

METODE ESTIMASI DELAY SIGNAL UNTUK SISTEM SECONDARY SURVEILLANCE RADAR TRACKING ROKET

Wahyu Widada dan Sri Kliwati
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
Jl. Raya LAPAN Rumpin Bogor
w_widada@yahoo.com, sri_kliwati@yahoo.com

ABSTRAK

Desain dan simulasi sistem secondary RADAR telah dikembangkan untuk estimasi trayektori roket dalam uji terbang. Salah satu bagian algoritma yang sangat penting adalah estimasi time delay antara signal yang dikirim dengan signal yang diterima. Di dalam tulisan ini kami membahas algoritma TDOA (Time Delay Of Arrival) berbasis frekuensi (frequency-domain) untuk prosesi signal tersebut. Hasil percobaan menunjukkan bahwa dalam kondisi random noise yang besar, algoritma ini lebih presisi dan akurat dibanding dengan algoritma berbasis waktu. Sampai dengan SNR = 0.25 nilai kesalahan masih relative kecil <5%.

Keywords: FFT, cross-correlation function, time delay, secondary RADAR, trajectory rocket.

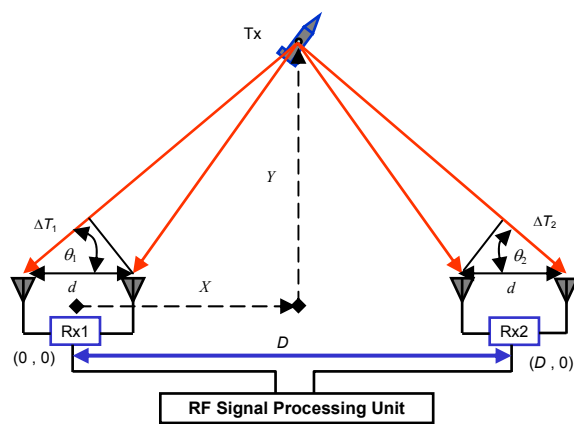
1. PENDAHULUAN

LAPAN mulai tahun ini mengembangkan tipe roket dengan daya jangkau yang jauh dengan tipe RX320, RX420, dan RX530. Untuk mengetahui performa roket tipe jarak jauh tersebut, maka diperlukan system RADAR untuk prediksi posisi pada saat meluncur. Mulai tahun lalu telah dikembangkan system secondary RADAR dengan menggunakan radio UHF. Simulasi dan analisa system serta desain telah dilakukan, sehingga menghasilkan prototype desain dan hasil optimalisasinya. Untuk meningkatkan akurasi pemrosesan signal tersebut, maka perlu dikembangkan algoritma yang dapat meningkatkan performanya. Pengembangan RADAR tipe aktif memerlukan komponen elektronik yang tidak mudah didapat. Sehingga, untuk mengembangkan hardware agar lebih mudah, dipilih tipe secondary yang lebih rasional. Pada muatan roket dipasang transponder (RADAR signal) dan di stasiun pengamat dilengkapi system penerima.

Di dalam tulisan ini kami membahas algoritma untuk menghitung TDOA dengan pemrosesan signal berbasis frekuensi. Signal yang diterima diproses dengan bandpass filter terlebih dahulu untuk mengeliminasi noise yang timbul. Kemudian dihitung spectrum frekuensinya dengan algoritma FFT (Fast Fourier Transform), dan kemudian dideteksi titik puncak hasil convolution untuk menentukan delay waktunya. Percobaan dilakukan dengan menambah noise hingga 4 kali lebih besar dari signalnya. Algoritma ini terbukti masih dapat mendeteksi delay waktu dengan akurat hingga SNR = 0.25.

2. SISTEM SECONDARY RADAR

Sistem secondary radar yang telah didesain untuk trayektori roket adalah seperti pada gambar di bawah yang terdiri dari transmitter dan receiver.



Gambar 1. AOA Localization in 2-D Space.

Transmitter RADAR memancarkan signal pulsa yang berfrekuensi hingga 10 MHz. Receiver, akan memproses sudut azimuth dan menghitung koordinat trayektori roket. Jika masing-masing TDOA diketahui, maka perubahan sudut azimuth pada kedua pasangan antenna adalah sebesar

$$\theta_1 = \arcsin\left(\frac{\Delta T_1 C}{d}\right) \quad (1)$$

dengan d adalah jarak antara dua antenna, dan C adalah kecepatan cahaya. Kemudian untuk sudut azimuth pada tempat pengukuran ke dua adalah sebagai berikut.

$$\theta_2 = \arcsin\left(\frac{\Delta T_2 C}{d}\right) \quad (2)$$

Masing-masing delay waktu ΔT tersebut diestimasi dengan menggunakan algoritma cross-correlation [Robert *etal*]³. Jika koordinat tempat pengukuran yang satu adalah (0, 0) dan pengukuran yang lain adalah (0, D), maka koordinat roket dapat dihitung dengan persamaan berikut.

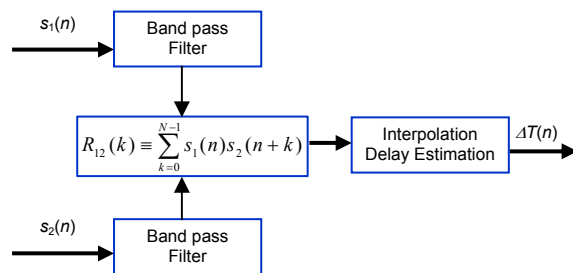
$$(x, y) = \left(\frac{D \cos \theta_1 \sin \theta_2}{\sin(\pi - (\theta_1 + \theta_2))}, \frac{D \sin \theta_1 \sin \theta_2}{\sin(\pi - (\theta_1 + \theta_2))} \right)$$

(3)

Dari persamaan (1) sampai (3), maka koordinat trayektori roket dapat diestimasi dari perubahan delay waktu pada masing-masing pasangan antenna. Performa algoritma di atas akan kami tulis lebih detail pada paper tersendiri.

3. TIME DOMAIN TDOA

Metoda time delay berbasis waktu ini telah banyak digunakan dalam estimasi aplikasi RADAR dan sistem sonar. Skema algoritma TDOA ini adalah seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema time-domain TDOA.

Jika sinyal yang diterima pada antenna ke 1 adalah $x_1(t)$ dan $x_2(t)$ adalah pada antenna ke 2, maka dapat kita tulis dengan persamaan berikut:

$$x_1(t) = \alpha_1 s(t) + n_1(t) \quad (4)$$

dan

$$x_2(t) = \alpha_2 s(t + \tau) + n_2(t) \quad (5)$$

Disini α adalah atenuasi sinyal di atmosfer, $s(t)$ adalah sinyal dari transmitter, $n(t)$ adalah sinyal noise pada masing-masing antenna, dan τ adalah delay masing sinyal. *Cross-correlation* antara kedua sinyal di atas adalah

$$R_{12}(t) = \int_{-T/2}^{+T/2} x_1(t)x_2(t + \tau)d\tau \quad (6)$$

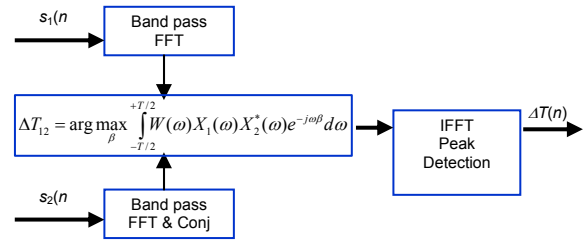
Algoritma correlation ini lebih lama waktu prosesnya, sehingga dapat pula dilakukan pada domain frekuensi menggunakan FFT (*Fast Fourier Transform*). Langkah berikutnya adalah menghitung peak pada persamaan (6) di atas, yang dapat ditulis dengan persamaan berikut:

$$\Delta T_{12} = \arg \max_{\tau} \int_{-T/2}^{+T/2} x_1(t)x_2(t + \tau)d\tau \quad (7)$$

(7) Disini ΔT_{12} adalah nilai estimasi beda waktu kedua sinyal tersebut di atas.

4. FREQUENCY-DOMAIN TDOA

Algoritma estimasi TDOA berbasis frekuensi adalah seperti pada Gambar 3.



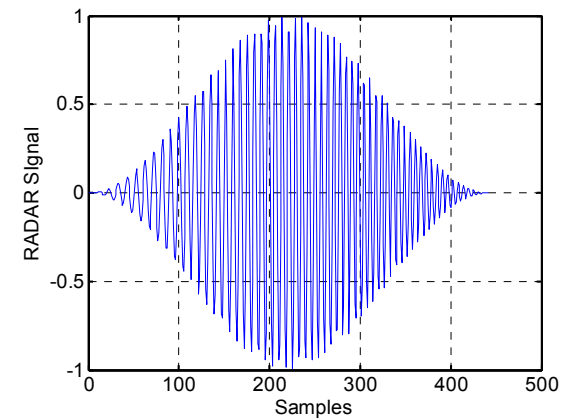
Gambar 3. Frequency-domain TDOA estimation.

Spektrum frekuensi masing-masing signal adalah sebagai berikut:

$$X_1(\omega) = \int s_1(t)e^{-i\omega t} dt \quad (8)$$

untuk signal yang kedua menjadi berikut.

$$X_2(\omega) = \int s_2(t)e^{-i\omega t} dt \quad (9)$$



Gambar 4. Simulasi signal RADAR pada transponder.

Frekuensi *cross correlation* kedua signal dengan fungsi bobot tersebut adalah sebagai berikut:

$$\Delta T_{12} = \arg \max_{\beta} \int_{-T/2}^{+T/2} W(\omega)X_1(\omega)X_2^*(\omega)e^{-j\omega\beta} d\omega \quad (10)$$

Fungsi bobot $W(\omega)$ pada persamaan di atas dihitung dengan persamaan berikut:

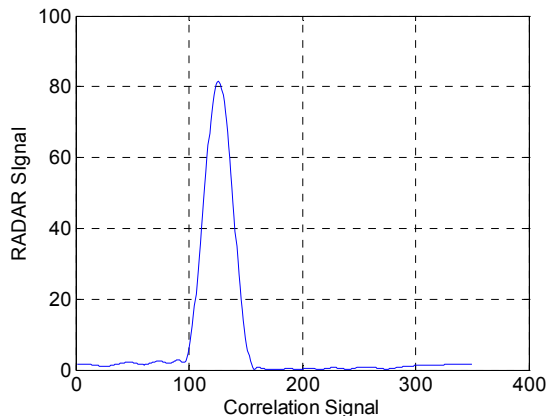
$$W(\omega) = \frac{1}{|X_1(\omega)||X_2(\omega)|} \quad (11)$$

Fungsi bobot ini berhubungan dengan fase signal dan dapat secara efektif menghilangkan pengaruh signal yang dominan.

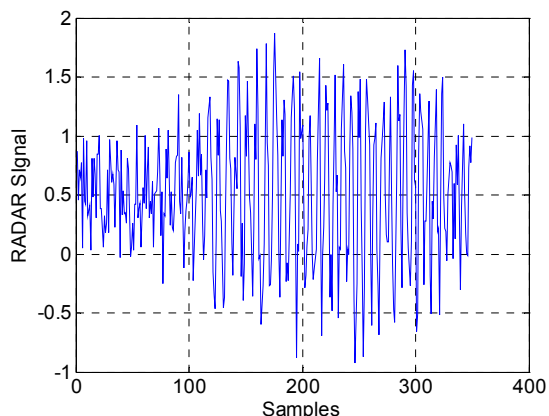
5. SIMULASI DAN DISKUSI

Simulasi dilakukan untuk menghitung kemampuan algoritma di atas. Signal RADAR yang digunakan adalah seperti Gambar 4, yang berupa pulsa signal dengan frekuensi yang bertambah. Dengan menggunakan persamaan (6) sampai (9) maka hasil perhitungan TDOA adalah seperti pada Gambar 5. Puncak dari persamaan (8) dapat dideteksi dengan akurat dan hasilnya sama dengan delay waktu yang dihitung. Hal ini disebabkan

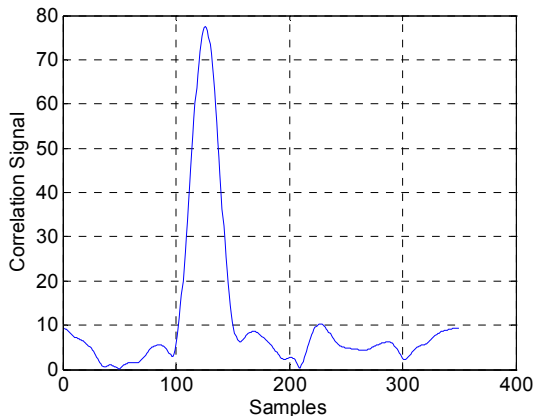
tanpa adanya noise. Untuk menguji algoritma ini agar seperti dalam pengukuran secara realtime nantinya, maka perlu diselidiki tentang penambahan noise. Kemudian ditambah random noise dengan SNR=1, seperti pada Gambar 6. Hasil yang diperoleh adalah pada Gambar 7. Untuk SNR=0.5, maka hasil yang diperoleh adalah seperti Gambar 8 dan Gambar 9. Dari Gambar 6 sampai 9, hasil estimasi TDOA masih terlihat akurat, walaupun amplitudo noise lebih besar hingga dua kali dibandingkan dengan signal RADAR.



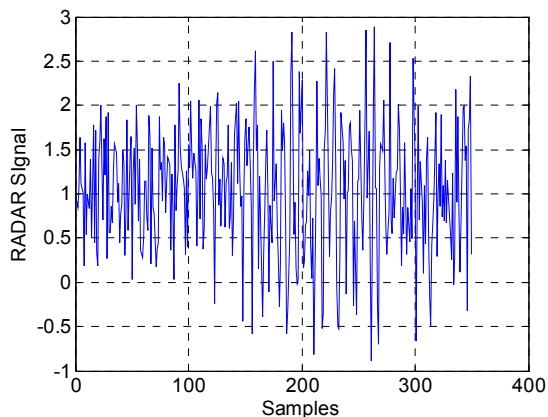
Gambar 5. Hasil perhitungan frekuensi untuk menghitung TDOA.



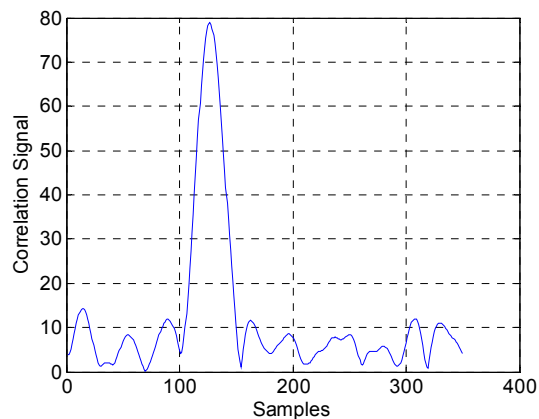
Gambar 6. Signal + random noise dengan ukuran SNR = 1 (amplitudo signal sama dengan amplitudo noise).



Gambar 7. Hasil perhitungan TDOA dengan noise SNR=1.

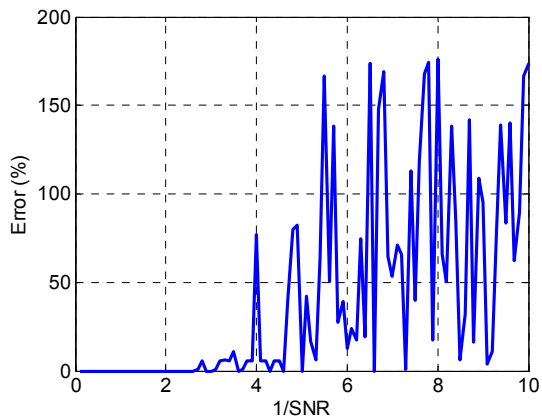


Gambar 8. Signal + noise dengan SNR=0.5.

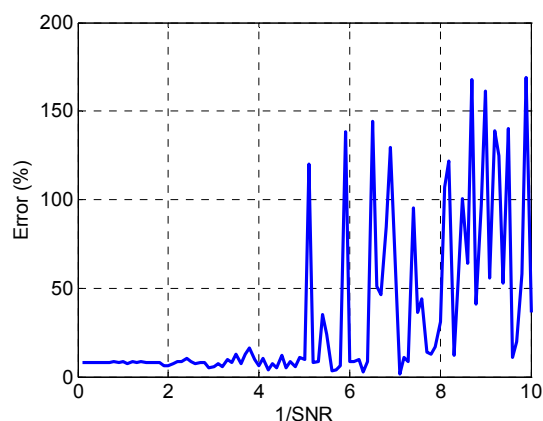


Gambar 9. Hasil perhitungan TDOA.

Gambar 10 menunjukkan hasil perhitungan pengaruh noise hingga 10x lebih besar. Sampai dengan SNR=0.24 hasil estimasi masih terlihat akurat (error < 5%). Pemilihan low noise amplifier (LNA) dan bandpass dengan bandwidth sempit sangat diperlukan pada desain hardware receiver.



Gambar 10. Hasil perhitungan antara SNR dan nilai error yang ditimbulkan (tanpa bandpass filter).



Gambar 11. Hasil dengan menggunakan bandpass filter noise kurang dari 5 % sampai dengan SNR 0.25

Gambar 11 adalah hasil estimasi TDOA dengan menggunakan bandpass filter pada masing-masing signal yang diterima. Hasil tersebut menunjukkan lebih akurat sampai dengan SNR=0.2, sehingga nantinya dalam pengembangan hardware dan software perlu ditambahkan bandpass filter yang lebih sempit bandwidthnya. Pengembangan algoritma interpolasi data juga dapat digunakan untuk memperoleh hasil pengukuran yang lebih akurat.

6. KESIMPULAN

Telah dilakukan estimasi TDOA untuk system RADAR tipe secondary dengan algoritma frequency domain. Hasil yang diperoleh menunjukkan metoda ini masih dapat akurat dalam kondisi noise lebih besar empat kali daripada signal, sehingga cukup handal untuk tracking trayektori roket jarak jauh.

Algoritma ini nantinya akan diaplikasikan pada system secondary RADAR yang akan dikembangkan untuk tracking peluncuran roket. Pengembangan hardware system RADAR ini akan dijelaskan pada paper tersendiri dengan detail.

PUSTAKA

- [1] Wahyu Widada, Sri Kliwati, "Metoda Kalibrasi Time Different Of Arrival TDOA Untuk Sistem Passive RADAR Trayektori Raket", Jurnal Teknologi Dirgantara Desember 2007.
- [2] Wahyu Widada, "Desain Sistem Passive RADAR Radio UHF Untuk Aplikasi Uji Terbang Raket", Seminar Nasional SITIA ITS Surabaya 2008.
- [3] Robert J. Purdy *etal*, "Radar Signal Processing", LINCOLN LABORATORY JOURNAL VOLUME 12, NUMBER 2, 2000.
- [4] C. H. Knapp, G. C. Carter, "The generalized correlation method for estimation of time delay" IEEE Trans.ASSP, vol. 24, No. 4, pp. 320-327, August 1976.