

IEEE802.11N MIMO-OFDM WLAN UZAYSAL ÇOĞULLAMA SİSTEMLERİNİN İLİNTİLİ KANALLAR ÜZERİNDE ORTAK GÖNDERİCİ/ALICI ANTEN SEÇİMİ İLE KAPASİTE ARTIMI

Asuman Yavanoğlu ve Özgür Ertuğ

Telekomunikasyon ve Sinyal İşleme Laboratuvarı (TESLAB)

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Gazi Üniversitesi

Ankara, Türkiye

{asavascihabes, ertug} @ gazi.edu.tr

ÖZET: Bu çalışmada MIMO-OFDM WLAN sistemlerin kompakt bindirilmiş dairesel mikroşerit anten dizinleri kullanılarak ortak gönderici/alıcı anten seçimi ile performans analizleri üzerinde çalışılmıştır. IEEE802.11n standardı OFDM WLAN sistemlerde

yüksek-seviye modlar ile ışına yapan mikroşerit antenler kullanmanın yanısıra, gönderici ve alıcıda anten seçim tekniği uygulandığında RF zincir sayısı azaltılarak erişilebilir sistem kapasitesi ve iletim hızı daha da arttırılabilmektedir. Bu çalışmada, alıcıda esnek iki-aşamalı seçim algoritması kullanılmış, göndericide ise alttaşıyıcı başına seçim algoritması kullanılmıştır. Ergodik spektral verimlilik cinsinden anten seçimi uygulanarak sistem performansı incelenmiş ve anten seçimi yapılmayan sonuçlar ile karşılaştırmalı analizler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Anten seçimi, uzaysal çoğullama, MIMO-OFDM, mikroşerit antenler.

I.GİRİŞ

Son yıllarda çok girişli-çok çıkışlı (MIMO) sistemler sağlamış oldukları üstün data hızı ve link güvenilirliği başarımından dolayı ilgi odağı haline gelmiştir. MIMO sistemler, alıcı ve vericide çok sayıda antenin kullanıldığı, kablosuz link performansını oldukça arttıran sistemlerdir. MIMO sistemlerin, kapasite artırımlarına karşın çok anten kullanımının getirmiş olduğu karmaşıklık dolayısıyla maliyetleri yüksektir. Sistem içindeki yükselticiler, kullanılabilir verici ya da alıcı anten sayısını sınırlayan temel etkenler olmaktadır [1]. Çok antenli yapıların en önemli sorunu yükselteçler, aşağı-dönüştürücüler (downconverter) ve A/D dönüştürücülerden oluşan Radyo Frekansı (RF) zincirleri sayılarının çok oluşudur. Bu da karmaşıklığı ve sistemin donanım yönünden maliyetini arttırır. Az sayıda yükseltici ile çok sayıda verici anten kullanmak ve bu antenler içinden en iyi kanal parametrelerine sahip olan antenlerin seçilmesi yoluna gidilerek sistem maliyetini düşürme yoluna başvurulmaktadır. Bu maliyet problemini

hafifletmek için ve MIMO sistemin avantajlarını yakalamak için düşük-karmaşıklıkta sahip bir çözüm olarak anten seçimi algoritmaları önerilmiştir.

Literatürde anten seçimi üzerine yapılan çalışmaların bir çoğu sadece ya gönderici ya da alıcı anten seçimi üzerinde yoğunluk taşımaktadır [2-8]. MIMO uzaysal-çoğullama için özellikle ilintili kanallar üzerinde ortak anten seçimi kullanılan çalışmaya rastlanmamıştır. Gorokhov [3]'de DSA algoritmasını önermiştir. Bu algorithmda tam anten seti ile başlanarak her bir adımda kapasite kaybını minimize edecek şekilde bir anten çıkarılır. Ayrıca Gharavi-Alkansari [8] kanal kapasitesini maksimize etmek için Fast-ISA algoritmasını önermişlerdir. Bu yöntem Gorokhov'un yaklaşımına göre çok daha hızlıdır. ISA algoritmasında DSA'dan farklı olarak ilk önce boş bir seçilen anten seti ile başlanarak her bir adımda en fazla kapasite artışı elde edilecek şekilde anten setine bir anten eklenmektedir. Şimdiye kadar literatürde rastlanan ortak Tx ve Rx subset selection algoritması kullanan [10] numaralı çalışmada, frekans-seçici kanal için AMCMC optimizasyon algoritması ile toplam açısal yayılım etkisi kullanılmadan MSE tabanlı anten seçimi algoritması kullanılmıştır. RF zinciri sayısının anten elemanları sayısından daha düşük donanımsal maliyeti düşürürken sistem performansını arttıracaktır.

Bu çalışmada, kanal ilinti bilgisinin gönderici tarafında bilindiği durum için performans analizleri ele alınmış, alıcı anten seçimi için ISA (Incremental Selection) ve NBS (Norm-based selection) tabanlı TSSA (Two-step selection algorithm) algoritması, gönderici anten seçimi için ise VAS-PS (variable-per tone) anten seçimi algoritmaları mevcut ilintili kanal modelimiz altında SCP anten dizinleri için uygulanmış ve ortak anten seçimi yapısı oluşturmuştur. Performans analizleri ergodik spektral verimlilik cinsinden gerçekleştirilmiştir.

II. SİSTEM/KANAL MODELİ

1. MIMO Sistem Modeli

Bir MIMO sistem temelde N_t gönderici, N_r alıcı antenden oluşur. Kanal matrisi $H \in \mathbb{C}^{N_r \times N_t}$ dır. Göndericide N_t boyutlu gönderici anten seçim matrisi S_t ,
 üzerinden N_r kadar anten elemanı seçerek donanım maliyetinin azaltılmasını sağlarken,
 alıcıda N_r anten üzerinden N_r anten seçen $N_r \times N_r$ boyutlu S_r matrisi bu işlem için
 kullanılmaktadır. Böylece $N_r \times 1$ alıcı matrisi y :

$$\mathbf{y} = \sqrt{\frac{\rho}{N_t}} S_r \mathbf{H} S_t \mathbf{x} + \mathbf{n} = \sqrt{\frac{\rho}{N_t}} \mathbf{H}_{sel} \mathbf{x} + \mathbf{n} \quad (1)$$

olarak ifade edilir. Burada $\mathbf{x} \in \mathbb{C}^{N_r \times 1}$ boyutlu gönderilen semboller vektörü, $\mathbf{H}_{sel} = \mathbf{S}_r \mathbf{H} \mathbf{S}_t \in \mathbb{C}^{N_r \times N_t}$ anten seçimi yapıldıktan sonra elde edilen yeni kanal matrisi, ρ alıcı anten başına işaret-gürültü oranı (SNR) ve \mathbf{n} ise sıfır ortalamalı birim kovaryans matrisli AWGN noise ifade etmektedir.

Kronecker tabanlı kanal modeline göre uzaysal ilinti matrisi:

$$\mathbf{R} = \varepsilon [\text{vec}(\mathbf{H})\text{vec}(\mathbf{H})^H] \quad (2)$$

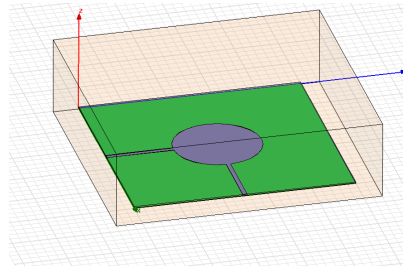
dir. Burada

$$\text{vec}(\mathbf{H}) = \sqrt{R} \text{vec}(\mathbf{H}_w) \quad (3)$$

\mathbf{H}_w ve ρ ise uzaysal i.i.d. sıfır ortalamalı birim varyansa sahip complex gaussian bileşenli MIMO kanaldır. Kullanılan MIMO kanal modelinde Kronecker korele kanal modelinde kanal matrisi:

$$\mathbf{H} = \sqrt{\mathbf{R}_{RX}} \mathbf{H}_w \sqrt{\mathbf{R}_{TX}} \quad (4)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada \mathbf{R}_{RX} alıcı ilinti matrisi, \mathbf{R}_{TX} ise gönderici ilinti matrisidir. Göndericide kanal bilgisi olmadığı durumda antenler üzerinden düzgün dağılımlı güç bindirmesi iyi bir seçimdir. Ortak gönderici ve alıcı anten seçimi işleminin temeli, kapasite kriteri üzerinden N_T üzerinden en iyi N_t 'yi seçmek aynı zamanda N_r üzerinden en iyi N_r 'yi seçmektir.



Şekil.1.: İki-kutuplu mikroşerit anten (SMP-SCP) yapısı

İki kutuplu dairesel mikroşerit yama anten yapısı için aynı antende iki farklı kutuptaki elektrik alan yayılımları arasındaki ilinti hesaplanırken (5)'te yer alan d mesafesi sıfır alınmaktadır. Farklı kutuplar arasındaki ilinti değerleri hesaplanırken çizgi integral kullanılmaktadır.

$$\rho = \frac{\int_{-\pi}^{\pi} E_1(\phi) E_2^*(\phi) \text{PAS}(\phi; \phi_c, \sigma_c^2) \exp(-jk_f d(n_2 - n_1) \sin(\phi)) d\phi}{\sqrt{\int_{-\pi}^{\pi} |E_1(\phi)|^2 \text{PAS}(\phi; \phi_c, \sigma_c^2) d\phi} \sqrt{\int_{-\pi}^{\pi} |E_2(\phi)|^2 \text{PAS}(\phi; \phi_c, \sigma_c^2) d\phi}} \quad (5)$$

ifadesinde:

$E_1(\phi) \cdot E_2^*(\phi)$, $|E_1(\phi)|^2$, $|E_{21}(\phi)|^2$ ifadeleri yerine (6)'da verilen ifadeler kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} E_1(\phi)E_2^*(\phi) &= E_\theta(\phi)E_\theta^*(\phi) + XPD \times E_\theta(\phi)E_\theta^*(\phi) \\ |E_1(\phi)|^2 &= |E_\theta(\phi)|^2 + XPD \times |E_\theta(\phi)|^2 \\ |E_2(\phi)|^2 &= |E_\theta(\phi)|^2 + XPD \times |E_\theta(\phi)|^2 \end{aligned} \quad (6)$$

burada XPD değeri, çapraz kutuplanma ayrıştırmasını göstermektedir ve temelde eş ve çapraz kutuplanma arasındaki dB cinsinden oran olarak ifade edilmektedir.

2. MIMO Kanal Kapasitesi

Eğer anten seçimi hem göndericide hem de alıcıda uygulanırsa, seçilen MIMO sistem

$H_{sel} \in C^{N_r \times N_t}$ için erişilebilir kapasite ifadesi () :

$$C(\mathbf{H}_{sel}) = \log_2 \left[\mathbf{I}_{N_t} + \frac{\rho}{N_t} \mathbf{H}_{sel}^H \mathbf{H}_{sel} \right] \quad (8)$$

$\mathbf{H}_{sel} = \mathbf{S}_r \mathbf{H} \mathbf{S}_t$ dir, \mathbf{I}_{N_t} $N_t \times N_t$ boyutlu birim matris, tir. Gönderici ve alıcı ilinti matrislerinin EVD (eigenvalue decomposition)' ları sırasıyla:

$$R_t = U_t D_T U_t^H \quad R_r = U_r D_R U_r^H \quad U_r \quad U_t$$

ve $D_T = \text{diag}[\lambda_1^T, \dots, \lambda_{N_t}^T]$ ve $D_R = \text{diag}[\lambda_1^R, \dots, \lambda_{N_r}^R]$ olacak şekilde U_r ve U_t unitary matrislerdir ve R_r R_t 'nin özvektörleridir. D_T ve D_R ise

diagonal girişleri sırasıyla R_t ve R_r 'nin özdeğerleri olan diagonal matrislerdir.

$$\mathbf{H}_{sel} = \sqrt{\mathbf{R}_r} \mathbf{H}_w \sqrt{\mathbf{R}_t}$$

olacak şekilde kapasite ifadesi:

$$C(\mathbf{H}_{sel}) = \log_2 \left[\mathbf{I}_{N_t} + \frac{\rho}{N_t} D_T H_w^H D_R H_w \right] \quad (9)$$

şeklinde yeniden ifade edilir.

$$N_r = N_t$$

Eğer $N_r = N_t$ ise ve gönderici ve alıcı ilinti matrisleri full rank ise yüksek SNR larda kapasite ifadesi (10)'daki gibidir:

$$C(H_{sel}) \approx \log_2 \det\left(\frac{\rho}{Nt} H_w^H H_w\right) + \log_2 \det(D_R) + \log_2 \det(D_T) \quad (10)$$

CSI göndericide mevcutken deterministik MIMO kanal kapasitesi (11)'deki gibidir.

$$C = \max_{R_{xx}, \{p1, p2, \dots, pM\}} \log_2 \det\left(\mathbf{I}_{N_R} + \frac{E_x}{M} \mathbf{H}_{\{p1, p2, \dots, pM\}} \mathbf{R}_{XX} \mathbf{H}_{\{p1, p2, \dots, pM\}}^H\right) \quad (11)$$

3. Anten Seçimi

Anten seçimi için en iyi alt-küme seçme işlemi H kanal matrisinin tüm olası satır ve sütunlarının tüm olarak taranması ile elde edilir. Bu işlem, dizi uzunluğu arttıkça

$$\binom{N_R}{N_r} \binom{N_T}{N_t} = \frac{N_R!}{(N_R - N_r)! \cdot N_r!} \cdot \frac{N_T!}{(N_T - N_t)! \cdot N_t!}$$

kombinasyonunun hesabı nedeniyle zorlaşır.

Basitlik açısından yeni bir yaklaşım olarak ilk önce alıcı anten sayısı değiştirilmeden yani N_r kadar satır sabit tutularak N_t kadar sütun seçilir, daha sonra ise gönderici anten sayısı kadar yani N_t kadar sütun sabit tutularak N_r kadar satır seçilir. Sonuç olarak ortaya çıkan satır ve sütunlar yeni bir matris oluşturmak için kullanılır.

III. ANTEN SEÇİMİ ALGORİTMALARI

Kanal durum bilgisine bağlı olarak bu çalışmada kullanılan anten seçimi algoritması alıcıda NBS (Norm-based Selection) ve ISA (Incremental Selection Algorithm) algoritmalarının genel formu olan TSSA (Two-step Selection Algorithm) algoritması ve göndericide VAS-PS algoritmasıdır. Bu algoritmalarından NBS, Euclidean vektör normuna bağlı olarak çalışırken, ISA ise RF zincir sayısının seçili anten sayısından daha büyük olduğu ($N_R > N_r$) durumlarda kanal kapasitesini maksimize eden etkin bir algoritmadır.

1. TSSA (Two-Step Selection Algorithm)

TSSA algoritması iki aşamada kullanılır. İlk adımda, NBS algoritması kullanılarak en yüksek vektör norma sahip olacak şekilde orijinal H kanal matrisinden

$$N_{R_r} (N_R \geq N_{R_r} \geq N_r) \quad N_{T_t} (N_T \geq N_{T_t} \geq N_t)$$

satır ve sütun seçilir. Daha sonra ön-seçili alt

$$H_{sel} \in C^{N_{R_r} \times N_{T_t}}$$

matris olan “Hsel” elde edilir. Burada amaç yüksek vektör-norma sahip bir ön-seçili alt matrisi orijinal kanal matrisi kullanarak elde etmektir. Bu sayede bir sonraki adımda hesaplama karmaşıklığını azaltmak amaçlanmaktadır. İkinci adımda ise ön-seçili alt matris’e ISA uygulanır ve kapasite-tabanlı ortak gönderici-alıcı anten seçimi yapılır.

TSSA algoritması için NBS ve ISA işlem adımları şu şekilde özetlenebilir [9]:

- NBS algoritmasının kullanılması:

Girdiler: NR,NT,NRr,NTr,Nr,Nt,H, ^{ρ}

1) Alıcı Anten Seçimi:

N_{Rr} adet satırı yüksek normda seç:

$$J_R = \arg \max \|h_j\|$$

Seçili altmatrisi oluştur.

$$H_{N_{Rr}} \in C^{N_{Rr} \times N_T}$$

2) Gönderici Anten Seçimi:

1)'dekine benzer biçimde ön-seçili altmatrisi

$$H'_{sel} \in C^{N_{Rr} \times N_{Tr}}$$

bul.

- ISA algoritmasının kullanılması:

Girdiler: NRr, NTr, Nr, Nt, Hsel, ^{ρ}

Alıcı Anten Seçimi:

i) ilk satırı seç, $j=1,2,\dots,N_{Rr}$

$$JJ_{R1} = \arg \max \{h_j, h_j^H\}$$

ii) diğer satırları ($N_{Rr}-1$) seç:

$$JJ_{R1} = \arg \max \{\alpha_{j,n}\}$$

$$H_{N_r} \in C^{N_r \times N_{Tr}}$$

1)'dekine benzer şekilde seçilen altkümeyi

$$H_{sel} \in C^{N_r \times N_{Tr}}$$

tanımla.

2. Gönderici Anten Seçimi(VAS-PS)

Gönderici anten seçimi gönderici ilinti matrisine bağlıdır. Alıcıda mükemmel kanal ilinti bilgisi bulunduğu ve bir geri besleme hattı ile göndericide de kanal ilinti matrisini bildiği düşünülürse, basitlik açısından gönderici ilinti için anten seçimi algoritması şu şekilde tanımlanır [8]:

Kanal korelasyon enformasyonu (CCI) tabanlı
gönderici anten seçimi:

1) İlk iki sütun indislerini seç ve başlangıç gönderici
ilinti matrisini (R_t) oluştur:

$$JJ_{12} = \arg \min |R_{Tij}|$$

2) Gönderici anten indis kümesi $J=\{J12\}$

3) for $m=3:N_t$

kovaryans vektöre göre antenleri seç:

$$J_m = \arg \max (1 - V_i^H (R_t(m)^{-1} V_i))$$

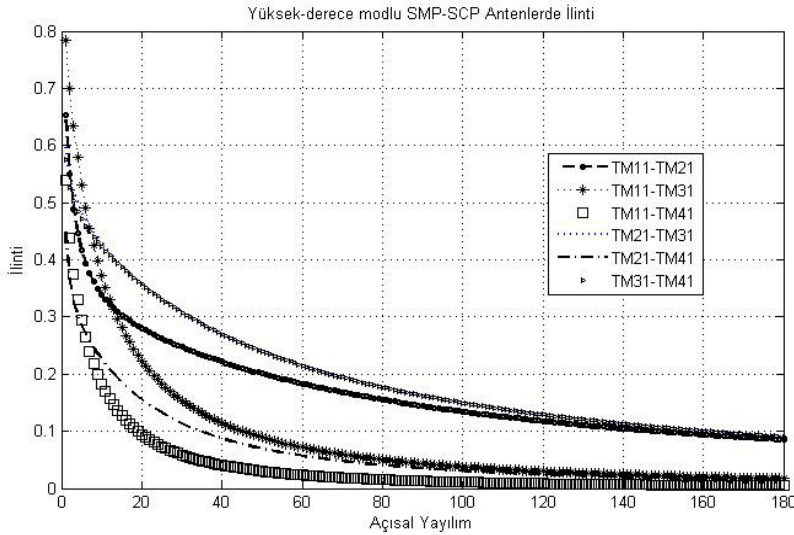
4) Seçili gönderici anten indisleri oluştur, $J=\{J12, \dots, JNt\}$ ve yeni gönderici ilinti matrisini oluştur (R_t).

$$H'_{sel} \in C^{N_R \times N_t}$$

seçilen alt-matrisi bul:

IV. PERFORMANS ANALİZİ

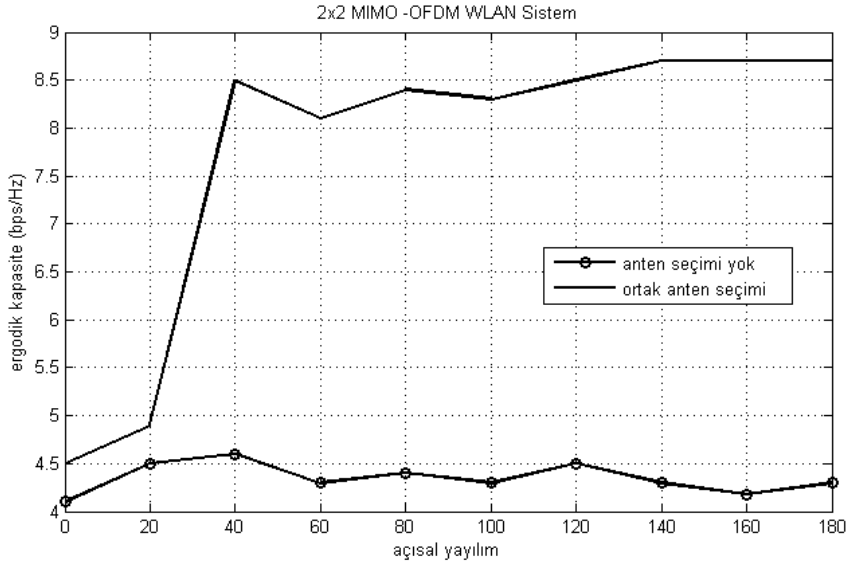
Yüksek-derece modlu SCP antenlere ait açılal yayılıma karşın ilinti grafiği Şekil 2.'deki gösterilmiştir. Anten mod derecesi arttıkça portlar arası ilinti değeri azalmakta dolayısıyla en düşük ilinti değeriine sahip olan TM_{11} - TM_{41} modunda ışıma yapan bindirilmiş anten en iyi performansını sağladığından simülasyonlarda bu yapı kullanılmıştır. Anten dizi uzunluğu $2 \times 2, 4 \times 4$ ve 6×6 MIMO için açılal yayılıma karşın $K=10$ dB Rician K-faktör için 10dB SNR'da TM_{11} - TM_{41} modunda ışıma yapan SMP-SCP-ULA kullanılarak 10000 Monte-Carlo iterasyonu ile elde edilen ergodik kapasite değışimleri sırasıyla Şekil 3, 4 ve 5.'te sunulmuştur. Sistem performansı dizi uzunluğu ile lineer olarak artmakta olup anten seçimi uygulanmayan sonuçlara göre oldukça yüksek performans elde edilmiştir.



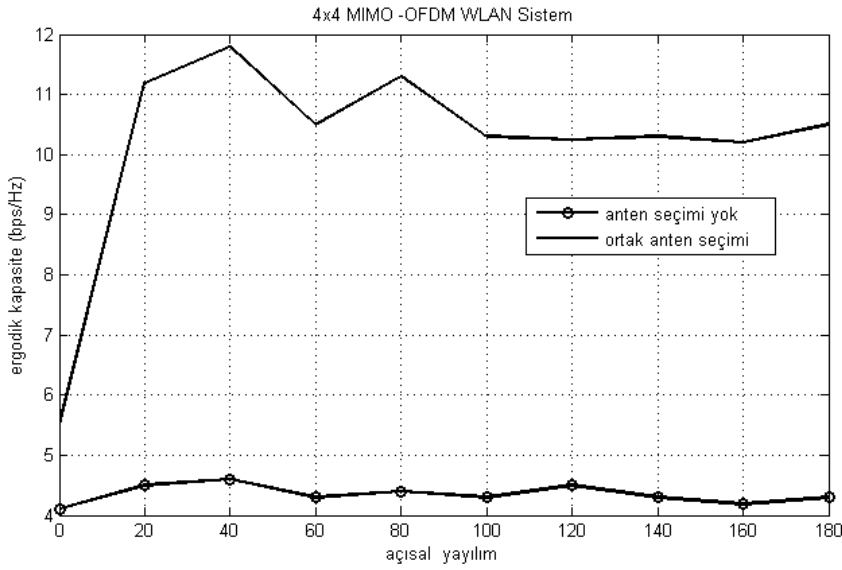
Şekil.2.:Yüksek-derece modlu SCP antenlerde ilinti değışimi

Dizi uzunluğu arttıkça anten seçimi yöntemi hesaplama karmaşıklığının artması ve seçilen alt küme matrisinin boyutunun artması nedeniyle sistem performansındaki artış da bu oranda azalmakta dolayısıyla dizi boyutu arttıkça anten seçimi çok etkin bir çözüm olmamaktadır. Bunun yanısıra, seçilen bir MIMO-OFDM sistemde anten seçimi uygulanması ile anten seçimi yapılmaksızın elde edilen sonuçlara göre aynı sisteme ait sonuçlara bakılarak belirgin bir kapasite artışı elde edildiği görülmektedir. Bu değeri

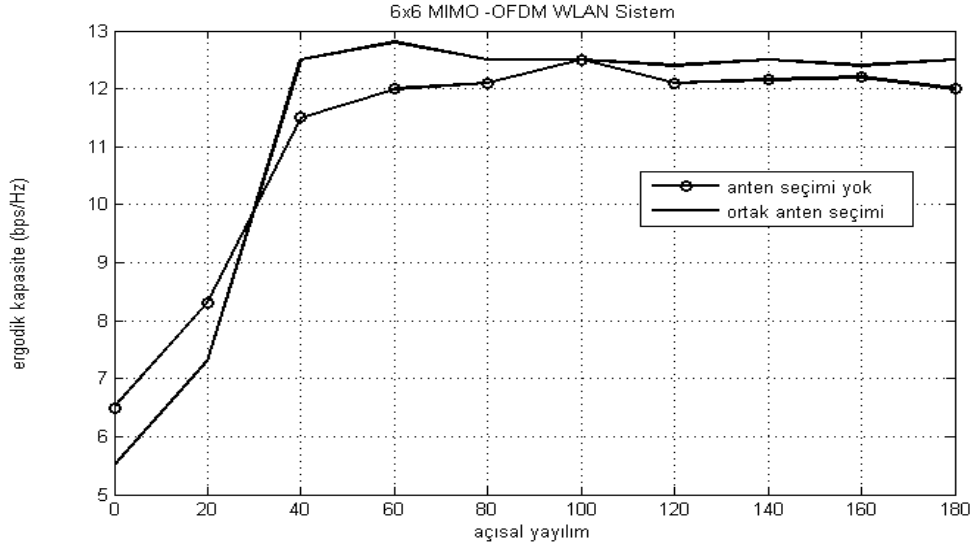
ergodik kapasite cinsinden 2x2 dizi uzunluğunda 600 açısal yayılım için 3,5 bps/Hz olurken 4x4 ve 6x6 MIMO sistemler için sırasıyla 6 bps/Hz ve 1 bps/Hz olarak elde edilmiştir.



Şekil.3:2x2 MIMO-OFDM WLAN için ergodik kapasite



Şekil.4.:4x4 MIMO-OFDM WLAN için ergodik kapasite



Şekil.5.:6x6 MIMO-OFDM WLAN için ergodik kapasite

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada IEEE802.11n MIMO-OFDM WLAN sistemler için ilintili kanallar üzerinden uzaysal-çoğullama ile SMP-SCP-ULA anten dizinleri kullanılarak ortak gönderici/alıcı anten seçimi teknikleri ile sistem performansı incelenmiştir. Ergodik kapasite cinsinden elde edilen sonuçlar anten seçimi yapılmadan bulunan sonuçlar ile karşılaştırmalı olarak sunulmuş anten seçim tekniğinin ergodik kapasite cinsinden sistem performansına katkısı gösterilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Molisch, A. F "MIMO Systems with Antenna Selection – an Overview", Mitsubishi Research Laboratory. , 2003,
- [2] Nabar R. U., Gore, D. A. ve Paulraj, A., 2000, Optimal Selection And Use Of Transmit Antennas In Wireless Systems, International Conference on Telecommunications, Acapulco, Mexico.
- [3] M. Collados and A. Gorokhov, "Implementation aspects of antenna selection for MIMO systems," in Proc. IEEE PIMRC, Beijing, China, Sept. 2004, pp. 1802–1806.
- [4] A. F. Molisch, N. B. Mehta, H. Zhang, P. Almers, and J. Zhang, "Implementation aspects of antenna selection for MIMO systems," in Proc. 1st International Conference on Communications and Networking in China, Beijing, China, Oct. 2006, pp. 1–7.
- [5] H. Shi, M. Katayama, T. Yamazato, H. Okada, and A. Ogawa, "An adaptive antenna selection scheme for transmit diversity in OFDM systems," in Proc. IEEE Vehicular Technology Conference, Atlantic City, NJ, Oct. 2001, vol. 4, pp. 2168–2172.
- [6] Gore, D., Paulraj, A., 2001, Space-Time Block Coding With Optimal Antenna Selection, IEEE Communications Letters, 2441- 2444.
- [7] G. S. Sanayei, A. Nosratinia, "Antenna selection in MIMO systems", IEEE Communications Magazine, vol. 42, Issue 10, Oct. 2004 pp. 68 – 73.
- [8] M. Gharavi-Alkhansari, A.B. Gershman, "Fast antenna subset selection in MIMO systems", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 52, Issue2, Feb. 2004 pp. 339 -347.
- [9] Ying Rao Wei and M.Z. Wang, "Capacity-based Efficient Joint Transmit and Receive Antenna Selection Schemes in MIMO Systems", [Information and Communication Technologies, 2006. ICTTA '06. 2nd](#), pp. 2125 – 2129.
- [10] Yi Liu, YangyangZhang, Chunlin Ji, Walsim Q.Malik, D.J.Edwards, "Joint Antenna Selection for MIMO-OFDM Systems over Spatially Correlated Channels". 2008 IET Seminar on [Wideband and Ultrawideband Systems and Technologies: Evaluating current Research and Development](#), pp1 – 5,2008

