

# ANALISIS PENCARIAN SUDUT KEDATANGAN MENGUNAKAN ALGORITMA MUSIC UNTUK ADAPTIVE BEAMFORMING

Cahya Budi Muhammad<sup>1</sup>, Heroe Wijanto<sup>2</sup>, Antonius Darma Setiawan<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup>Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>cahyabudi@student.telkomuniversity.ac.id,<sup>2</sup>heroe@telkomuniversity.ac.id,

<sup>3</sup>adsetiawan1701@gmail.com

## Abstrak

Performansi dari suatu komunikasi nirkabel bisa ditingkatkan dengan menggunakan algoritma *beamforming* yang adaptif. *Beamforming* dapat meningkatkan efisiensi spektral dan performansi sistem komunikasi nirkabel, dengan meningkatkan penerimaan sinyal datang dan mengurangi peluang interferensi dari sebuah koneksi ke *user*. Untuk dapat melakukan *beamforming* yang adaptif, dimana teknik *beamforming* tersebut menyesuaikan dengan kondisi pergerakan *user* yang selalu berubah terhadap waktu, dibutuhkan estimasi lokasi dari sebuah *user* secara kontinu. Algoritma *Direction of Arrival* (DOA) bisa memberikan estimasi lokasi cukup akurat dengan mendeteksi keberadaan dan lokasi *user* yang selalu berubah. Pada penelitian ini, diujikan performa algoritma MUSIC untuk estimasi keberadaan *user*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan akurasi dapat dicapai dengan meningkatnya jumlah antena, *spacing* antar elemen sebesar  $0.5\lambda$ . Banyaknya *user* tidak berpengaruh pada akurasi dari algoritma MUSIC.

**Kata Kunci:** Direction of Arrival, Adaptive Beamforming, algoritma MUSIC, eigenvalue, matrix covariance, PMUSIC(dB)

## Abstract

Performance of wireless communication can be increase by using adaptive beamforming algorithms. Beamforming could increase the spectral efficiency and improving wireless communication system performance by increasing the amount of signal of arrival and reducing the probability of interference from a connection to user. To use adaptive beamforming algorithm, where beamforming technique can adapt with the movement of user, it required location estimation from user continuously. Define DOA algorithm can give location estimation accurately by detecting a user location. In this work, performance of MUSIC algorithm to estimate user location was investigated. The simulation results showed that accuracy can be increased significantly by increasing the number of element antenna, spacing between element of  $0.5\lambda$ . Increasing the number of user did not affect the accuracy of MUSIC algorithm.

**Key Words:** Direction of Arrival, Adaptive Beamforming, algoritma MUSIC, eigenvalue, matrix covariance, PMUSIC(dB)

## 1. Pendahuluan

Performansi suatu komunikasi nirkabel dapat ditingkatkan menggunakan algoritma *beamforming* yang adaptif. *Beamforming* bisa meningkatkan efisiensi spektral dan performansi dari sistem komunikasi nirkabel, dengan cara meningkatkan penerimaan sinyal datang dan mengurangi peluang sinyal interferensi [1].

*Beamforming* yang adaptif merupakan teknik dimana *array* antena digunakan untuk mendapatkan penerimaan sinyal yang maksimal dalam arah tertentu dengan memperkirakan arah kedatangan yang diinginkan, dimana sinyal dari arah lain dengan

frekuensi yang sama akan ditolak. Hal ini dapat dilakukan dengan mengatur *weights* dari masing-masing antena yang digunakan di *array*.

*Beamforming* merupakan sebuah bentuk dari *spatial filtering* yang digunakan untuk memisahkan objek *spatial* diantara *Signal of Interests* (SOI), *noise*, dan sinyal interferensi. Prinsip *beamforming* dapat diaplikasikan untuk penerimaan dan pemancaran dari sebuah sinyal.

*Beamforming* dapat dilakukan dengan menggunakan sensor *array*. Pertama, sinyal yang dihasilkan dari sensor *array* dimodelkan sebagai sebuah

*plane wave*. Selanjutnya, sinyal yang diterima dari masing-masing elemen sensor merupakan *delay* waktu dari sinyal yang diterima oleh elemen sensor yang lain. Selanjutnya, elemen antena berjumlah  $N$  dari sistem *beamforming* dapat membentuk beam sebanyak  $M$ .

Supaya *beamformer* dapat menggerakkan radiasi gelombang dalam arah tertentu dan menempatkan *nulls* terhadap arah interferensi, *Direction of Arrival* (DOA) harus diketahui sebelumnya. Algoritma DOA melakukan hal yang sama, yaitu dengan melakukan penerimaan sinyal dari sensor *array* dan menghitung arah kedatangan dari semua sinyal datang. Bila semua informasi sudut telah diketahui, proses tersebut selanjutnya masuk ke sistem *beamforming* untuk menghitung *weight vectors* untuk *beamsteering* [1].

## 2. Model Sinyal

### 2.1 Antenna Array

Misalkan sebuah sinyal *narrowband*  $s(t)$  memiliki frekuensi  $\omega_0$  dan sinyal tersebut datang pada sudut  $\Theta$  dan  $\Phi$  dengan bidang *z-axis* dan *x-axis* secara berturut-turut. Sinyal *narrowband* [2] bisa dilambangkan sesuai persamaan (1):

$$s(t) = u(t)\cos(\omega_0 t + v(t)), \quad (1)$$

dimana  $u(t)$  dan  $v(t)$  merupakan variasi fungsi dari waktu yang mendefinisikan sebagai amplitudo dan fasa secara berturut-turut dari  $s(t)$ . Pada konteks *array*, perubahan yang terjadi pada amplitudo dan fasa ialah sebagai fungsi dari posisi spasial untuk fungsi waktu  $\tau$ , yang tidak diperhitungkan di dalam *array*. Bila diperhitungkan, maka persamaan tersebut akan menjadi persamaan (2):

$$s(t - \tau) \approx u(t)\cos(\omega_0(t - \tau) + v(t)). \quad (2)$$

Persamaan tersebut *valid* untuk semua waktu  $\tau$  yang dibutuhkan oleh sinyal untuk menempuh ke elemen *array* tersebut. Persamaan tersebut lebih mudah jika diekspresikan dalam bentuk kompleks menjadi  $s(t) = \text{Re}\{s(t)\}$  sehingga:

$$s(t) = u(t)\exp\{-j[\omega_0 t + v(t)]\}. \quad (3)$$

Diasumsikan bahwa medium propagasi tidak berpengaruh secara signifikan terhadap sinyal, dimana sinyal tersebut ber-propagasi dari ujung pertama ke *array* dan ke elemen lain. Sinyal akan diterima pada satu sensor berbeda dengan sensor lain hanya oleh sebuah *delay*. Seperti pada persamaan (1), sebuah *delay* bergantung terhadap posisi relatif dari masing-masing sensor dan terhadap *Angle of Arrival* (AOA). Jika sistem koordinat kartesian digunakan sebagai referensi lokasi, dan elemen antena ke- $i$  berlokasi di  $(x_i, y_i, z_i)$ , *delay*  $\tau_i$  dari sebuah sinyal pada sensor ke- $i$  yang relatif terhadap

sinyal pada lokasi referensi dapat diekspresikan sebagai persamaan (4) [3]:

$$\tau_i = -\frac{[x_i \sin \theta \cos \phi + y_i \sin \theta \sin \phi + z_i \cos \theta]}{c}. \quad (4)$$

dimana  $c$  merupakan kecepatan cahaya. Tetapi, karena sinyal tersebut merupakan yang kompleks (*analytic signal*), dampak dari *delay* propagasi  $\tau_i$  merupakan *phase shift*  $\xi = -\omega_0 \tau_i$ . Bisa direpresentasikan menjadi persamaan (5) [3]:

$$s(t - \tau_i) = s(t)\exp(j\xi) = s(t)\exp(-j\omega_0 \tau_i), \quad (5)$$

dimana *phase shift*  $\xi_i$  diberikan oleh persamaan (6) dan (7) [2].

$$\xi_i = \frac{\omega}{c}(x_i \sin \theta \cos \phi + y_i \sin \theta \sin \phi + z_i \cos \theta), \quad (6)$$

$$\xi_i = \frac{2\pi}{\lambda}(x_i \sin \theta \cos \phi + y_i \sin \theta \sin \phi + z_i \cos \theta), \quad (7)$$

dan  $\lambda$  merupakan panjang gelombang dari sinyal datang. Jika sinyal yang diterima pada lokasi sensor (elemen antena)  $1, 2, \dots, M$  dinamakan menjadi  $x_1, x_2, \dots, x_M$  secara berturut-turut, *analytic signal* yang diterima pada *array* dapat diekspresikan dalam bentuk vektor sebagai persamaan (8) [4]:

$$\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \dots \\ x_M(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{j\xi_1} \\ e^{j\xi_2} \\ \dots \\ e^{j\xi_M} \end{bmatrix}, \quad (8)$$

Vektor dari  $x(t)$  sering direferensikan sebagai *array input data vector* atau *illumination vector*. Dalam persamaan (7), *phase shift* dipisahkan sendiri dari sinyal  $(t)$  karena adanya pemisahan spasial di antara elemen *array*. Untuk kasus umum, elemen *array* akan memiliki sebuah arah dan respon frekuensi yang bergantung pada masing-masing elemen. Hal tersebut bisa dimodelkan dengan mengaplikasikan *gain* yang berbeda dan fasa untuk vektor dari masing-masing elemen pada persamaan (7). Jika arah dan frekuensi *dependent gain* dan fasa dari elemen antena ke- $i$  di-denotasikan oleh  $g_i(\omega, \theta, \phi)$ , *analytic signal* pada *array output* bisa diekspresikan sebagai persamaan (9) [4]:

$$x(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \dots \\ x_M(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_1(\omega, \theta, \phi)e^{j\xi_1} \\ g_2(\omega, \theta, \phi)e^{j\xi_2} \\ \dots \\ g_M(\omega, \theta, \phi)e^{j\xi_M} \end{bmatrix} = \alpha(\omega, \theta, \phi), \quad (9)$$

dimana vektor  $\alpha(\omega, \theta, \phi)$

$$\alpha(\omega, \theta, \phi) = \begin{bmatrix} g_1(\omega, \theta, \phi)e^{j\xi_1} \\ g_2(\omega, \theta, \phi)e^{j\xi_2} \\ \dots \\ g_M(\omega, \theta, \phi)e^{j\xi_M} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} g_1(\omega, \theta, \phi)e^{j\frac{\omega}{c}(x_1 \sin \theta \cos \phi + y_1 \sin \theta \sin \phi + z_1 \cos \theta)} \\ g_2(\omega, \theta, \phi)e^{j\frac{\omega}{c}(x_2 \sin \theta \cos \phi + y_2 \sin \theta \sin \phi + z_2 \cos \theta)} \\ \dots \\ g_M(\omega, \theta, \phi)e^{j\frac{\omega}{c}(x_M \sin \theta \cos \phi + y_M \sin \theta \sin \phi + z_M \cos \theta)} \end{bmatrix} \quad (10)$$

dinamakan *steering vector*. Persamaan (9) merepresentasikan bentuk umum dari *steering vector* dari sebuah *array*. Seperti dilihat pada persamaan (9), *steering vector* (bisa dinamakan *direction vector*, *array vector* atau *aperture vector*) merupakan fungsi dari respon masing masing elemen, geometri *array*, frekuensi sinyal dan AOA.

## 2.2 Algoritma MUSIC

*Multiple Signal Classification* (MUSIC) merupakan teknik yang paling populer yang digunakan di *Direction of Arrival estimation* [3]. DOA dapat disimpulkan sebagai suatu pekerjaan, untuk mengestimasi arah dari sinyal datang yang tidak diketahui ke penerima antena menggunakan beberapa teknik pemrosesan sinyal.

Metode MUSIC relatif sederhana dan suatu metode *eigenstructure* yang efisien dari estimasi DOA. Teknik tersebut memiliki banyak variasi dan paling banyak dipelajari di kelasnya. Pada bentuk standar, bisa dibilang seperti spektral MUSIC, metode estimasi *noise subspace* dari sampel yang ada [5]. Teknik tersebut dapat dilakukan dengan melakukan dekomposisi *eigenvalue* dari estimasi matriks korelasi dari *array* atau nilai dekomposisi singular dari data matriks, dimana kolom  $N$  merepresentasikan  $N$  snapshots dari sinyal vektor *array*.

Matriks  $X$  dari sensor array ialah  $l$  dengan  $n$  matriks dimana  $l$  ialah jumlah dari sensor antena dan  $n$  melambangkan jumlah *snapshots* yang diambil. Matriks bisa diformulasikan seperti persamaan (11) [5].

$$X^T = [x_1 \dots x_l]. \quad (11)$$

Total sinyal yang diinduksikan pada elemen  $l^{th}$  dari *receiver array* bisa diformulasikan seperti persamaan (12) [5].

$$x_l = \sum_{k=1}^K m_k(t) e^{j2\pi f_0 \tau_l(\theta_k + \phi_k)} + n_l(t), \quad (12)$$

Waktu yang dibutuhkan  $\tau$  (digunakan sebagai *delay time*) dengan sinyal yang sampai ke elemen ke- $l$  dari *receiver array* dari elemen referensi *array* dengan sinyal  $k'h$  yang datang dari  $(\theta_k, \phi_k)$  bisa dikalkulasikan dengan (13) [2]

$$\tau_l(\theta_k, \phi_k) = \frac{r_l \cdot v(\theta_k, \phi_k)}{c}, \quad (13)$$

dimana  $r_l$  menandakan posisi vektor dari antena ke- $l$  dan  $v(\theta_k, \phi_k)$  menandakan vektor satuan yang mengarah ke sinyal datang ke- $k$ .

Matriks autokorelasi dari *sensor array*  $R$  bisa didapatkan dari persamaan (14) [5]

$$R = E\{XX^T\}. \quad (14)$$

Untuk mencari matriks korelasi dari elemen antena penerima dengan menggunakan persamaan persamaan (15) [5]

$$R = \frac{1}{K} \sum_{n=1}^N x_n x_n^H. \quad (15)$$

Untuk mengkalkulasikan *eigenvalues* dan *eigenvectors* dari matriks korelasi, dimasukkan sebuah matriks *noise subspace* dimana *eigenvectors* yang sesuai untuk *eigenvalues* terkecil dari matriks korelasi.

Untuk semua  $\theta$  dan sudut  $\phi$ , *steering vector* diciptakan dengan menggunakan persamaan (16) [5]

$$s(\theta, \phi) = [e^{2\pi f_0 \tau_1(\theta, \phi)} \dots e^{2\pi f_0 \tau_l(\theta, \phi)}]. \quad (16)$$

Menghitung puncak spektrum MUSIC ( $P_{MU}$ ) untuk semua nilai sudut dengan menggunakan persamaan (17) untuk mencari puncak dari spektrum MUSIC yang diestimasi sudut DOA [5]:

$$P_{MU}(\theta, \phi) = \frac{1}{|s^H(\theta, \phi)U_L|^2}, \quad (17)$$

dimana  $l$  melambangkan dimensi matriks  $l$  dengan  $l - m$  dengan kolom  $l - m$  menjadi *eigenvectors* yang sesuai dengan *eigenvalues* terkecil dari  $l - m$  dari matriks korelasi sebuah *array*.

$s^H(\theta, \phi)$  merupakan hermitian (*transpose* atau kompleks *conjugate*) dari sebuah *steering vector* yang digunakan untuk mencari jarak rentang dari sudut yang berarti dari sebuah user [5].

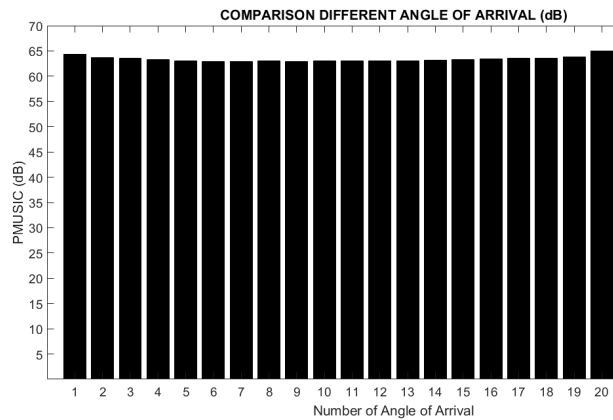
## 3. Hasil Simulasi

### 3.1 Perbandingan peningkatan Angle of Arrival

Analisis dilakukan pada hasil satu AOA sampai 20 AOA, untuk selanjutnya dibandingkan. Perbandingan yang akan dilakukan pada nilai PMUSIC (dB) dan akurasi dari grafik. Gambar 1 menunjukkan bagaimana peningkatan AOA mempengaruhi algoritma MUSIC. Grafik batang tersebut menunjukkan bahwa peningkatan jumlah sinyal relatif sedikit.

### 3.2 Perbandingan peningkatan jumlah elemen antena terhadap average peak power MUSIC dan accuracy level.

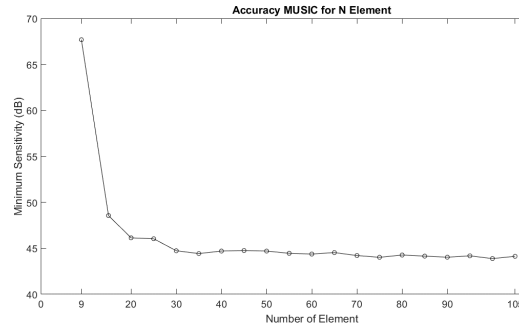
Dalam analisis ini, dilakukan perbandingan grafik dari 9 buah elemen hingga 105 buah elemen. Pada



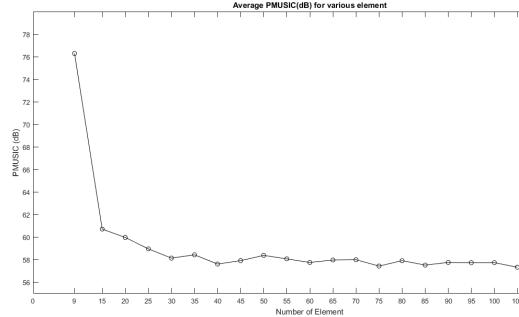
**Gambar 1. Hasil simulasi untuk peningkatan AOA terhadap PMUSIC(dB).**

Gambar 2 bagian (a), dalam hal penambahan elemen antenna, semakin banyak elemen antenna yang digunakan dalam algoritma MUSIC, semakin berkurang *average peak power* MUSIC yang diterima. Tetapi, untuk mendapatkan kesimpulan yang lebih bagus dan akurat dalam hal efek penambahan antenna terhadap daya terima PMUSIC, tinjauan harus dilakukan pada parameter ke-akurasian algoritma MUSIC untuk mendeteksi sinyal datang atau AOA terhadap penambahan elemen antenna. Dalam Gambar 2 bagian (b), dalam hal penambahan elemen antenna, semakin banyak elemen antenna yang digunakan di dalam algoritma MUSIC, ke-akurasian semakin meningkat. Akurasi ditandai dengan indikator tingkat *minimum sensitivity*. Semakin kecil *minimum sensitivity*, semakin akurat pendeteksian yang dilakukan oleh algoritma MUSIC.

*Minimum sensitivity* dapat menjadi parameter ke-akurasian dikarenakan pada tingkat penerimaan daya tertentu, AOA sudah bisa dideteksi. Dapat dilihat pada grafik, untuk jumlah elemen antenna sebanyak 9, algoritma MUSIC bisa mendeteksi AOA secara akurat pada tingkat PMUSIC sama dengan 60 dB, tetapi untuk jumlah elemen antenna sebanyak 20, algoritma MUSIC bisa mendeteksi AOA secara akurat pada tingkat PMUSIC sama dengan 46 dB. Dapat disimpulkan bahwa, semakin banyak elemen antenna yang digunakan di dalam algoritma MUSIC, semakin rendah tingkat penerimaan daya MUSIC untuk menentukan AOA secara akurat. Parameter akurasi dapat dikaitkan dengan parameter penerimaan *average peak power* MUSIC. Pengaruh pengujian penambahan elemen antenna di dalam algoritma MUSIC terhadap efek penerimaan *average peak power* MUSIC, semakin banyak jumlah elemen antenna yang dilakukan oleh algoritma MUSIC, semakin berkurang tingkat *average peak power* MUSIC yang diterima. Untuk pengujian penambahan elemen antenna di dalam algoritma MUSIC terhadap tingkat



(a)



(b)

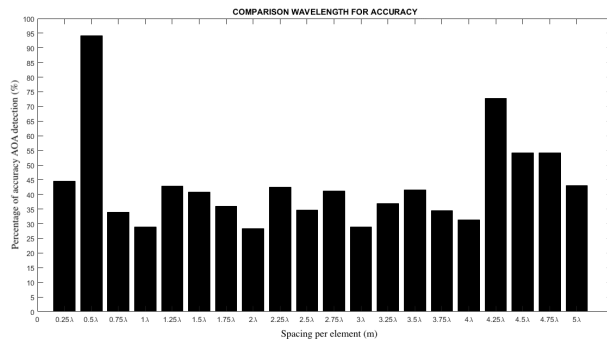
**Gambar 2. Hasil simulasi perbandingan jumlah elemen antenna, (a) *Average Peak Power* dan (b) *minimum sensitivity***

ke-akurasian dalam mendeteksi AOA, didapatkan hasil bahwa semakin banyak jumlah elemen antenna yang dilakukan oleh algoritma MUSIC, semakin tinggi tingkat akurasi dalam mendeteksi AOA dari suatu sinyal. Dari kedua pernyataan tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa, efek akurasi dari suatu algoritma MUSIC berpengaruh terhadap tingkat penerimaan *average peak power* MUSIC. Hasil ini membuktikan bahwa semakin akurasi pendeteksian AOA dari suatu sinyal, semakin rendah tingkat penerimaan *average peak power* MUSIC yang dilakukan oleh algoritma MUSIC.

**3.3 Perbandingan peningkatan *spacing* diantara elemen antenna**

Pada analisis ini dilakukan variasi *spacing* dari  $0.25\lambda$  sampai  $5\lambda$  dengan jumlah elemen antenna sebanyak 50 buah.

Dapat dilihat pada Gambar 3 diperoleh bahwa tingkat akurasi pendeteksian AOA terjadi saat *spacing* antar elemen berjarak  $0.5\lambda$  dengan tingkat akurasi sekitar 95%. Peningkatan *spacing* terjadi fluktuasi grafik, tetapi setiap peningkatan *spacing* untuk tingkat akurasi selalu 50%. Skenario tersebut dapat terjadi karena semakin besar *spacing* antar elemen di dalam algoritma MUSIC, semakin banyak algoritma MUSIC mendeteksi *subspace source* sehingga di dalam grafik



**Gambar 3.** Hasil simulasi untuk perbedaan spacing.

pendeteksian algoritma MUSIC, terdapat *unwanted signal* yang dideteksi namun tidak sebesar AOA. Contohnya bisa diambil dari hasil akurasi paling rendah, yaitu sekitar *spacing* sama dengan  $2.75\lambda$ .

#### 4. Kesimpulan

Pada penelitian ini, dilakukan penambahan AOA (*Angle of Arrival*) tidak menyebabkan penurunan akurasi dari algoritma MUSIC itu sendiri. Dengan penambahan AOA, algoritma MUSIC bisa mendeteksi sinyal datang berkisar di angka 63-65 dB dengan penerimaan tertinggi di AOA berjumlah 20 yaitu 65.3 dB. Peningkatan jumlah elemen akan meningkatkan tingkat akurasi. Selain itu pendeteksian sinyal kedatangan secara akurat bisa lebih rendah seiring peningkatan jumlah elemen antena. Untuk *spacing* antar elemen antena,  $0.5$  merupakan jarak paling

efektif untuk tingkat akurasi algoritma MUSIC yang optimal.

#### Daftar Pustaka

- [1] M. I. Kadir, M. S. Hoque, and S. Islam, "Direction of arrival algorithms for adaptive beamforming in next generation wireless systems," in *2008 11th International Conference on Computer and Information Technology*. IEEE, 2008, pp. 571–575.
- [2] M. Mohanna, M. L. Rabeh, E. M. Zieur, and S. Hekala, "Optimization of music algorithm for angle of arrival estimation in wireless communications," *NRIAG journal of Astronomy and Geophysics*, vol. 2, no. 1, pp. 116–124, 2013.
- [3] Y. A. Abohamra, A. A. Amin, M. Solymani, and Y. Shayan, "Direction of arrival algorithms for user identification in cellular networks," in *2016 IEEE 7th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*. IEEE, 2016, pp. 1–7.
- [4] L. C. Godora, "Application of antenna arrays to mobile communication part ii: Beam forming and direction of arrival consideration," in *Proc. IEEE*, vol. 85, 1997, pp. 1193–1245.
- [5] M. S. Fidan, "Multiple signal classification method in direction of arrival estimation," in *Final Project Report, Dept. Electrical-Electron. Eng., Hacettepe University*, 2007.