

## KINERJA EKUALISER MENGGUNAKAN ALGORITMA MODULUS KONSTAN DALAM MENDETEKSI ISYARAT DS-CDMA PEMAKAI-JAMAK

Imam Santoso

Jurusan Teknik Elektro FT Undip

Jl. Prof. Sudharto, Tembalang - Semarang

email: imamstso@elektro.ft.undip.ac.id

**Abstract** This research presents modified constant modulus algorithm (CMA) with prewhitening and minimum entropy measurement to detect the signal of desired user from multiuser Direct Sequence Code Division Multiple Access (DS-CDMA) signals. The modified CMA detector could blindly adapted or equalized the fading channel caused by multipath without training signal as in the conventional adaptive detectors.

Simulation was used to evaluate the detector's performance. As the results under multipath fading channel with SNR = 20 dB and desired user power -5 dB than the other users, the modified CMA gave the bit error probability 0.031 and this is better than those with the standard CMA, matched filter, and LMS detectors.

**Keyword:** CDMA, channel equalization, CMA.

### 1 Pendahuluan

Sistem komunikasi dengan teknik *spread-spectrum* atau spektrum-menyebar, yang menggunakan tipe penyandian CDMA (*Code Division Multiple Access*) mempunyai sifat antiinterferens baik oleh isyarat derau maupun isyarat bukan derau. Walaupun demikian proses deteksi isyarat CDMA dari pemakai yang dikehendaki dipengaruhi kondisi di kanal transmisi seperti adanya *multipath* yang menyebabkan interferens antarsymbol, sehingga dirancang suatu detektor atau tapis isyarat CDMA yang mampu mengatasi gangguan tersebut.

Berbagai algoritma untuk ekuwaliser telah dikembangkan atau dimodifikasi, mulai dari algoritma untuk detektor tetap (*fixed detector*) hingga yang sifatnya adaptif dan dalam penelitian ini digunakan algoritma modulus konstan atau dikenal dengan CMA (*constant modulus algorithm*) yang mampu beradaptasi secara buta tanpa isyarat pelatihan (isyarat referens).

### 2 Model Sistem DS-CDMA

Untuk mengetahui penerapan dan kemampuan detektor CMA dalam mendeteksi isyarat CDMA digunakan model *multiuser direct sequence* CDMA (DS-CDMA) pada Gambar 1.

Berdasarkan Gambar 1, notasi  $s_k$  merupakan deretan simbol data (informasi) dari pemakai ke-k dan  $s_k \in \{-1, +1\}$ ,  $c_k$  merupakan isyarat derau-semu (*pseudo-noise*) dari pemakai ke-k dengan *processing gain* ( $G_p$ )

dan durasi satu *chip*  $T_c$  serta  $c_k \in \{-1, +1\}$ ,  $\mathbf{p}(\mathbf{t})$  merupakan tapis pembentuk pulsa *chip* (*pulse shaping filter*),  $\mathbf{g}_k$  merupakan fungsi kanal dari pemakai ke-k,  $\mathbf{w}$  adalah AWGN (*additive white gaussian noise*) atau derau tambahan pada kanal dengan sifat  $N(0, \sigma_w^2)$ ,  $\mathbf{p}(\mathbf{T}_c - \mathbf{t})$  adalah tapis penyesuai pulsa (*pulse matched filter*) di posisi penerima,  $\mathbf{r}_n$  merupakan isyarat hasil pencuplikan dan  $\mathbf{r}_n = \mathbf{r}(nT_c/P)$ ,  $\mathbf{f}_k$  adalah ekuwaliser berupa tapis FIR linear sebagai estimator isyarat data dari pemakai ke-k, dan  $\hat{\mathbf{r}}_k$  merupakan isyarat hasil estimasi (keputusan lunak) untuk pemakai ke-k.

Isyarat di penerima setelah dicuplik (Gambar 1) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mathbf{r}(\mathbf{n}) = \sum_{k=1}^K \mathbf{H}^{(k)} \mathbf{C}^{(k)} \mathbf{s}^{(k)}(\mathbf{n}) + \tilde{\mathbf{w}}(\mathbf{n}) \quad (1)$$

dalam bentuk matriks  $\mathbf{H}_k$  berupa matriks Toeplitz:

$$\mathbf{H}_k = \begin{bmatrix} h_k(0) & h_k(1) & \cdots & h_k(N_h-1) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & h_k(0) & h_k(1) & \cdots & h_k(N_h-1) & \cdots & 0 \\ & & & \ddots & & & \\ 0 & \cdots & 0 & h_k(0) & h_k(1) & \cdots & h_k(N_h-1) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\text{dengan } h_k(t) = p(t) * g_k(t - \tau_k) * p(T_c - t) \quad (3)$$

dan  $N_h$  = jumlah koefisien kanal serta  $\tau_k$  = tundaan pada kanal.

Untuk model kanal dengan jumlah *multipath* ( $L$ ) dan amplitud *multipath* ( $a_k$ ) dinyatakan dengan

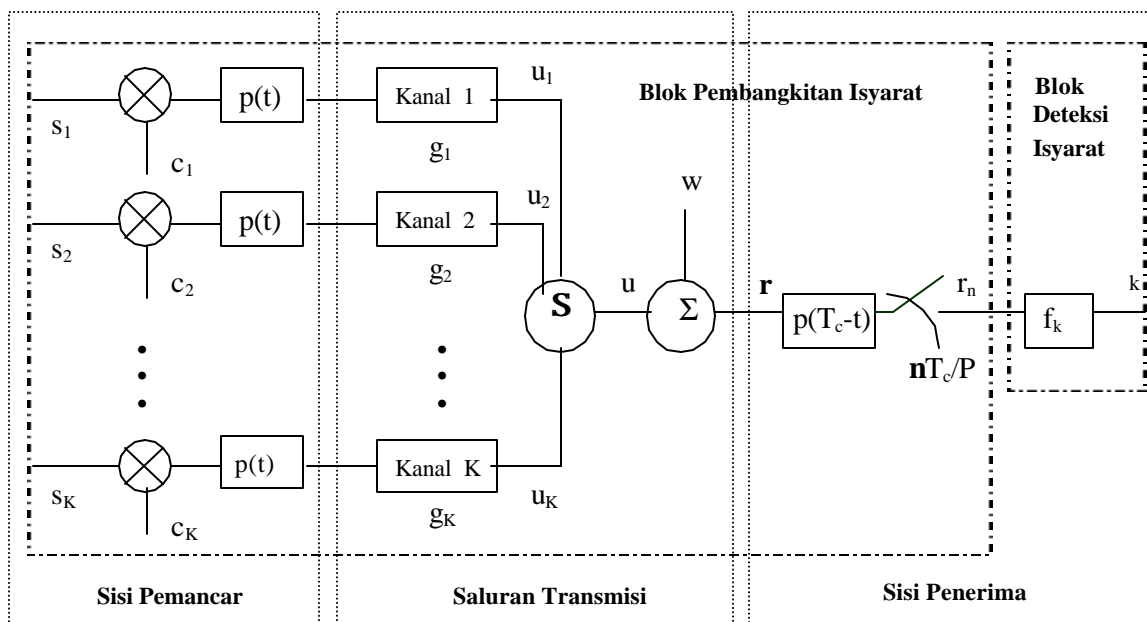
$$g_k(t - \tau_k) = \sum_{\ell=1}^L a_{\ell,k} \mathbf{d}(t - \mathbf{t}_{\ell,k}) \quad (4)$$

Sedangkan  $\mathbf{C}_k$  merupakan matriks sandi derau-semu dari pemakai ke-k,

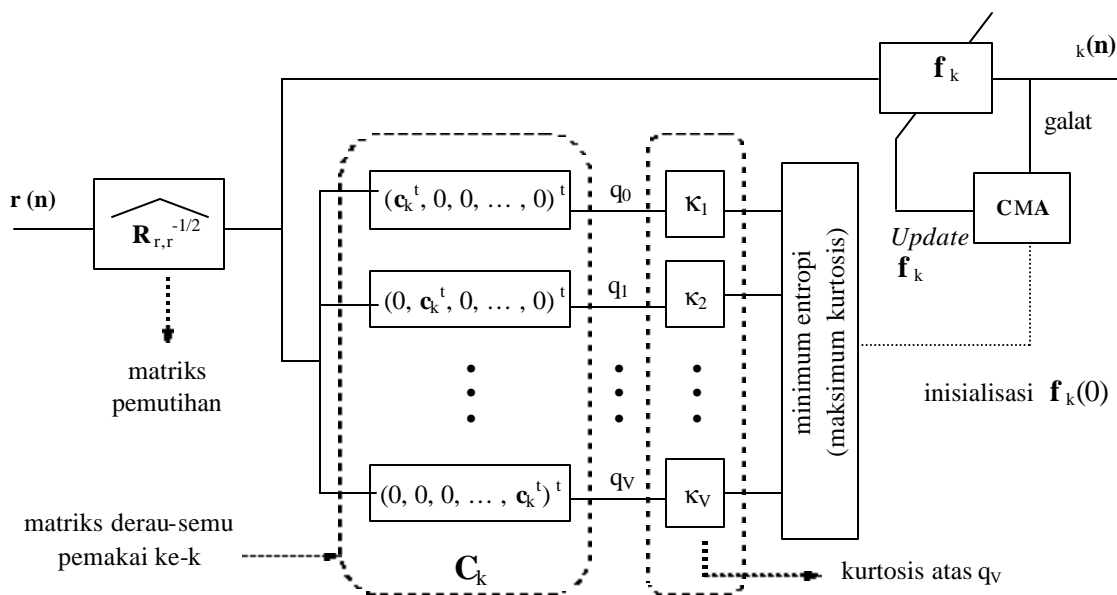
$$\mathbf{C}_k = \begin{bmatrix} \bar{c}_k & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & c_k & & 0 \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ 0 & & & c_k & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & \underline{c}_k \end{bmatrix} \quad (5)$$

Hasil estimasi ekuwaliser  $\hat{\mathbf{f}}$  adalah

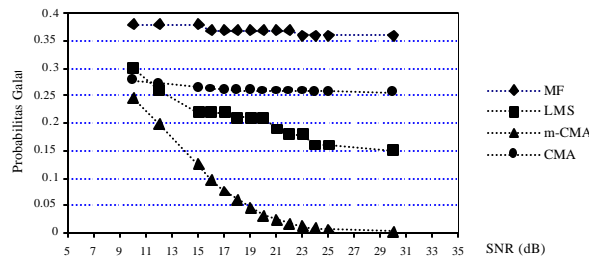
$$\hat{\mathbf{r}}_k(\mathbf{n}) = \mathbf{f}_k^t \mathbf{r}(\mathbf{n}) \quad (6)$$



Gambar 1 Model baseband sistem DS-SS pengguna-jamak (*multiuser*).



Gambar 2 Skema detektor isyarat DS-SS pengguna-jamak memakai ke-k menggunakan CMA yang dimodifikasi (*m-CMA*) (Schniter, 1998).



**Gambar 3** Grafik plot probabilitas galat bit hasil estimasi deretan simbol data dari empat tipe detektor terhadap perubahan nilai SNR.

### 3 Algoritma Modulus Konstan

Dari persamaan (5) nilai-nilai bobot  $\mathbf{f}_k$  di-update menggunakan algoritma modulus konstan yang dimodifikasi oleh Schniter (Schniter dan Johnson, 1998), yaitu dengan tambahan proses pemutihan isyarat yang diterima dan penentuan entropi yang minimum. Persamaan *update* untuk  $\mathbf{f}_k$  adalah

$$\mathbf{f}^{(k)}(\mathbf{n}+1) = \mathbf{f}^{(k)}(\mathbf{n}) - \mu \mathbf{R}_{\mathbf{r},\mathbf{r}}^{-1/2} \mathbf{r}(\mathbf{n}) \mathbf{n}^{(k)*} (|\mathbf{n}^{(k)}|^2 - \mathbf{r}) \quad (7)$$

dengan  $\mu$  adalah konstanta konvergensi,  $\mathbf{r}$  adalah konstanta dispersi dengan  $\rho = E\{|s|^4\}/E\{|s|^2\}^2$  dan untuk  $s \in \{-1,+1\}$  nilai  $\mathbf{r} = 1$ ,  $\mathbf{R}_{\mathbf{r},\mathbf{r}}$  adalah matriks autokorelasi  $\mathbf{r}_n$  dan  $\mathbf{R}_{\mathbf{r},\mathbf{r}}^{-1/2}$  adalah matriks pemutihan,

$$\mathbf{R}_{\mathbf{r},\mathbf{r}}^{-1/2} = \mathbf{V}\mathbf{L}^{-1/2}\mathbf{V}^H \quad (8)$$

Dengan  $\mathbf{V}$  vektor-eigen,  $\mathbf{L}$  adalah nilai-eigen, dan  $\mathbf{V}^H$  adalah matriks Hermitian dari  $\mathbf{V}$  atau matriks *conjugate transpose* dari  $\mathbf{V}$ .

Nilai awal  $\mathbf{f}_k$  ditentukan dari penentuan entropi yang minimum dari nilai-nilai kurtosis ( $\mathbf{k}_v$ ) atas  $\mathbf{q}_v^{(k)}(\mathbf{n})$  atau bisa dikatakan mencari nilai  $\mathbf{k}_v$  yang maksimum.

Gambar 2 memperlihatkan skema detektor CMA yang dilengkapi dengan proses pemutihan dan penentuan entropi yang minimum.

$$\mathbf{q}^{(k)}(\mathbf{n}) = [\mathbf{C}^{(k)}]^H \mathbf{R}_{\mathbf{r},\mathbf{r}}^{-1/2} \mathbf{r}(\mathbf{n}) \quad (9)$$

dengan  $v = 0, 1, 2, \dots, V$  ( $V = P.G_p - 1$  disebut jumlah inisialisasi hipotesis) dan  $v$  menunjukkan urutan kolom atau menunjukkan tundaan sebesar  $v$  *chip* pada matriks  $\mathbf{C}_k$ .

Nilai kurtosis atas  $\mathbf{q}_v$  diperoleh dari

$$\mathbf{k}_v^{(k)} = \frac{M \sum_{n=1}^M \left| \mathbf{q}_v^{(k)}(\mathbf{n}) \right|^4}{\left( \sum_{n=1}^M \left| \mathbf{q}_v^{(k)}(\mathbf{n}) \right|^2 \right)^2} \quad M=P.G_p \quad (10)$$

## 4 Hasil Penelitian

Kinerja detektor dievaluasi menggunakan simulasi dan nilai-nilai parameter yang digunakan adalah jumlah pemakai  $K=15$ , pewaktuan asinkron, sandi nonortogonal (random) dengan  $G_p = 31$ ,

$s \in \{-1,+1\}$  dan daya pemakai yang dideteksi  $-5$  dB, faktor *upsampling*  $P=2$ ,  $N_h = 10$ , jumlah *multipath*  $=5$  yang terdistribusi seragam pada interval waktu  $[0, 2T_c)$ , panjang data (deretan simbol)  $= 2000$ , nilai konstanta konvergensi  $\mu = 5 \times 10^{-4}$ , dan  $N_f = 62$ . Gambar 3 memperlihatkan hasil plot probabilitas galat bit terhadap variasi nilai SNR ( $10 \leq \text{SNR} \leq 30$  dB) yang merupakan perbandingan dari kinerja detektor CMA yang dimodifikasi dengan proses pemutihan isyarat dan penentuan minimum entropi (dinotasikan sebagai m-CMA) dengan detektor CMA standar (CMA), *matched filter* (MF) yang mewakili detektor tetap, dan *least mean square* (LMS) yang mewakili detektor adaptif konvensional. Detektor m-CMA menunjukkan nilai probabilitas galat bit yang terkecil di antara ke-4 detektor yang disimulasikan.

Hasil kinerja tersebut menunjukkan, m-CMA mampu mengatasi gangguan *multipath* pada kanal transmisi, walaupun secara bersamaan terjadi gangguan lain yaitu asinkronisme, sandi yang tidak ortogonal, interferens akses-jamak dari pemakai lain, serta pengaruh daya pemakai sasaran yang lebih lemah dibandingkan daya pemakai lain. Detektor m-CMA memberikan nilai probabilitas galat bit terkecil di antara detektor lain yang disimulasikan, walaupun perubahan nilai SNR mempengaruhinya (hasil optimal pada  $\text{SNR} > 15$  dB). Hal ini menunjukkan m-CMA mampu memilah isyarat yang dikehendaki dari isyarat penginterferens.

## 5 Penutup

Berdasarkan hasil penelitian, detektor dengan algoritma modulus konstan yang dimodifikasi dengan proses pemutihan isyarat yang diterima dan penentuan nilai entropi yang minimum mampu mendeteksi isyarat DS-CDMA pemakai-jamak yang mengalami gangguan *multipath* dan memberikan hasil kinerja yang paling baik (nilai probabilitas galat bit yang paling rendah) dibandingkan dengan detektor CMA yang tidak dimodifikasi, *matched filter*, dan LMS.

## Daftar Pustaka

1. Anair, D.L., 1998, *Performance of Fixed and Adaptive Multiuser Linear Detector for DS-CDMA under Nonideal Condition*, Engineering Div., Cornell University, Ithaca, N.Y.
2. Brown, D.R., Anair, D.L., dan Johnson Jr., C.R., 1998, *Fractionally Sampled Linear Detectors for DS-CDMA*, Proceeding Asilomar Conference. on Signals, Systems, and Computing, edisi November, California.

3. Hayes, M.H., 1996, *Statistical Digital Signal Processing & Modeling*, John Wiley & Sons.
4. Haykin, Simon, 1991, *Adaptive Filter Theory*, 2<sup>nd</sup> Ed. Prentice Hall Inc., New Jersey.
5. Honig, M. dan Tsatsanis M.K., 2000, *Adaptive Techniques for Multiuser CDMA Receivers, Enhanced Signal Processing with Short Spreading Codes*, IEEE Signal Proc. Mag, ed. Mei.
6. Hyvärinen, Aapo dan Oja, Erkki, 1999, *Independent Component Analysis: A Tutorial*, Helsinki University of Technology, Helsinki (<http://www.cis.hut.fi/projects/ica/>)
7. Johnson, C.R., Schniter, P., Endres, T.J., Behm, J.D., Brown, D.R., dan Casas, R.A., 1998, *Blind Equalization Using the Constant Modulus Criterion: A Review*, Proceeding IEEE, volume 86, ed. Oktober.
8. Klein, Andrew, 1998, *Performance Analysis of Signed-Error CMA in the Presence of Noise*, makalah tutorial, Cornell University, NewYork.
9. Moshavi, S., 1996, *Multiuser Detection for DS-CDMA Communications*, IEEE Communication Magazine, hal. 124-136, edisi Oktober.
10. Mangalvedhe, N.R., 1999, *Development and Analysis of Adaptive Interference Rejection Techniques for Direct Sequence CDMA Systems*, Disertasi Ph.D., Virginia Polytechnic Institute & State University, Blacksburg, Virginia.
11. Proakis, John G., 1995, *Digital Communications*, 3<sup>rd</sup> ed. McGraw-Hill Inc.
12. Rappaport, T.S., 1996, *Wireless Communications, Principles & Practice*, Prentice Hall, N. J.
13. Schniter, P. dan Johnson Jr., C. Richard, 1998, *Minimum-Entropy Blind Acquisition/ Equalization for Uplink DS-CDMA*, in Proc. of the 36<sup>th</sup> Allerton Conference on Communication, Control, and Computing.
14. Schniter, P. dan Johnson, C. R., 1999, *On the Robustness of Blind Linear Receivers for Short Code CDMA*, 2<sup>nd</sup> IEEE Signal Processing Workshop on SPAWC, Anapolis.
15. Tsatsanis, Michail K., 1997, *Inverse Filtering Criteria for CDMA Systems*, IEEE Trans. Of Signal Processing, Vol. 45 No. 1, hal. 102-112, edisi Januari.