2} \end{array}$$

4. Iterasi 1, menentukan centroid
mengetahui anggota dari setiap group berdasarkan pada anggota baru
Group 1 hanya memiliki 1 member C1=(10,10)
Group 2 ada 3 member

$$c2 = \left(\frac{40 + 50}{2}, \frac{30 + 40}{2} \right) = (45, 35)$$

Iterasi terus dilakukan hingga $G1=G2$ yaitu tidak ada objek yang bergerak ke group lainnya dimana komputasi clustering K-means sudah stabil sehingga tidak diperlukan iterasi kembali.

Hasil Penelitian dan Pembahasan

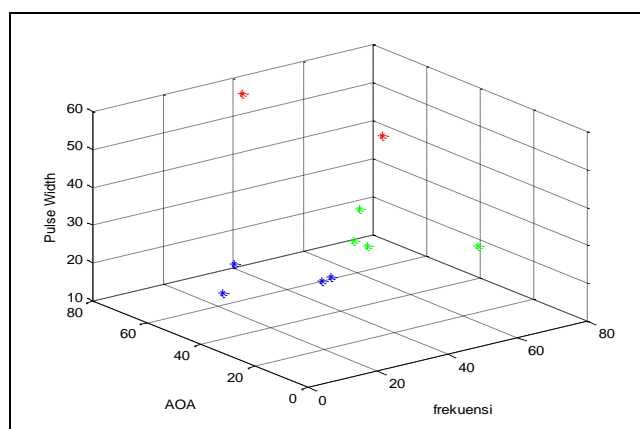
Pada sub-bab ini merupakan penjelasan dari hasil simulasi clustering dari beberapa sinyal radar dengan menggunakan parameter frekuensi, AOA dan PW pada masing-masing sinyal radar. Selain itu, dilakukan pulsa simulasi analisis TOA untuk mendapatkan nilai PRI dengan menggunakan PRI Transfrom pada jenis PRI konstant.

Dalam simulasi Gambar 2 menggunakan 10 jenis radar yang memiliki nilai frekuensi, AOA dan lebar pulsa yang berbeda-beda satu dengan yang lainnya. Parameter yang digunakan berupa frekuensi dan PW yang fix, selain itu posisi radar diasumsikan tidak bergerak. Nilai dari parameter sinyal radar yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Clustering

Radar	FREKUENSI (MHz)	AOA (Derajat)	PW (us)
1	40	35	30
2	50	60	10
3	30	20	45
4	10	45	20
5	35	70	60
6	40	30	30
7	45	50	15
8	25	60	20
9	75	70	40
10	60	15	30

Dari hasil simulasi 10 jenis radar dengan parameter berbeda didapat hasil clustering seperti pada Gambar 2 menunjukkan bahwa setelah dilakukan proses clustering menggunakan algoritma K-Means, 10 jenis radar di cluster menjadi 3 clustering sesuai dengan nilai frekuensi, AOA dan PW dari masing-masing radar. Hal ini dapat dilihat dari 3 warna yang berbeda yaitu merah, biru dan hijau.



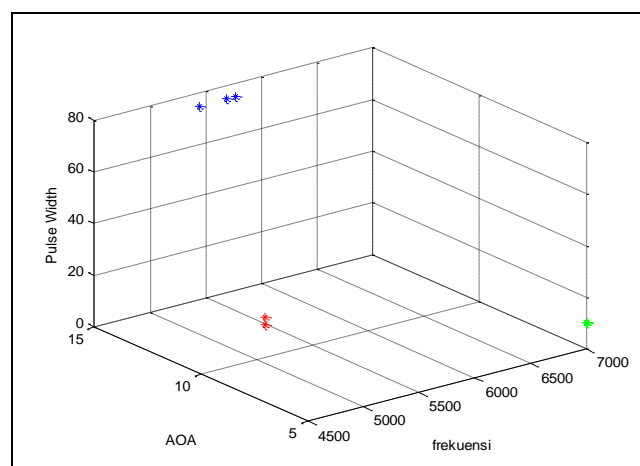
Gambar 2. Hasil Clustering dari 10 Radar

Pada tabel 3 merupakan parameter dari 3 jenis radar dimana radar 1 diasumsikan bergerak. Hal ini dapat dilihat dari nilai AOA yang berubah pada range 30 hingga 50 derajat. Radar 2 memiliki nilai frekuensi hopping pada range 5000-6000. Sedangkan pada radar 3 memiliki parameter yang fix..

Tabel 3. Parameter Clustering

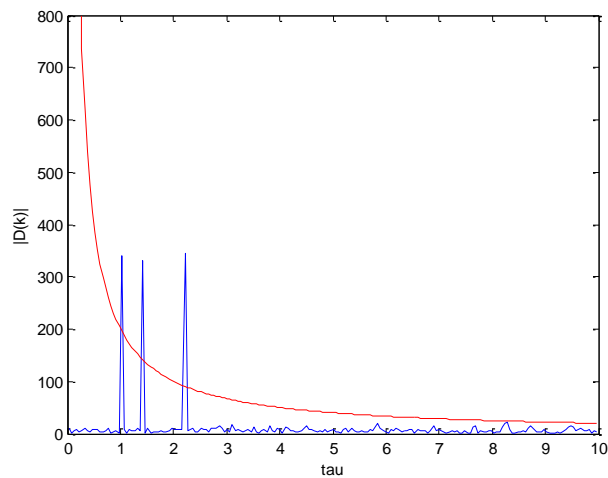
Radar	FREKUENSI (MHz)	AOA (Derajat)	PW (us)
1	4500	30-50 (Hop)	7
2	5000-6000 (hop)	75	15
3	7000	10	5

Pada gambar 3 merupakan hasil clustering dimana parameter yang digunakan berupa frekuensi hopping, AOA dan PW. Meskipun frekuensi dan AOA pada radar berubah, tetapi tetap dihasilkan 3 cluster yang menunjukkan terdapat 3 jenis radar. Disinilah dapat dilihat fungsi clustering, yaitu walaupun frekuensi atau AOA nya berubah tetapi tetap dikelompokkan menjadi satu cluster yang sama, yang berarti dianggap satu radar yang sama.



Gambar 3. Hasil Clustering dari 3 Radar

Gambar 4 merupakan hasil simulasi dari 3 radar yang memiliki tipe PRI constant namun memiliki nilai PRI yang berbeda yaitu 1us, 1.4us dan 2.25 us. Berdasarkan hasil deinterleaving dengan PRI transform dapat diketahui nilai PRI dan jumlah pulsa dari masing masing radar



Gambar 4. Deteksi PRI dengan PRI Transform

Kesimpulan

Dalam paper ini algoritma K-Means dan PRI transform digunakan untuk proses deinterleaving pada ESM. K-Means dapat diaplikasikan pada parameter radar yang memiliki nilai fix maupun berubah-ubah seperti halnya frekuensi hopping dan posisi dari radar. PRI transform dapat digunakan untuk deteksi nilai dan jumlah dari PRI constan yang dipancarkan oleh pemancar. kedua metode tersebut mampu untuk melakukan proses deinterleaving pada ESM dengan mengelompokkan parameter frekuensi, AOA dan PW serta menentukan PRI konstan.

Referensi

- [1] Merrill I. Skolnik, "Introduction to Radar Systems", Mc Graw hill, International Edition 2011
- [2] Inseok Hwang dkk, "Multiple-Target Tracking and Identity Management in Clutter with Application to aircraft tracking", IEEE American Control Conference, 2004
- [3] Richard G. Wiley, "Elint the interception and Analysis of Radar Signal", Artech House, London 2000
- [4] M.Vandana, Sudha Rani, Badrinath, "Radar Emitter Location Simulation and Implementation on FPGA", International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 2, Issue 4, October 2012
- [5] Moein Ahmadi, "PRI Modulation Type Recognition Using Level Clustering and Autocorrelation", American Journal of Signal Processing, 2012
- [6] H. K. Mardia, "New techniques for the deinterleaving of repetitive sequences," *Proc. Inst. Elect. Eng. F*, vol. 136, pp. 149–154, 1989.
- [7] Driscoll, D. E., Howard, S. D., 1999, "The Detection of Radar Pulse Sequences by Means of a Continuous Wavelet Transform", *Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 3, pp 1389-1392.
- [8] Nishiguchi K & Kobayashi M, "Improved Algorithm for Estimating Pulse Repetition Intervals," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems* Vol. 36, No. 2 April 2000
- [9] B.R. Mahafza, "Radar Systems Analysis and Design Using Matlab", Chapman & Hall/CRC, 2000
- [10] Augusta Y, "K-Means- Penerapan, Permasalahan dan Metode Terkait," *Jurnal Sistem dan Informatika* Vol. 3 (Pebruari 2007), 47-60