

ÇOKLU ANTENLİ EV BAZ İSTASYONLARININ İÇ MEKAN KAPASİTE BAŞARIMI

CAPACITY PERFORMANCES OF HOME BASE STATIONS WITH MULTIPLE ANTENNAS IN INDOOR ENVIRONMENT

Esra Aycan, Berna Özbek

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
esraaycan,bernaozbek@iyte.edu.tr

ÖZETÇE

Bu bildiri, ev baz istasyonları için iç mekan kanal modelleri incelenmiş ve bu modellere göre kapasite analizleri yapılmıştır. İç mekan kanal modellerini kapasite değerlerini kullanarak analiz etmek amacıyla, ışın izleme model tabanlı Wireless Insite programıyla elde edilen sonuçlar, i.i.d model ile standart IEEE802.11n kanal modeliyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar hem tek girdili tek çıktılı (SISO), hem de çok girdili çok çıktılı (MIMO) sistemler için de uygulanmıştır.

ABSTRACT

In this paper, indoor channel models for femtocells are examined and capacity performances are obtained. In order to evaluate the indoor channel models, the performance results are obtained employing the ray tracing based Wireless Insite model, the well known i.i.d model and the IEEE802.11n model. All the comparisons are shown for the single input single output (SISO) and the multiple input multiple output (MIMO) systems.¹

1. GİRİŞ

Her geçen gün artan kullanıcı sayısı ile birlikte daha yüksek hızlarda iletişim ihtiyacı ve daha kaliteli servis beklentileri hızla artmaktadır. Ev baz istasyonları, yeni çözümler arasında bulunan ve yakın bir zamanda kullanılması planlanan cihazlardır. Femtocell olarak da bilinen bu küçük cihazların, çok düşük güç seviyelerinde çalışması, iç mekanlarda kapsama alanını artırması ve kablosuz ağlarda maliyeti düşürmesi üzerine çalışılmalar sürmektedir. Femtocell'lerin daha hızlı ve yüksek kapasitede servis sağlanabilmesi için MIMO sistemler ile birlikte kullanılması hedeflenmektedir. Kablosuz kanal kapasitesinin doğru olarak tahmin edilmesi için MIMO kanallarının, gerçekçi kanal modelleri kullanılarak modellenmesi gerekir. Alıcı ve verici anten sayıları ile aralarındaki uzaklık ve kablosuz kanallarda saçıcıların sayısı ve uzamsal dağılımı kanal kapasitesini etkileyen faktörler arasındadır. Biz bu makalede iç mekanlarda, ev baz istasyonlarının kapasite analizlerini elde etmek için kablosuz kanal modelleri alıcı ve verici de farklı anten sayıları için inceledik.

¹The work is supported by the Celtic HOMESNET Project.

2. İÇ MEKAN KANAL ÖZELLİKLERİ VE MODELLERİ

Kablosuz kanallar dış ortam ya da iç ortam olarak modellenebilirler. Dış ortam için tasarlanan bir model tamamıyla iç ortama uygun olmayabilir. Son yıllarda, özellikle iç ortam uygulamalarının etkin bir şekilde hayatımıza girmesi ile iç mekanlar için özellikle ölçümlere dayanan bir çok model ortaya çıkarılmıştır.

İç mekanlardaki kablosuz ağlarda, linklerin iki ucu da klasik olarak statiktir ve kullanıcı, kapsama alanındaki hemen her yerde konumlanabilmesine rağmen, genellikle bir çoğu erişim noktalarının direkt iletim hattı olmayan (NLOS) kısımlarında olabilir. Bu tür senaryolar genellikle alıcı ve vericinin sabit olduğu varsayılmasına rağmen, göçebeli taşınabilir olarak adlandırılabilir. (Buradaki taşınabilir ifadesi, alıcı ve verici arasında iletim ortamının hareketli olabileceğini açıklar.) Sonuç olarak, yayının göçebeli iç mekanlarda kanaldan sağlandığı durumlar, genel hareketli kanal yayınlarından farklıdır. Hareketli kanallar, iyi bilinen Rayleigh dağılımlı ve özellikle de NLOS senaryolardır. Rayleigh dağılımının yanı sıra, kapalı mekanlarda, Rician sönümlemeli dağılım da K-faktörlü kanal özelliği de kullanılabilir. Daha da ötesi, yol kayıpları, ortamdaki yoğun engellerden dolayı serbest uzay kaybından farklı olarak hesaplanır. Zayıflatma faktörü dış mekanlara göre, iç mekanlarda daha büyüktür.

İç mekan sinyal yayını, bina konfigürasyonuna ve malzeme özelliklerine çok bağlıdır. Alınan sinyal, nesnelere (duvarlar, diğer cisimler v.b.) kırılan, saçılan, yansıyan bütün çoklu yol bileşenlerinin toplamıdır. İç mekanlarda, iletişim dış ortamlara göre daha kısa mesafelerde yapılacağı için daha fazla saçılmadan kaynaklı çoklu yollardan gelen gecikmeli sinyal sayısı artacaktır. Bundan dolayı, iç mekanlar dış mekanlara göre daha karmaşıktır ve modellenmesi daha zordur. Anten yükseklikleri, ortamdaki cisimler ve malzemeleri de sinyal yayını etkileyen önemli etmenlerdendir. Dış mekanlardan farklı olarak, iç mekanlarda kullanıcıların hareketliliği söz konusu olmadığı için Doppler etkisi hiç görülmez ya da yürüme hızında olacak şekilde çok az görülür.

İç mekan kanal modelleri, analitik modeller ve fiziksel modeller olarak iki şekilde sınıflandırılabilir. Fiziksel kanal modelleri, çevrenin elektromanyetik dalga yayını temel alan mo-

dellere. Dalgaların kompleks genlikleri, gelme açıları, çoklu yollardan kaynaklanan gecikme gibi parametrelerini modeller. Analitik modeller ise sinyal yayılım ve korelasyon tabanlı modeller olarak ikiye ayrılır ve daha çok korelasyon tabanlı modeller iç mekan kanal modellemelerinde tercih edilir [1]. Aşağıda, kablosuz haberleşmede kullanılan, fiziksel modellerden ışın izleme ile analitik modellerden i.i.d modelleri incelenmiştir. Daha sonra bu modellerin sonuçları standart iç mekan kanal modeli olan IEEE812.11n ile karşılaştırılmıştır.

2.1. I.I.D. Model

Birçok dar bantlı analitik modeller, MIMO kanal katsayılarının çok çeşitli kompleks Gauss dağılımlı [2] olduğu modellere dayanır. Örnek olarak Rayleigh ya da Ricean modeller gösterilebilir. i.i.d model en basit analitik model olarak gösterilebilir. Bu modelde de, MIMO kanal matrisinin elemanları arasında, $R_H = \rho^2 I$, korelasyon yoktur (yani elemanlar istatistiksel olarak bağımsızdır). Fiziksel olarak, bu yapı uzaysal beyaz MIMO kanal olarak gösterilir. Bu da ancak saçılmaların çok olduğu ortamların, çoklu yolların her yönde bağımsız ve düzgün dağılımlı olmasını gerektirir. i.i.d. modellerde kanal güç ve faz parametresi göz önünde bulundurulur ve MIMO sistemlerin bilgi teorisi gibi teorik modellemelerde kullanılır.

2.2. Işın İzleme Modeli

Tipik bir kapalı alanda, sabit bir kaynaktan iletilen radyo sinyalleri, ortamda çok fazla nesneyle karşılaşır ve sonuç olarak dağılıma, yansıma ve kırılma gibi olaylardan dolayı iletilen sinyalin birden fazla kopyası oluşur. İletilen sinyalin oluşan kopyalarına, çoklu yol sinyal bileşenleri denir ve güçte azalma, zamanda gecikme ve fazda kaymalar meydana gelebilir. İletilen sinyalin kendisi ve çoklu yolların alıcıda toplanır. Işın izleme, bilinen yer ve yalıtıklılık özellikleriyle birlikte yansıma sayısı sonlu olarak alınır. Bu çoklu yol yayılımı, uygun sınır koşulları kullanılarak, Maxwell denklemleriyle çözülebilir. Ancak, bu çözümün hesaplama karmaşıklığından dolayı bu yöntem pek de tercih edilen bir yöntem değildir. Ray tracing teknikleri, geometrik optik kurallarını uygulayarak, dalga yüzlerini elektromanyetik dalga yayılımına benzetir. Böylece, dalga yüzündeki yansıma, kırılma ve saçılma etkileri için Maxwell'in karmaşık dalga denklemleri yerine daha uygun yapıdaki basit geometrik denklemler kullanılarak benzetimler sağlanabilir. En genel ray tracing modeli, bütün azaltılmış, kırılmış ve saçılmış çoklu yol bileşenlerini içerir. Bu genel model, alıcı ve verici etrafındaki eşyaların ve nesnelerin bütün dielektrik ve geometrik özelliklerini kullanır. Ray-tracing algoritmalarıyla birlikte, alıcı ve vericilerin başlangıçtaki pozisyonları belirlenir ve bütün olası yollar geometrik düzenlemeler ve geometrik optik kurallarına göre çıkartılır. Genellikle, ardışıl yansıma ve kırılmaların maksimum sayısı tanımlanır. Bu geometrik ışın izleme kısmı, ışın izleme yönteminin en kritik ve zaman alıcı işlemidir. Sonuç olarak alıcı tarafında (Rx) elde edilen alan vektörü bütün ışınların oluşturduğu vektörlerden meydana gelmektedir:

$$E^{Rx} = \sum_{i=0}^{N_r} E_i^{Rx} \quad (1)$$

ile

$$E_i^{Rx} = \Gamma_i B_i E_i^{Tx} \quad (2)$$

Burada $B_i = A_{i,N_i}, A_{i,N_i-1}, A_{i,1}$, her i . yol için olan diverjans faktörüdür. $A_{i,j}$ ise alıcı, j . ortogonal komponente ayrılan matrisin rankıdır. $N_i \leq N_{max}$ ise sinyallerin i . yol sayısıdır. E_i^{Tx} ise verici, Tx , tarafından 1 metre uzaklıktaki referans noktasından i . ışına doğru olan elektrik alanıdır. Hesaplama yoğunluklu olmalarına rağmen, alan geometrileri bilindiği takdirde bu modelle, istatistiksel modellerden daha kesin sonuçlar elde edilir [3][4]. Işın izleme tabanlı bilgisayar programları, örneğin Lucent'in Wireless Systems Engineering Software (WISE), Wireless Insite gibi, hem iç hem de dış ortamlar da sistemin planlamasında oldukça yaygın bir şekilde kullanılırlar.

2.3. IEEE 802.11n Standart Modeli

IEEE 802.11'nin TGn kanal modeli, 2GHz ve 5GHz bantlarında iç mekanlar için geliştirilmiştir ve daha çok MIMO WLANlar odaklı bir modeldir. Bu iki frekans bantlarından elde edilen ölçüm sonuçları, iç mekanlarda kablosuz kanal modeli oluşturabilmek için birleştirilmiştir. (Aslında, sadece yol kayıp modeli frekans bandına bağlıdır.) Küçük ve büyük ofisler, evler ve açık alanlar ve her iki çeşit yol ortamı, LOS ve NLOS, için düşünülmüştür. TGn kanal modeli, altı tane (A'dan F'ye kadar) ortam senaryolarında denenmiştir. Bu her altı ortam için, TGn modeli ilgili parametre kümelerini dikkate alır [5]. Her bir küme için çoklu yol modeli 18 adete varan gecikme dallarından (10 ns aralıklı) oluşur ve her bir dal için bir DoA'ya ve bir Laplace özellikli, açılma dağılımı (AS) %20'den %40'ye kadar değişen güç ufuk açısı spektrumuna atanır (DoD için de aynı geçerlidir). Kümelerin sayıları 2'den 6'ya kadar ve toplam RMS gecikme dağılımları 0 ve 150ns'e kadar değişir. Herhangi bir zaman örneği için her bir MIMO kanal dalları, Rayleigh sönmülemeli olarak modellenir ve Kronocker model seçilir. Alıcı ve verici ilinti matrisleri, güç ufuk açısı spektrumuyla ve dizi geometrisiyle belirlenir. Dizi geometrisi kullanıcı tarafından belirlenir. Bu model (Tablo 1'deki gibi) için gölgeleme etkisinin varyansı

Tablo 1: IEEE802.11n kanal modeli B: Tipik yaşam alanı

Yol	Ortalama Güç	Gecikme (ns)
1	0	0
2	-5.4287	10
3	-2.5162	20
4	-5.8905	30
5	-9.1603	40
6	-12.5105	50
7	-15.6126	60
8	-18.7147	70
9	-21.8168	80

5dB ve yol kaybı için kullanılan parametre $d_{BPM} = 10$ olarak verilmiştir. Yol kaybı IEEE802.11n modeli için aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$L_p = 20 \log_{10}(4\pi f_c / 3e8) + 20 \log_{10}(d_{BPM}) + (35 \log_{10}(d/d_{BPM})) \quad (3)$$

3. KANAL KAPASİTE BAŞARIMI

Bu bölümde Wireless Insite programını kullanarak çeşitli senaryolar için kapasite performanslarını elde edildi. Bu programla, çeşitli senaryolar için 'saha özellikli' kanalların tepkisi istatistiksel olarak tahmin edilmiş, gerçek ölçüm değerlerine benzediği ise Matlab programında veriler işlenerek gözlemlenmiştir.

Dar-bantlı çoklu antenli kanallar için kapasite hesaplamaları, aşağıdaki formül kullanılarak yapılır:

$$C(\text{SNR}, \mathbf{H}) = \log_2 \det(\mathbf{I}_{N_r} + \frac{\text{SNR}}{N_t} \mathbf{H}\mathbf{H}^H) \text{ bps/Hz} \quad (4)$$

burada SNR ortalama sinyal-gürültü-oranı (SNR) ve \mathbf{H} ise $N_t \times N_r$ boyutunda kanal matrisidir.

Burada hesaplanan kapasite, ani kanal kapasitesidir ve her bir rastgele kanal için kanalın sadece vericide bulunduğu durumda hesaplanır.

3.1. Sistem Parametreleri

Performans sonuçları elde edilirken seçilen sistem parametreleri Tablo 2'de özetlenmiştir:

Tablo 2: Sistem parametreleri

Parametre	Değer
Verici Gücü	10dBm ve 30dBm
Bant genişliği	5MHz
Taşıyıcı Frekansı	2.1GHz
Gürültü Gücü	-174dBm/Hz
Kullanıcı yerleşimi,(NLOS)	1 – 30m , rastgele
Anten sayıları (Verici,Alıcı)	(1, 1), (2, 2), (4, 4)
Antenler arası uzaklık- verici	4λ
Antenler arası uzaklık-alıcılar	0.5λ
Anten	Omnidirectional

i.i.d model için dar bantlı varsayımı yapılarak MIMO kapasite performansları elde edilmiştir. Bu sonuçlar teorik olarak kanal kapasite performansını analiz etmek için kullanılabilir.

Ev baz istasyonlarının iç mekanlarda kapasite analizleri Wireless Insite programı kullanılarak elde edilen kanal değerleri ile i.i.d ve IEEE802.11n standart modelleri kullanılarak için sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

3.2. Senaryolar ve Performans Sonuçları

Aşağıda Wireless Insite'ta kullanılan iç mekan ortamları gösterilmiştir. Gerçek iç mekanları gerçekleştirebilmek için Wireless Insite programında hazırlanan 1 verici 32 alıcılı bir ortam hazırlanmıştır. SISO ve MIMO senaryoları için alıcılar ve vericiler aynı yerlerde kullanılmıştır. Sinyal yayılım yollarıyla birlikte MIMO için kullanılan senaryo, Şekil 1'de gösterilmiştir.

Wireless Insite programından elde edilen sonuçlar Tablo 3'te gösterilmiştir. Burada, örnek olması açısından, SISO senaryosundaki 1. kullanıcının değerleri gösterilmiştir. Verici sinyali, saçılmalar sonucu 10 farklı yolla alıcı tarafına ulaşmıştır. Her yoldaki sinyalin faz, zaman ve güç bilgisi verilmiştir. Bu şekilde bütün alıcılar için veriler elde edilmiştir.

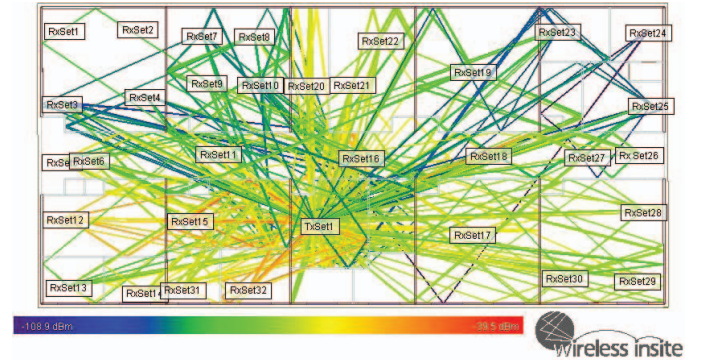
Tablo 3: SISO için Wireless INSITE Programı Örnek Çıktısı

Yol Numarası	Faz(Deg.)	Zaman(s)	Güç(dBm)
1	-101.522	0.110877e-06	-67.604
2	-139.206	0.120671e-06	-72.296
3	78.696	0.110876e-06	-74.187
4	163.598	0.111678e-06	-74.821
5	-141.650	0.787919e-07	-75.259
6	106.747	0.101962e-06	-79.725
7	28.445	0.791910e-07	-80.434
8	-16.152	0.111676e-06	-81.422
9	13.143	0.120683e-06	-82.145
10	-126.398	0.799155e-07	-87.527

Elde edilen sonuçlar kullanılarak kanal tepkisi, her bir verici-alıcı anten seti için bütün çoklu yollardan gelen sinyallerin toplamı olarak ve dar bantlı varsayımla modellenilebilir. Tahmin edilen kanal tepkisi aşağıdaki gibidir [6]:

$$g_{ij}(t) = \sum_{k=1}^M \sqrt{P_k} e^{j\theta_k} \delta_k(t - \tau_k) \quad (5)$$

Buradaki P_k , θ_k , and τ_k , sırasıyla, k. yoldaki alıcının gücü, faz açısını ve zamanda gecikmesini gösterir. Bu veriler Wireless Insite programından elde edilir. M, toplam yol sayısı ve δ_k , delta tepki fonksiyonudur.

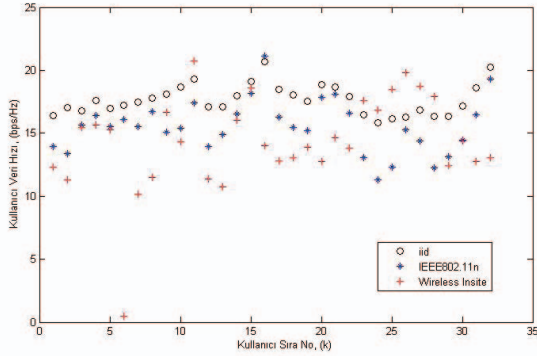


Şekil 1: MIMO için senaryo.

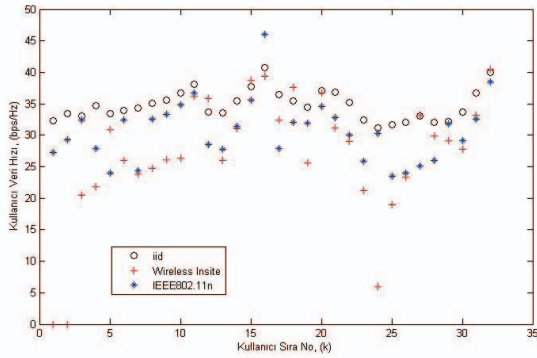
Şekil 2, 3, 4 ve 5'te hem i.i.d hem IEEE802.11n hem de Wireless Insite senaryo sonuçlarında elde edilen kapasiteler karşılaştırılmıştır. Her bir kullanıcı için hesaplanan kapasiteler grafiklerden görülebilmektedir.

Elde edilen grafiklerde de görüldüğü gibi MIMO sistemlerin değerleri SISO sistemdekilere göre verici gücü ile doğru orantılı olarak daha hızlı ve yüksek kapasite değerlerindedir. Ayrıca MIMO sistemlerde anten sayısı da kapasite değerlerinde oldukça etkilidir. Örneğin 2×2 MIMO sistemde 30dBm'deki değerler, vericinin gücü 10dBm olmasına rağmen 4×4 MIMO sistemdekilere göre düşük kalmıştır.

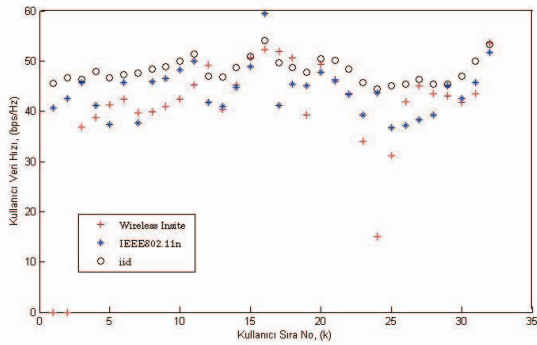
Sonuçlarda en yüksek kapasite, i.i.d. modelde gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra analitik kanal modellerinde yani saçıl-



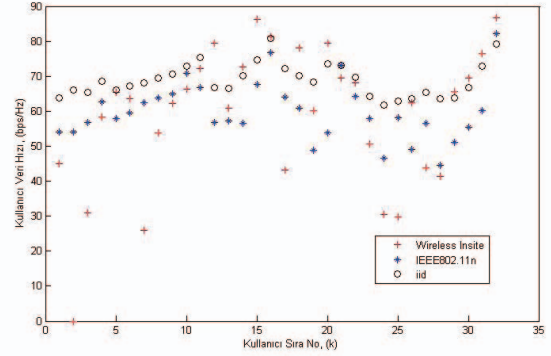
Şekil 2: SISO 10dBm için sonuçlar.



Şekil 3: 2 x 2 MIMO 10dBm için sonuçlar.



Şekil 4: 2 x 2 MIMO 30dBm için sonuçlar.



Şekil 5: 4 x 4 MIMO 10dBm için sonuçlar.

maların çok olduğu iç mekan ortamlarında, parametrelerin kullanımı modelin gerçekçiliğini artırır. Bu nedenle, herhangi bir kanal parametresine bağlı olmayan i.i.d modeli iç mekanlarda ideal kapasite değerlerini gösterir. İç mekanlar için kullanılan IEEE802.11n standart kanal modeliyle Wireless Insite'tan elde edilen sonuçlar birbirleriyle daha yakındır.

4. SONUÇLAR

Bu bildiriye, hem SISO hem de MIMO kanalları için farklı iç mekan kanal modelleri incelenip uygulanmıştır. Wireless Insite programı kullanılarak elde edilen kanal kapasite sonuç verileri, i.i.d ve standart IEEE802.11n kanal modelleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar hem SISO hem de MIMO sistemler için de gerçekleştirilmiştir.

5. KAYNAKÇA

- [1] H. Ozcelik, "Indoor MIMO channel models", Ph.D. dissertation, Institut für Nachrichtentechnik und Hochfrequenztechnik, Vienna University of Technology, 2005.
- [2] J. Wallace and M. Jensen, "Modeling the Indoor MIMO Wireless Channel", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 50, no. 5, p 591599, 2002.
- [3] M. Hassan-Ali and K. Pahlavan, "A new statistical model for sitespecific indoor radio propagation prediction based on geometric optics and geometric probability", IEEE Trans. Wireless Commun., Vol.1, p 112-124, 2002.
- [4] G. German, Q. Spencer, L. Swindlehurst, and R. Valenzuela, "Wireless indoor channel modeling: statistical agreement of ray tracing simulations and channel sounding measurements," IEEE Trans. Speech and Audio Proc., pp. 2501-2504, 2001.
- [5] J. Medbo and J.-E. Berg, "Measured radio wave propagation characteristics at 5 GHz for typical HIPERLAN/2 scenarios", Tech. Rep. 3ERI074a, ETSI, France, 1998.
- [6] C.-N. Chuah, G. Foschini, R. Valenzuela, D. Chizhik, J. Ling, and J. Kahn, "Capacity growth of multi-element arrays in indoor and outdoor wireless channels," IEEE WCNC, vol.3, p 23, 2000.