

ANALISA KOMUNIKASI MM-WAVE BERBASIS HYBRID BEAMFORMING

ANALYSIS MM-WAVE BASE ON HYBRID BEAMFORMING

Ulfah Sulistiyani¹, Uke Kurniawan Usman², Budi Syihabuddin³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹ulfahsulistiyani@student.telkomuniversity.ac.id, ²ukeusman@telkomuniversity.co.id,

³budisyi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Beberapa tahun belakangan ini pertumbuhan telekomunikasi meningkat pesat, sehingga dibutuhkan teknologi baru untuk menangani masalah tersebut. Salah satu teknologi pada komunikasi wireless dimasa yang akan datang adalah teknologi mmwave. Banyaknya antena yang digunakan pada teknologi ini mengakibatkan RF Chain yang digunakan juga meningkat. Dibutuhkan suatu teknik yang lebih berkembang untuk mendukung performansi dari sistem tersebut dan meminimalisir jumlah penggunaan RF Chain. Teknik *Hybrid beamforming* digunakan untuk meminimalisir penggunaan RF Chain. Analisis tugas akhir ini ditujukan pada pengaruh jumlah antena, jumlah RF chain dengan performansi *hybrid beamforming* pada kanal *rayleigh*. Dari hasil simulasi saat digunakan parameter jumlah antena 2x2, 4x4 dan 8x8 pada sistem *hybrid beamforming* dengan menggunakan 2 RF chain, nilai BER terkecil terjadi pada saat menggunakan antena 8x8, saat nilai Eb/No sebesar 20 dB memiliki nilai BER $5,41 \times 10^{-5}$. Saat digunakan parameter jumlah RF chain (NRF) sebesar 2, 4, dan 6 pada sistem *hybrid beamforming* dengan jumlah antena 8x8, sistem dengan NRF sebesar 6 memiliki nilai BER terbaik yaitu 5.7×10^{-6} pada saat Eb/No bernilai 5 dB.

Kata kunci : mmwave, *hybrid beamforming*

Abstract

In recent years telecommunication growth has increased rapidly, so new technology is needed to deal with the problem. One the technologies in the future wireless communication is mm-wave technology. The number of antennas used in this technology has resulted in the increase in the RF chain. A more developed technique is needed to support the performance of the system and minimize the amount of RF Chain usage. Hybrid beamforming technique is used to minimize the use of RF chain. The analysis of this final project is aimed at the effect of the number of antennas, the number of RF chains, with hybrid beamforming performance on rayleigh channels. From the simulation results when using the parameter number 2x2, 4x4 and 8x8 on a hybrid beamforming system using 2 RF chains, the smallest BER value occurs when using 8x8 antenna, when the Eb/No value of 20 dB has a BER value of $5,41 \times 10^{-5}$. When using RF chain (NRF) parameters of 2, 4, and 6 on a hybrid beamforming system with NRF of 6 has the best BER value of 5.7×10^{-6} . When Eb/No is 5 dB.

Keywords: mmwave, *hybrid beamforming*

1. Pendahuluan

Perkembangan komunikasi nirkabel mengalami peningkatan signifikan, hal ini dikarenakan *bandwidth* dan spektrum frekuensi yang digunakan pada jaringan seluler sudah banyak diduduki oleh teknologi lain seperti 2G, 3G, 4G, dll.[1] Sehingga tidak ada kanal frekuensi yang tersisa untuk komunikasi nirkabel dimasa depan. Salah satu cara mengatasi dengan mengembangkan teknologi *milimeterWave* (mmWave), dimana memanfaatkan *bandwidth* besar yang tidak berlisensi [30-300GHz]. Penggunaan spektrum mm-wave mempunyai keuntungan yaitu *bandwidth* yang lebar memungkinkan data rate tinggi dengan multi-Gbps. Namun kendalanya adalah *path loss* yang tinggi.[2][3] Untuk mengatasi *path loss* ini, sejumlah besar antena diperlukan untuk mendapatkan *gain beamforming* yang tinggi yang disebut *antenna array*. [4] Meskipun *antenna array* dapat diimplementasikan di area kecil karena panjang gelombang yang pendek, sistem *digital beamforming* tidak dapat diimplementasikan dengan mudah karena tingginya

kompleksitas perangkat keras. Hal tersebut karena jumlah antenna sama dengan jumlah *RF chains*, sehingga digunakan kombinasi sistem *digital beamforming* dan *analog beamforming* atau disebut dengan sistem *Hybrid beamforming*. Beberapa keuntungan sistem Hybrid beamforming adalah *gain* tinggi, efisiensi spektral serta kompleksitas berkurang. Skema yang digunakan pada Tugas Akhir ini ialah dengan menggunakan program MATLAB untuk menganalisis komunikasi milimeterwave pada sistem hybrid beamforming dengan membandingkan jumlah antenna dan jumlah RF chain.

2. Metodologi

A. Milimeter-wave

Seiring meningkatnya permintaan data seluler, spektrum Giga Hertz menjadi semakin ramai. Spektrum 3-30GHz umumnya disebut sebagai *super high frequency (SHF)* telah banyak digunakan, seperti Radio AM/FM, seluler, komunikasi satelit dan lain-lain.[5] Disisi lain, sejumlah besar spektrum dalam rentang 3-300GHz atau disebut *extremely high frequency (EHF)* atau *millimeter-wave band* kurang dimanfaatkan. Sejak gelombang radio di SHF dan band EHF mempunyai propagasi yang serupa, penulis mengacu pada spektrum 3-300GHz secara kolektif sebagai *millimeter-wave band* dengan panjang gelombang dari 1-100mm.[6] [7] Sistem komunikasi gelombang millimeter dapat mencapai kecepatan data multigiga dengan komunikasi *point-to-point* berjarak kilometer. [8]

Untuk merencanakan penggunaan spektrum frekuensi *millimeter-wave* perlu memperhatikan model karakteristik propagasi sinyal radio pada rentang frekuensi 3-300GHz. Model karakteristik propagasi dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu *empiric* dan *deterministic*. Penulis akan mensimulasikan model *deterministic* untuk propagasi indoor mmWave pada frekuensi 60 GHz. Komponen penting dalam desain sistem ini perlu memahami lingkungan propagasi untuk membantu dalam memilih modulasi dan skema pengkodean waktu yang tepat. FSP atau *free space propagation* merupakan faktor lingkungan propagasi mmWave dari berbagai macam faktor secara fisik.

Loss yang terjadi antara dua antenna isotropis tergantung pada frekuensi yang digunakan dan jarak antar kedua antenna, dengan persamaan sebagai berikut[3] :

$$L_{FSL} = (4\pi R/\lambda)^2 \quad (1)$$

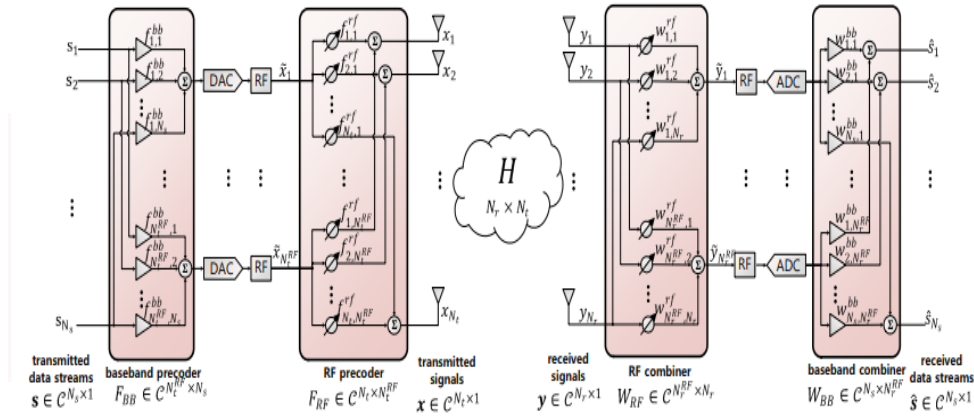
Dimana FSL adalah *free space loss*, R adalah jarak antara antenna *transmitter* dan antenna *receiver*, dan λ adalah panjang gelombang. Setelah diubah kedalam bentuk desimal persamaannya menjadi :

$$L_{FSL(dB)} = 92.4 + 20 \log f + 20 \log R \quad (2)$$

Dimana f adalah frekuensi GigaHertz sesuai dengan frekuensi milimeterwave, R adalah jarak antenna *transmitter* dan *receiver* dalam satuan kilometer.

B. Hybrid beamforming

Hybrid beamforming merupakan salah satu teknik *beamforming* yang menggabungkan *digital beamforming* dan *analog beamforming* untuk komunikasi pada frekuensi *mm-wave*. [4] *Digital beamforming* dilakukan dalam bentuk *precoding*. *Analog beamforming* memiliki koefisien kompleks untuk memanipulasi sinyal RF dengan mengontrol *phase shifters* dan *gain amplifier*. Jika N_t^{RF} sama dengan N_t maka *transmitter* menjadi *digital beamformer*. Juga jika N_s sama dengan N_t^{RF} menjadi *analog beamformer*. [4][5]



Gambar 1. Hybrid Beamforming

Dari gambar diatas bisa dilihat pada *transmitter* terdiri dari *baseband precoder* F_{BB} , *RF precoder* F_{RF} . Sedangkan pada *receiver*, setiap user memiliki *RF combiner* dan *baseband combiner*. N_t adalah antenna *base station*, N_r adalah antenna pada *user* atau *receiver*. *Base station* dapat mengirim data stream N_s ke *user* dengan N_t^{RF} *RF chains* dan *DACs* seperti persamaan berikut :

$$N_s \leq N_t^{RF} \leq N_t \quad (3)$$

$$N_s \leq N_r^{RF} \leq N_r \quad (4)$$

Jika N_t^{RF} sama dengan N_t maka *transmitter* menjadi *digital beamformer*. Juga jika N_s sama dengan N_t^{RF} menjadi *analog beamformer*. Dimana terjadi juga pada *receiver*. Sedangkan pada sinyal *receiver*, dirumuskan sebagai berikut :

$$y = \sqrt{\rho} Hx + n \quad (5)$$

Dimana y adalah sinyal yang diterima, x adalah sinyal yang dikirim, ρ adalah daya terima rata-rata, n adalah noise *gaussian*, H adalah *fading propagation channel*. Kanal H dapat ditulis sebagai berikut :

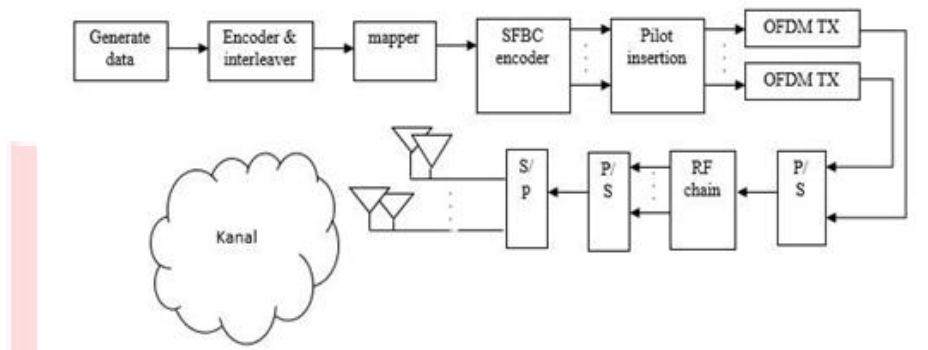
$$H = \sqrt{\frac{N_t N_r}{L}} \sum_{l=1}^L [\alpha_l \Lambda_r \Lambda_t^H] \quad (6)$$

Dimana N_t adalah jumlah antenna pada sisi *transmitter*, N_r jumlah antenna pada sisi *receiver*, α_l adalah komplek gain dari l^{th} path, Λ_r adalah *steering vektor* dari *receiver* dan Λ_t adalah *steering vektor* dari sisi *transmitter*.

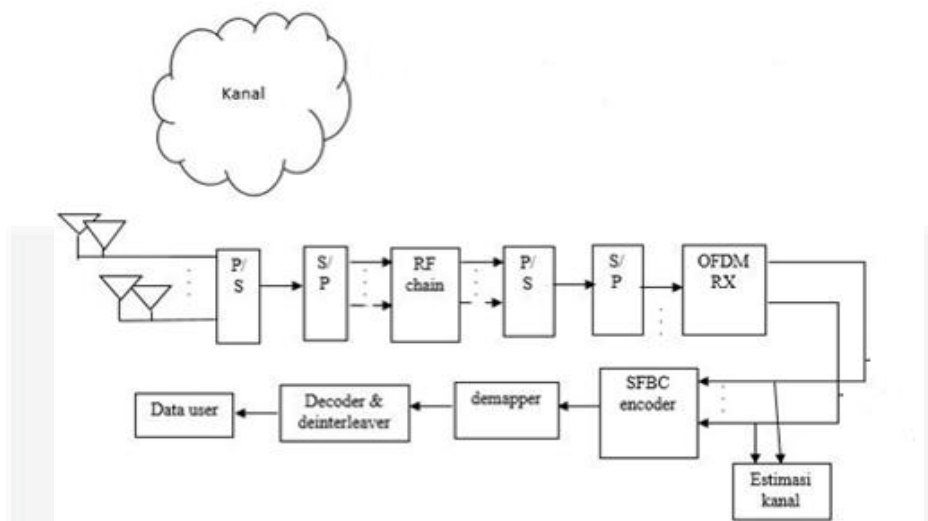
3. Perancangan Sistem

A. Desain Sistem

Gambaran umum desain sistem dapat dilihat pada gambar 1, dimana agar mengetahui pengaruh kondisi jumlah antenna, jumlah *Rf chain*, dan kanal terhadap sistem *hybrid beamforming*.



Gambar 2. Diagram Blok sistem Hybrid Beamforming sisi transmitter



Gambar 3. Diagram Blok sistem Hybrid Beamforming sisi receiver

Tabel 1. Spesifikasi Parameter simulasi sistem

Parameter Simulasi	Spesifikasi
Frekuensi Carrier	28 GHz
Bandwidth	800 Mhz
Modulasi	64QAM
Coding	Kode Konvolusional, rate 1/2
Antena Tx dan Rx	2,4,8
FFT size	1024
Subcarrier spacing	0.78 Mhz
Periode symbol (ts)	1.28 μ s
Periode cyclic prefix	0.16 μ s (1/8*ts)
Durasi symbol OFDM (Ts)	1.44 (Ts = ts +tcp)

B. Kanal AWGN

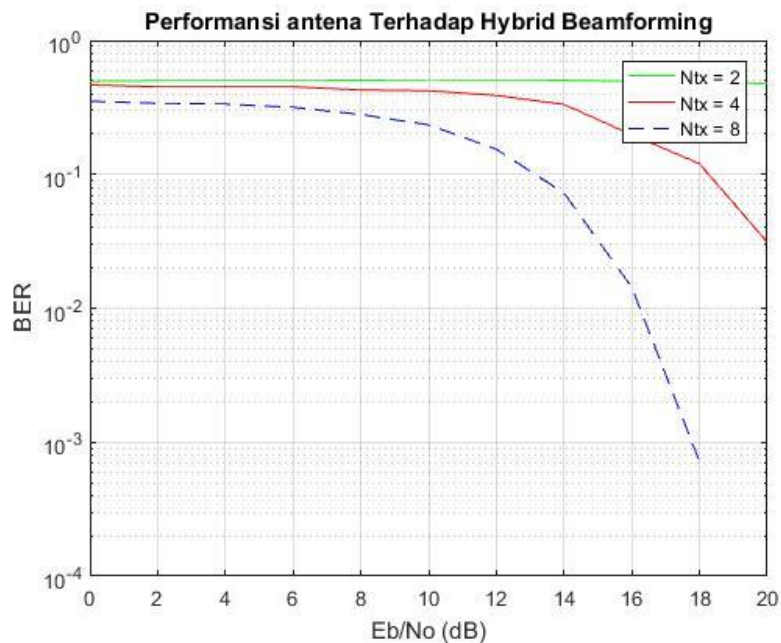
Additive White Gaussian Noise (AWGN) merupakan *noise* yang selalu muncul dan tidak dapat diabaikan. AWGN mempunyai kerapatan spektral yang rata untuk semua daerah frekuensi ($-\infty \leq \text{frek} \leq \infty$) dan mempunyai karakteristik statistik distribusi Gaussian.

C. Desain Rayleigh

Kanal *Rayleigh* digunakan pada kondisi *multipath* dengan tidak ada jalur langsung antara pengirim dan penerima, dengan kata lain, antara pengirim dan penerima tidak *Line Of Sight* (LOS).

4. Hasil dan Analisis

A. Pengaruh Jumlah Antena pada Hybrid Beamforming

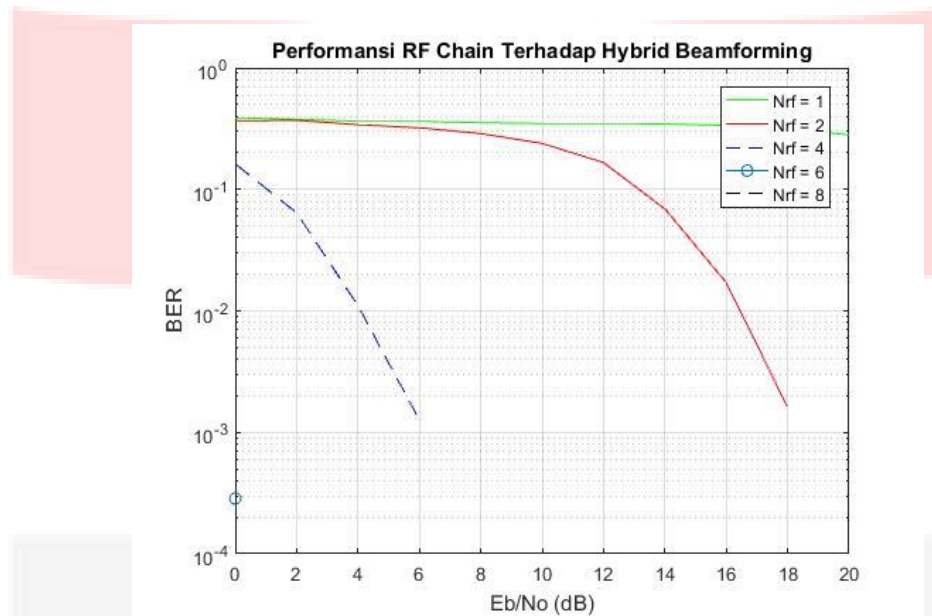


Gambar 5. Performansi antenna pada hybrid beamforming

Simulasi yang dilakukan dengan sistem *hybrid beamforming* menggunakan RF chain ($N_{RF} = 1$) pada sisi pengirim dan sisi penerima, serta jumlah antena pada sisi pengirim dan penerima menggunakan $N_{TxR} = 2 \times 2$, $N_{TxR} = 4 \times 4$ dan $N_{TxR} = 8 \times 8$. Pada hasil BER 10^{-3} terhadap pada sistem *hybrid beamforming* jumlah antenna 2×2 membutuhkan E_b/N_o sebesar 22 dB. Sedangkan pada sistem *hybrid beamforming* dengan jumlah antenna 4×4 membutuhkan E_b/N_o sebesar 20 dB. Serta jika pada jumlah antenna 8×8 pada sistem *hybrid beamforming* membutuhkan E_b/N_o sebesar 18 dB. Hal ini menunjukkan sistem dengan jumlah antenna 8×8 lebih baik dari sistem 4×4 dan 2×2 dengan perbaikan masing-masing sebesar 2 dB.

Dari simulasi yang dilakukan dapat dikatakan bahwa penambahan jumlah antenna pada *transmitter* dan *receiver* dalam sistem *hybrid beamforming* dapat meningkatkan kinerja sistem pada kanal *Rayleigh*. Hal tersebut disebabkan pada dua faktor. Pertama, penambahan antenna menyebabkan penambahan jalur pengiriman sinyal dari *transmitter* menuju *receiver*. Jika jalur semakin banyak, kemungkinan terjadinya *deep fade* (*fading* terburuk) pada semua jalur akan semakin kecil. Sedangkan sisi *receiver* akan menggabungkan sinyal yang dikirim melalui semua jalur yang terkena *deep fade* ataupun tidak. Hasil dari proses penggabungan akan menghasilkan kualitas sinyal yang baik jika jalur yang terkena *deep fade* semakin kecil.

B. Pengaruh Jumlah RF chain pada Hybrid Beamforming



Gambar 6. Performansi RF chain pada hybrid beamforming

Simulasi yang dilakukan pada sistem *hybrid beamforming* dengan menggunakan antenna pada sisi pengirim dan sisi penerima NTxR sebanyak 8x8, serta jumlah RF chain (NRF sebesar 1, 2, 4, 6, dan 8). Pada percobaan kali ini bertujuan untuk melihat pengaruh jumlah RF chain yang digunakan pada sistem *hybrid beamforming* dan membandingkan kinerja sistem *hybrid beamforming* (NRF sebesar 1, 2, 4, dan 6) dengan sistem digital beamforming (NRF sebesar 8) pada kanal Rayleigh.

Hasil dari simulasi yang ditunjukkan pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa untuk mencapai BER 10^{-3} sistem *hybrid beamforming* saat menggunakan NRF sebesar 8 membutuhkan E_b/N_0 sekitar 6 dB, saat menggunakan NRF sebesar 4 membutuhkan E_b/N_0 sekitar 8 dB, saat menggunakan NRF sebesar 6 membutuhkan E_b/N_0 sekitar 5 dB, dan saat menggunakan NRF sebesar 8 membutuhkan E_b/N_0 sekitar 4 dB. Sehingga dapat dikatakan bahwa, kinerja sistem *hybrid beamforming* dengan NRF sebesar 6 lebih baik dari pada saat menggunakan NRF =sebesar 4 dan 2.

5. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan hasil analisis percobaan pada Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

Sistem *hybrid beamforming* mencapai BER 10^{-3} saat menggunakan Nrf=2, antenna NTxR = 8x8, membutuhkan E_b/N_0 sekitar 12 dB, sedangkan saat menggunakan antenna NTxR = 4x4 dan NTxR = 2x2 membutuhkan nilai E_b/N_0 = 20 dB. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah antenna yang digunakan maka performansi sistem akan semakin baik, dengan perbaikan sistem sebesar 12 dB. Namun peningkatan jumlah antenna akan berbanding lurus dengan kompleksitas sistem dan akan semakin sulit untuk direalisasikan. Pada sistem *hybrid beamforming* untuk mencapai BER 10^{-3} saat menggunakan NRF sebesar 1 membutuhkan E_b/N_0 sekitar 20 dB, saat menggunakan NRF sebesar 2 membutuhkan E_b/N_0 sekitar 18 dB, saat menggunakan NRF sebesar 4 membutuhkan E_b/N_0 sekitar 6 dB. Sehingga dapat dikatakan bahwa, kinerja sistem *hybrid beamforming* pada antenna 8x8 dengan NRF sebesar 4 lebih baik dari pada saat menggunakan NRF =sebesar 1 dan 2. Semakin besar jumlah RF chain (NRF) maka performansi *hybrid beamforming* semakin baik. Namun peningkatan jumlah RF chain akan berbanding lurus dengan kompleksitas sistem serta dapat mengakibatkan cost yang besar jika diimplementasikan.

Daftar Pustaka:

- [1] Roh, Wonil, et al. "Millimeter-wave beamforming as an enabling technology for 5G cellular communications: theoretical feasibility and prototype results." *IEEE Communications Magazine* 52.2 (2014): 106-113.
- [2] Ma, Zheng, et al. "Key techniques for 5G wireless communications: network architecture, physical layer, and MAC layer perspectives." *Science China Information Sciences* 58.4 (2015): 1-20.
- [3] Michael Marcus and Bruno Pattan "Millimeter Wave *Propagation*: Spectrum Management Implications", IEEE Microwave Magazine, June, 2005.
- [4] Kwon, Girim, et al. "Design of millimeter wave hybrid beamforming systems." *2014 IEEE 80th Vehicular Technology Conference (VTC2014-Fall)*. IEEE, 2014.
- [5] Desai, Vip, et al. "Initial beamforming for mmwave communications." *2014 48th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*. IEEE, 2014.
- [6] Chen, Zhizhang, Gopal Gokeda, and Yiqiang Yu. *Introduction to Direction-of-arrival Estimation*. Artech House, 2010.
- [7] Torras, Jordi Ferrer. *New Hybrid Automatic Repeat Request (HARQ) Scheme for 4x4 MIMO System, Based on the Extended Alamouti Quasi-orthogonal Space-time Bloc Coding (Q-STBC), in Invariant and Variant Fading Channel*. Diss. New Jersey Institute of Technology, Department of Electrical and Computer Engineering, 2006.
- [8] Roy, Richard, A. Paulraj, and Thomas Kailath. "Estimation of signal parameters via rotational invariance techniques-esprit." *Military Communications Conference-Communications-Computers: Teamed for the 90's, 1986. MILCOM 1986. IEEE*. Vol. 3. IEEE, 1986.