

Adaptive Beamforming Method for Cognitive Radio

Metode Adaptive Beamforming untuk Cognitive Radio

Agus Subekti

Pusat Penelitian Informatika
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Jln Cisit 21/154 D, Bandung 40135
Indonesia

Abstract

The difference in angle of arrival (AoA) is one of among opportunities to share frequency spectrum usage between primary users and secondary users. The direction of transmission beams can be shaped and be focused by using multi antenna. In this paper, we proposed beamforming technique at receiver side. The beam direction was arranged to have maximum at the arrival signal direction and minimum at the angle of reference signals. Using LMS (Least Mean Square) algorithm, weighting vectors were iteratively calculated to get the minimum MSE (Minimum Square Error). The proposed algorithm was evaluated using simulation for several step size values.

keywords: cognitive radio, adaptive beamforming, spectrum sensing

Abstrak

Salah satu peluang pemanfaatan spektrum secara bersama antara secondary users dan primary users adalah dengan memanfaatkan perbedaan sudut datang sinyal (*Angle of Arrival - AoA*). Dengan aplikasi multi antena, arah berkas dari masing-masing dibentuk dan dapat diatur sehingga terfokus dan tidak saling mengganggu karena memberikan interferensi. Pada tulisan ini diusulkan teknik beamforming di sisi penerima. Arah berkas dari larik dibuat maksimum pada arah datang sinyal dan minimum pada arah referensi. Dengan algoritma LMS (*Least Mean Square*), pembobot dihitung secara iteratif agar memberikan nilai MSE (*Minimum Square Error*) dari sinyal keluaran larik dan sinyal referensi yang minimum. Algoritma yang diusulkan selanjutnya dicoba disimulasikan untuk beberapa nilai parameter *step size*.

kata kunci: cognitive radio, adaptive beamforming, spectrum sensing

1. PENDAHULUAN

Cognitive radio adalah suatu sistem radio yang dapat mengubah parameter-parameter transmisinya berdasarkan interaksi dengan lingkungan operasinya [1]. *Cognitive radio* memiliki dua kemampuan yang membedakan dengan radio konvensional, yaitu *cognitive capability* dan *reconfigurability* [2, 3]. *Cognitive capability* mengacu pada kemampuan mendeteksi kondisi lingkungan seperti frekuensi transmisi yang sedang digunakan dan juga yang sedang tidak dipakai, jenis modulasi yang digunakan, besarnya daya pancar, bandwidth, dan lain-lain.

Sedangkan *reconfigurability* meliputi kemampuan untuk secara cepat menyesuaikan parameter transmisinya berdasarkan hasil deteksi lingkungan yang dilakukan dengan *cognitive capability* yang dimiliki.

Pada *cognitive radio*, terdapat 2 sistem yang dapat menggunakan spektrum frekuensi yang sama, primary networks dan secondary networks. Primary networks memiliki lisensi penggunaan frekuensi sedangkan *secondary networks tidak*. Ide dasar dari *cognitive radio* ini adalah pemanfaatan kembali spektral atau penggunaan bersama spektrum yang memungkinkan secondary networks/users memanfaatkan spectrum holes, untuk berkomunikasi menggunakan spektrum yang dialokasikan/diberikan lisensinya pada primary users ketika sedang tidak sedang dipakai baik secara spatial (pada lokasi tertentu) maupun secara temporal (pada waktu-waktu tertentu). Agar dapat melakukan hal tersebut, secondary users harus

*Corresponding Author. Tel: +6222-2504711

Email: agus.subekti@lipi.go.id

Received: 3 Apr 2014; revised: 6 May 2014; accepted: 10 May 2014

Published online: 30 May 2014

© 2014 INKOM 2014/14-NO385



Gambar 1. Secondary user menggunakan spektrum yang sedang tidak digunakan oleh primary users

melakukan fungsi spectrum sensing. Spectrum sensing dilakukan untuk mendeteksi keberadaan sinyal dari primary users, apakah yang memiliki hak/lisensi sedang beroperasi atau tidak [4].

Pada umumnya, *cognitive capability* ditujukan lebih pada bagaimana mendeteksi spektrum frekuensi yang sedang tidak dipakai pada waktu tertentu. Kesempatan penggunaan spektrum frekuensi bersama dilakukan dengan mengeksplotasi dimensi frekuensi dan waktu. Tetapi sebenarnya terdapat kemungkinan lain yang dapat dimanfaatkan, yaitu antara lain [5]:

—*Geographical space*

Spektrum frekuensi yang sedang dipakai oleh primary user di suatu tempat, bisa jadi sedang tidak dipakai di tempat lain dengan jarak tertentu.

—Kode

Memanfaatkan spreading code, time hopping atau frequency hopping yang sedang tidak digunakan oleh primary users

—Sudut

Dengan mengetahui posisi dan arah beam dari primary user, secondary user dapat memanfaatkan komunikasi ke arah lain yang tidak mengganggu komunikasi primary user.

Studi yang dilakukan pada tulisan ini berkaitan dengan peluang pemanfaatan spektrum frekuensi secara bersamaan antara primary user dan secondary user dengan mengeksplotasi dimensi sudut masing-masing beam dan juga posisinya.

Untuk menentukan arah berkas (*direction of arrival/angle of arrival*) digunakan teknik multi antenna dan algoritma pengolahan sinyal larik [6]. Algoritma yang digunakan juga mencakup kemampuan untuk mengubah parameter pembobot secara adaptif. Sistem multi antenna yang digunakan untuk keperluan ini termasuk dalam kelas sistem antenna cerdas. Pada antenna cerdas, jarak antar elemen dibuat cukup dekat (biasanya

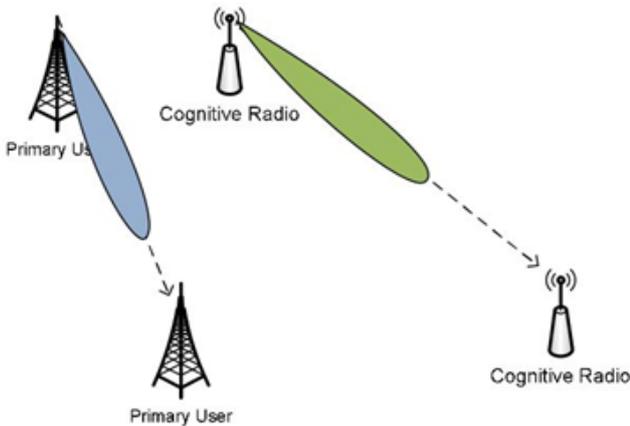
$\frac{\lambda}{2}$) sedemikian hingga sinyal pada tiap elemen larik saling berkorelasi. Penggunaan antenna cerdas pada cognitive radio diusulkan untuk menemukan lokasi dari primary users dan menerapkan transmit *beamforming* untuk menghindari interferensi spasial dengan sinyal dari primary users tersebut [7]. Pada tulisan ini dilakukan studi tentang aplikasi adaptif beamforming pada *cognitive radio* yang memanfaatkan informasi arah beam (*angle of arrival*) dari primary user. *Adaptive receive beamforming* digunakan untuk dapat menerima sinyal dari arah sudut datang tertentu, dan menolak interferensi pada sudut tertentu lainnya.

Tulisan ini diorganisasikan sebagai berikut: pada Bagian 2 akan dijelaskan masalah yang menjadi bahasan tulisan ini yaitu bagaimana meningkatkan efisiensi penggunaan spektrum frekuensi. Selanjutnya, pada Bagian 3 disajikan metodologi yang digunakan yaitu model komunikasi yang digunakan. Pada Bagian 4 akan disajikan hasil simulasi dan pembahasannya. Tulisan ini ditutup oleh Bagian 5 sebagai kesimpulan dan saran penelitian lebih lanjut.

2. DESKRIPSI MASALAH

Konsep cognitive radio digunakan pada sistem jaringan nirkawat untuk meningkatkan efisiensi penggunaan spektrum frekuensi. Pada sistem *cognitive radio* tersebut, terdapat 2 sistem jaringan yang dapat menggunakan spektrum frekuensi yang sama, yaitu jaringan primer (primary networks) dan jaringan sekunder (secondary networks). Jaringan primer memiliki lisensi penggunaan frekuensi secara eksklusif, sedangkan jaringan sekunder tidak. Jaringan sekunder, biasa juga disebut *cognitive radio*, hanya diperbolehkan menggunakan spektrum frekuensi yang sedang tidak dipakai oleh primary networks, seperti diilustrasikan pada Gambar 1. Spektrum yang sedang tidak dipakai ini, baik secara spatial (pada lokasi tertentu) maupun secara

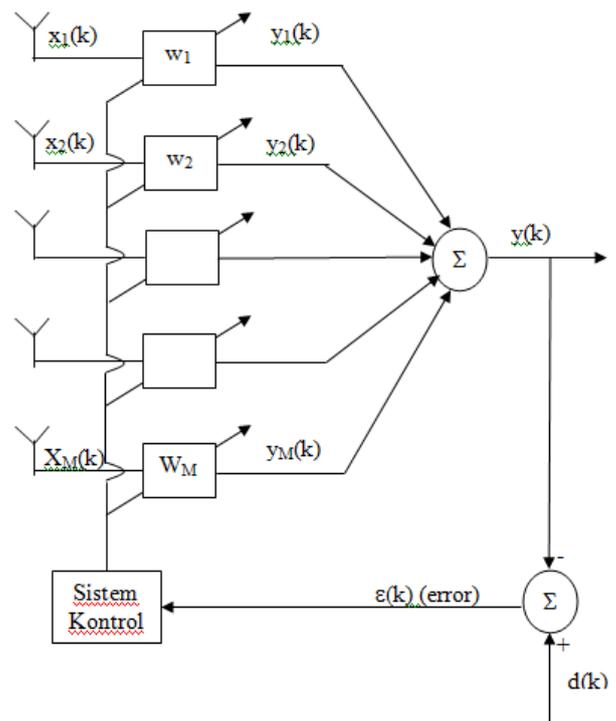
temporal (pada waktu-waktu tertentu) biasa disebut sebagai spectrum holes. Sebagai contoh beberapa standard yang menggunakan konsep ini antara lain ITU-R WP 1B, ITU-R WP 5A, IEEE SCC41, IEEE 802.11, IEEE 802.19, IEEE 802.21, IEEE 802.22 serta ETSI TC RRS. IEEE 802.22 Wireless RAN, termasuk standard *cognitive radio* yang paling awal, memanfaatkan frekuensi yang kosong pada spectrum jaringan primer televisi digital.



Gambar 2. Perbedaan AoA Primary User & Cognitive Radio [5]

Agar dapat memanfaatkan spektrum kosong (*spectrum hole*) dengan tidak menimbulkan gangguan interferensi yang mengganggu jaringan primer, *cognitive radio* harus melakukan fungsi spectrum sensing. Spectrum sensing berfungsi untuk mendeteksi keberadaan sinyal dari pengguna primer, yaitu apakah yang memiliki hak/pemegang lisensi sedang beroperasi atau tidak. Bila mendeteksi adanya spectrum holes, *cognitive radio* memiliki kesempatan untuk melakukan transmisi sinyal pada frekuensi tersebut. Tetapi transmisi tersebut harus segera dihentikan bila spectrum sensing mendeteksi keberadaan sinyal dari jaringan primer yang aktif pada frekuensi tersebut. Misalkan, spectrum sensing pada IEEE 802.22 Wireless RAN harus mendeteksi sinyal primer yang bersumber dari sistem TV digital (DTV) dan wireless microphone.

Gambar 2 memperlihatkan penggunaan spektrum frekuensi pada lokasi yang sama dengan membedakan arah berkas agar tidak menimbulkan interferensi. Misalkan pada fase sensing telah diketahui letak primary user dan arah dari berkas. Selanjutnya *cognitive radio* dapat melakukan transmit beamforming pada arah yang lainnya. Untuk menghindari interferensi yang saling mengganggu, pada studi ini diusulkan aplikasi receive beamforming dengan multi antenna.



Gambar 3. Sistem Multi Antenna Adaptive Beamforming

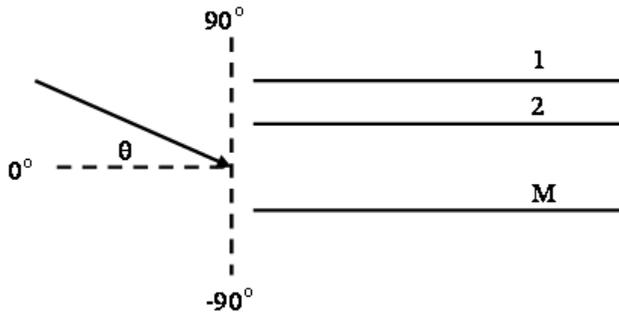
Penerimaan berkas dibuat maksimum pada arah sinyal dan minimum pada arah interferensi.

Penggunaan multi antenna pada komunikasi nirkawat sendiri dapat dikategorikan dalam dua pendekatan utama, yaitu pendekatan pada sistem multi-input-multi-output (MIMO) dan pendekatan pada sistem antenna cerdas/smart antenna. Sistem MIMO memanfaatkan independent sinyal dari tiap elemen antenna (sensor) untuk meningkatkan kinerja sistem terutama dalam meningkatkan bit error rates. Sistem MIMO memungkinkan tercapainya target bit error rates untuk sinyal dengan bandwidth lebar pada kondisi kanal multipath fading. Maximal ratio combining (MRC) dan selection processing (SP) termasuk dalam kategori MIMO ini. Pada MIMO diperlukan informasi tentang kanal, misalnya gain serta respon frekuensinya, untuk memaksimalkan SNR yang diterima dan/atau dalam rangka meningkatkan keandalan dengan diversity. Sebaliknya, antenna cerdas menggunakan korelasi antar elemen sinyal untuk merealisasikan pembentukan beam (beamforming). Pola radiasi antenna dapat didesain untuk mengarah pada sinyal yang diinginkan dan menurunkan interferensi. Beberapa aplikasi dari antenna cerdas pada komunikasi nirkawat antara lain adaptive null steering, phased array serta swiched beam.

Penelitian tentang penggunaan multi antenna untuk *cognitive radio* telah diuraikan pada beberapa tulisan. Beberapa diantaranya adalah:

- Multi antenna menggunakan adaptive nulling untuk mengurangi sensing dynamic range. Adaptive nulling adalah penapisan gelombang dengan kriteria tertentu, misalnya sudut datang, frekuensi, dan lain-lain. Sedangkan sensing dynamic range adalah rentang level tertinggi dan terendah sinyal yang dideteksi.
- Pada tulisan [8], dilakukan analisis performansi deteksi primary user menggunakan multi antenna dengan metode maximum ratio combining (MRC) dan selection processing (SP).

Implementasi adaptive nulling, MRC dan SP memerlukan informasi tambahan yang harus diketahui sebelumnya secara apriori, seperti *channel side information* (CSI) atau informasi arah primary user. Spectrum sensing dilakukan oleh *cognitive radio* pada fase sensing, yaitu mendeteksi kondisi spectrum disekitarnya pada fase awal, sehingga sistem antenna larik yang memerlukan informasi tambahan yang harus diketahui sebelumnya tidak praktis untuk diimplementasikan.



Gambar 4. Sudut Datang Sinyal pada Sistem Multi Antenna

3. METODOLOGI

Pada Gambar 3 dideskripsikan susunan penerima antenna larik. Tiap elemen antenna menerima versi sinyal yang besarnya bergantung beda fasa masing-masing elemen (sudut datang sinyal ($x_i(k)$)) seperti diilustrasikan pada Gambar 4. Sinyal dari tiap elemen ini kemudian dikalikan dengan suatu pembobot $w_i(k)$ dan dijumlahkan menghasilkan sinyal keluaran larik $y(k)$. Pada penerima terdapat sinyal referensi, yaitu sinyal yang diharapkan diterima $d(k)$. Selisih $d(k)$ dan $y(k)$ diharapkan seminimal mungkin, yaitu dengan mengatur pembobot w sedemikian hingga akan memberikan nilai maksimum pada sudut datang sinyal yang dikehendaki.

Persamaan sinyal error sebagai selisih sinyal estimasi dengan sinyal yang diharapkan dapat

dituliskan:

$$\epsilon(k) = d(k) - y(k) = d(k) - \bar{w}^H \bar{x}(k) \quad (1)$$

Di mana:

- $\epsilon(k)$: sinyal error, merupakan selisih dari sinyal keluaran larik dengan sinyal referensi
- $d(k)$: sinyal referensi
- $y(k)$: sinyal keluaran larik
- \bar{w}^H : larik pembobot adaptif, bernilai kompleks = $[w_1 w_2 \dots w_M]^T$,
- M = jumlah elemen larik
- $\bar{x}(k)$: sinyal masukan dari elemen sensor/antena. Sinyal masukan pada tiap elemen terdiri atas sinyal + interferer + noise ($\bar{X}_k = \bar{X}_s + \bar{X}_i + \bar{n}$)

Bila dilakukan operasi kuadrat dari error, akan didapatkan square error:

$$|\epsilon(k)|^2 = |d(k)|^2 - 2d(k)\bar{w}^H(k)\bar{x}(k) + w^H(k)\bar{x}(k)\bar{x}^H(k)\bar{w}(k) \quad (2)$$

Selanjutnya pada kedua sisi persamaan diambil expected value:

$$E[|\epsilon(k)|^2] = E[|d(k)|^2] - 2\bar{w}^H(k)\bar{r} + \bar{w}^H(k)\bar{R}_{xx}\bar{w}(k) \quad (3)$$

Persamaan 3 merupakan persamaan mean square error (MSE) yang harus diminimumkan, di mana:

$$\begin{aligned} \bar{r} &= E[d^* \bar{x}] \\ \bar{R}_{xx} &= E[\bar{x} \bar{x}^H] \end{aligned} \quad (4)$$

Untuk mendapatkan nilai MSE, didefinisikan cost function yang harus diminimumkan, yaitu:

$$\begin{aligned} J(\bar{w}) &= D - 2\bar{w}^H \bar{r} + \bar{w}^H + \bar{w}^H \bar{R}_{xx} \bar{w} \\ D &= E[|d|^2] \end{aligned} \quad (5)$$

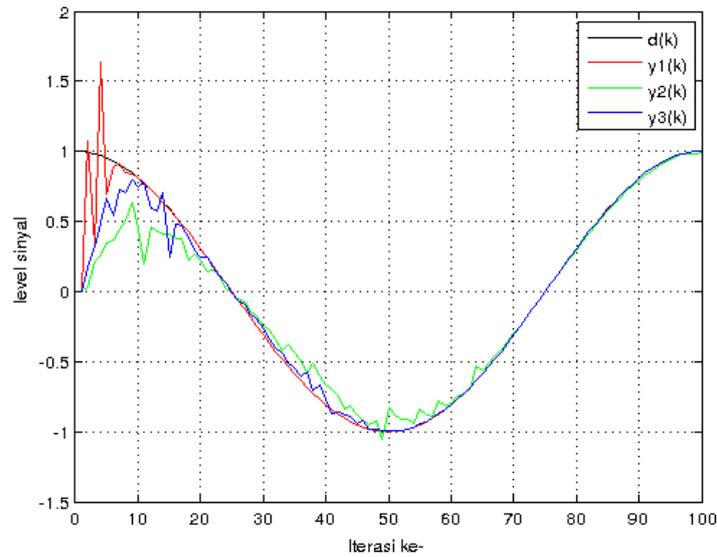
Menerapkan metode gradient untuk menemukan lokasi minimum:

$$\nabla_{\bar{w}} (J(\bar{w})) = -2\bar{r} + 2\bar{R}_{xx}\bar{w} \quad (6)$$

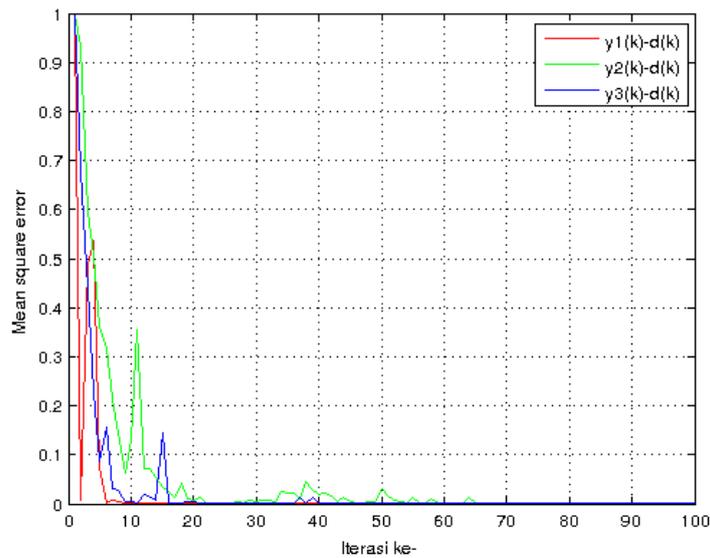
Minimum terjadi kalau gradient = 0, sehingga solusinya optimum Wiener:

$$\begin{aligned} 0 &= -2\bar{r} + 2\bar{R}_{xx}\bar{w} \\ \bar{R}_{xx}\bar{w} &= \bar{r} \\ \bar{w}_{opt} &= \bar{R}_{xx}^{-1}\bar{r} \end{aligned} \quad (7)$$

Untuk mendapatkan nilai \bar{w}_{opt} (7), harus diketahui seluruh nilai statistic sinyal \bar{R}_{xx} dan \bar{r} . Pada larik adaptif yang bekerja secara waktu nyata, nilai statistik tersebut tidak dapat diketahui sehingga



Gambar 7. Perbandingan Level Sinyal $y(k)$ & $d(k)$



Gambar 8. Perbandingan Mean Square Error (MSE)

perlu dilakukan estimasi. Secara umum, perlu dilakukan estimasi array correlation matrix (\bar{R}_{xx}) dan signal correlation vector (\bar{r}) pada rentang pengamatan atau saat waktu tertentu. Instantaneous estimates dari nilai ini dapat dituliskan sebagai:

$$\bar{R}_{xx}(k) \approx \bar{x}(k)\bar{x}^H(k) \tag{8}$$

dan

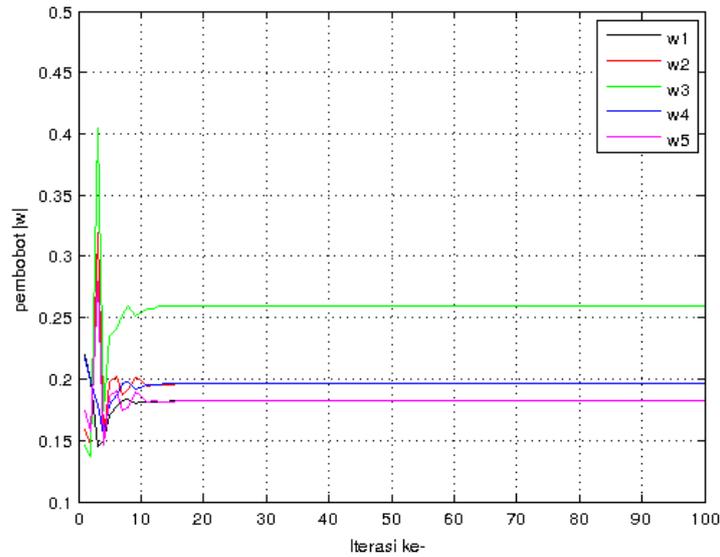
$$\bar{r}(k) \approx d^*\bar{x}(k) \tag{9}$$

Selanjutnya untuk meminimalkan cost function dapat dilakukan dengan teknik iterasi, antara lain dengan metode LMS (least mean square) [9] yang diusulkan pertama kali oleh Widrow, yaitu:

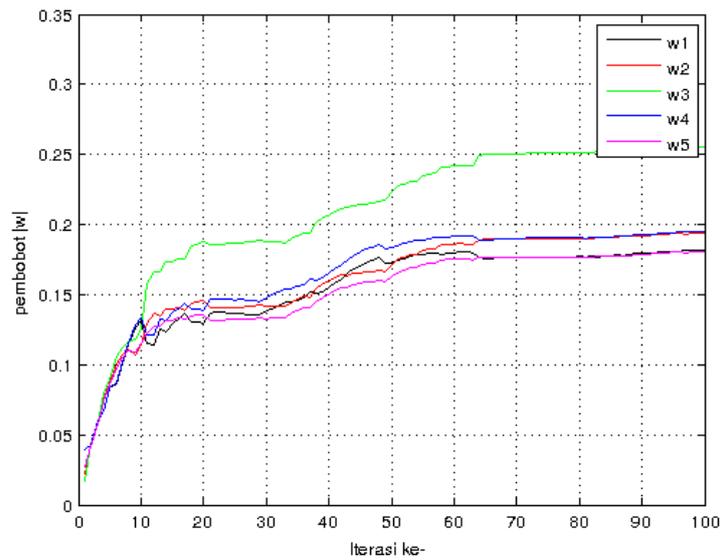
$$\bar{w}(k+1) = \bar{w}(k) - \frac{1}{2}\mu\nabla_w(J(\bar{w})) \tag{10}$$

Di mana:

- μ : parameter ukuran step
- ∇_w : gradient dari performance surface



Gambar 9. Adaptasi Nilai Pembobot w , $\mu = \mu_1$



Gambar 10. Adaptasi Nilai Pembobot w , $\mu = \mu_2$

Karena:

$$\nabla_w (J(\bar{w})) = -2\bar{r} + 2\bar{R}_{xx}\bar{w} \quad (11)$$

Maka solusi LMS untuk persamaan 10 menjadi:

$$\bar{w}(k+1) = \bar{w}(k) + \mu e^*(k)\bar{x}(k) \quad (12)$$

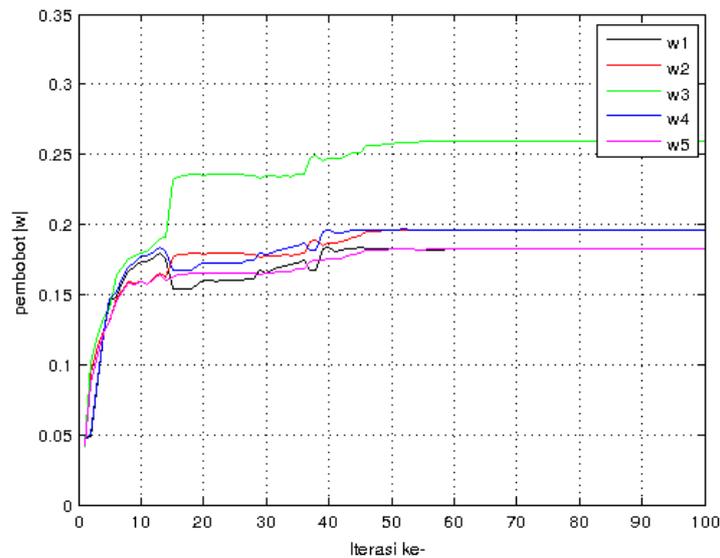
Di mana persamaan sinyal error:

$$e(k) = d(k) - \bar{w}^H(k)\bar{x}(k) \quad (13)$$

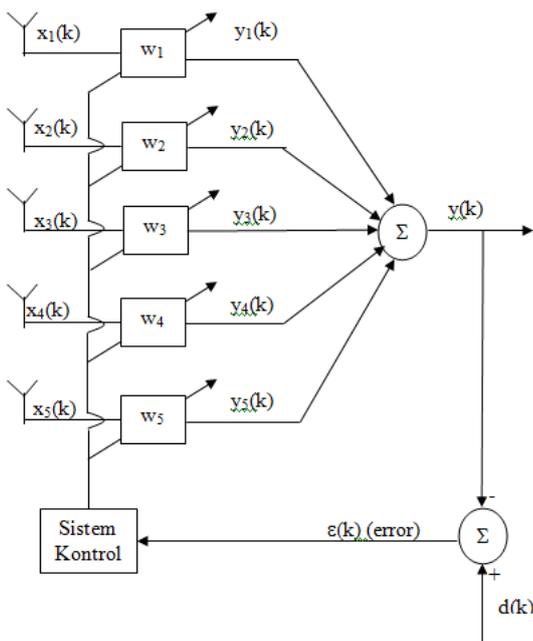
Persamaan 12 merupakan persamaan untuk menentukan nilai pembobot \bar{w} dengan algoritma

LMS. Konvergensi dari algoritma ini bergantung secara proporsional pada nilai parameter step size μ . Bila μ terlalu kecil maka konvergensi akan terlalu lambat sehingga tidak bisa mengikuti perubahan sinyal yang datang. Sedangkan bila terlalu besar akan mengakibatkan algoritma tidak mencapai pembobot optimum. Batasan step size pada literatur adalah [10]:

$$0 \leq \mu \leq \frac{1}{2\lambda_{max}} \quad (14)$$



Gambar 11. Adaptasi Nilai Pembobot $w, \mu = \mu_3$

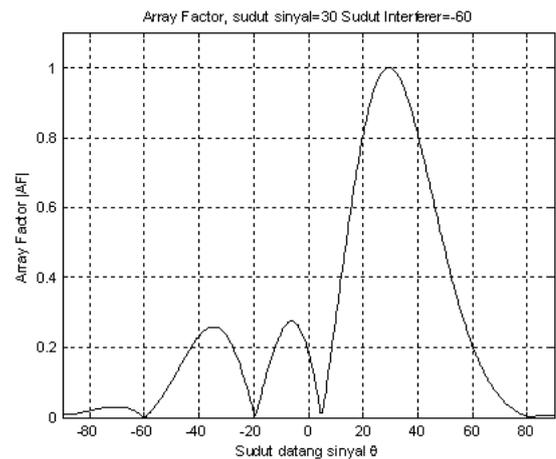


Gambar 5. Adaptive Beamforming dengan 5 elemen

Di mana λ_{max} merupakan nilai eigen terbesar dari larik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada studi ini dilakukan simulasi untuk mendapatkan pembobotan optimal dengan algoritma LMS. Pembobot yang optimal akan memberikan harga MSE minimum, yang berarti sinyal keluaran larik akan mirip dengan sinyal referensi. Sinyal referensi adalah sinyal yang sama dengan sinyal



Gambar 6. Array Factor dari Larik Adaptif

yang datang dari arah sudut datang sinyal yang diharapkan. Kasus yang dipakai pada studi ini adalah:

- Jumlah elemen: $N = 5$
- Jarak antar elemen $d = \lambda$
- Sudut datang sinyal = 30^0 ; sudut interferensi = -60^0
- Nilai awal pembobot $\bar{w} = 0$
- Step size diberikan nilai bervariasi, untuk mengetahui beda hasil karena faktor ini
- Sinyal referensi $d(k)$ berupa sinyal sinusoidal
- Jumlah iterasi=100

Perhitungan nilai pembobot $w_1 - w_5$ dilakukan secara iteratif dengan rumus LMS seperti yang

ditulis pada persamaan 10. Nilai disebut konvergen bila harga $w_1 - w_5$ tersebut tidak berubah lagi. Struktur antena larik dengan 5 elemen digambarkan pada Gambar 5.

Gambar 6 merupakan array factor dengan sudut sinyal 30° dan sudut interferer 60° . Array factor pada Gambar 6 memperlihatkan bahwa pembobot dari larik 5 antena yang diset memberikan respon yang diharapkan, di mana akan maksimum pada sudut datang sinyal dan minimum pada sudut datang interferer. Sedangkan pada Gambar 7 ditunjukkan perbedaan sinyal yang diterima untuk 3 macam nilai step size yang diberikan yaitu untuk $\mu_1 = 0.1734$, $\mu_2 = 0.0217$, $\mu_3 = 0.0434$. Perbedaan sinyal estimasi dengan sinyal referensi dihitung errornya, yang ditunjukkan pada Gambar 8. Kecepatan konvergensi nilai pembobot w_i bergantung juga pada nilai μ seperti terlihat pada Gambar 9 untuk μ_1 , Gambar 10 untuk μ_2 dan Gambar 11 untuk μ_3 .

5. KESIMPULAN

Pada tulisan ini dilakukan studi aplikasi adaptif beamforming pada *cognitive radio*. Algoritma LMS digunakan untuk mencari fungsi pembobot yang membuat larik memberikan respon maksimal ke arah sudut datang sinyal dan minimal pada arah sudut datang interferer. Hasil simulasi menunjukkan bahwa beam larik dapat dibentuk sesuai dengan yang diinginkan. Waktu penyelesaian teknik ini bergantung pada nilai step size yang diberikan. Nilai step size harus dipilih sedemikian hingga algoritma dapat konvergen dengan cepat dan stabil.

Daftar Pustaka

- [1] FCC, "Spectrum policy task force report, fcc doc.et docket no. 02-135," FCC, Tech. Rep., 2002.
- [2] I.F.Akyildiz, "Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey," *Springer Journal on Computer Networks*, vol. 50, pp. 2127–2159, 2006.
- [3] S.Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications," *IEEE Journal On Selected Areas In Communications*, vol. 23, no. 2, FEBRUARY 2005.
- [4] B.Wang and K.J.R.Liu, "Advances in cognitive radio networks: A survey," *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 5, no. 1, February 2011.
- [5] T.Yucek and H.Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 11, 2009.
- [6] L. Godara, "Application of antenna arrays to mobile communications, part ii: Beam-forming and direction-of-arrival considerations," *Proceedings of The IEEE*, vol. 85, no. 8, pp. 1195–1245, August 1997.
- [7] K.L.Du and W.H.Mow, "Affordable cyclostionarity-based spectrum sensing for cognitive radio with smart antennas," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 59, no. 4, May 2010.
- [8] D.Cabric, "Physical layer design issue unique to cognitive radio systems," in *IEEE Personal Indoor and Mobile Comm. Conf.*, 2005.
- [9] B.Widrow, "Adaptive antenna systems," *Proceedings of the IEEE*, vol. 55, 1967.
- [10] F.Gross, *Smart Antenna for Wireless Communications*, F.Gross, Ed. McGraw Hill, 2005.

