

MIMO-OFDM SİSTEMLERİNDE EĞİTİM SEMBOLLERİ KULLANARAK KANAL KESTİRİMİ

M. Nuri SEYMAN¹

Necmi TAŞPINAR²

¹ Elektronik Haberleşme Bölümü Kırıkkale Meslek Yüksekokulu
Kırıkkale Üniversitesi, 71450, Kırıkkale

² Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi
Erciyes Üniversitesi, 38039, Kayseri

¹e-posta: mnseyman@kku.edu.tr

²e-posta: taspinar@erciyes.edu.tr

Anahtar sözcükler: MIMO-OFDM, kanal durum bilgisi.

ÖZET

Çok girişli-çok çıkışlı dikgen frekans bölmeli çoğullama (MIMO-OFDM) sistemleri kullanılarak kablosuz ortamlarda yüksek hızlarda veri iletişimi mümkün olmaktadır. Ancak iletilen verilerin bozulmadan alınabilmesi, alıcı tarafta kanal durum bilgisinin doğru bir şekilde kestirimine bağlıdır. Bu çalışmada MIMO-OFDM sistemlerinde eğitim sembolleri kullanılarak yapılan kanal kestirim işleminin performansı kablosuz ağların bir türü olan HİPERLAN/2 parametreleri kullanılarak bilgisayar benzetimi ile incelenmiştir.

1. GİRİŞ

Multimedya uygulamalarının artmasıyla beraber gerek ses ve görüntü transferleri gerekse internet iletişiminin hızlı bir şekilde yapılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla haberleşme sistemlerinde mevcut band genişliğini en verimli şekilde kullanabilen ve aynı zamanda yüksek hızlarda veri transferine olanak sağlayan çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bu tekniklerden biri olan OFDM, yüksek veri hızlı seri veri akışını paralel olarak düşük hızlı alt taşıyıcılara bölerek bu alt taşıyıcıların iletilmesini sağlayan çoğullama ve modülasyon türüdür [1]. Yüksek hızlarda veri transferine olanak sağlaması nedeniyle çok taşıyıcı bir modülasyon türü olan dikgen frekans bölmeli çoğullamaya (OFDM) ilgi her geçen gün daha da artmaktadır. Bu sebeple sayısal ses yayıncılığı (DAP), sayısal-karasal video yayıncılığı (DVB-T), sayısal kullanıcı hatları (DSL) ve kablosuz bölgesel ağlar (WLAN) gibi çeşitli uygulamalar için standardize edilmiştir [2].

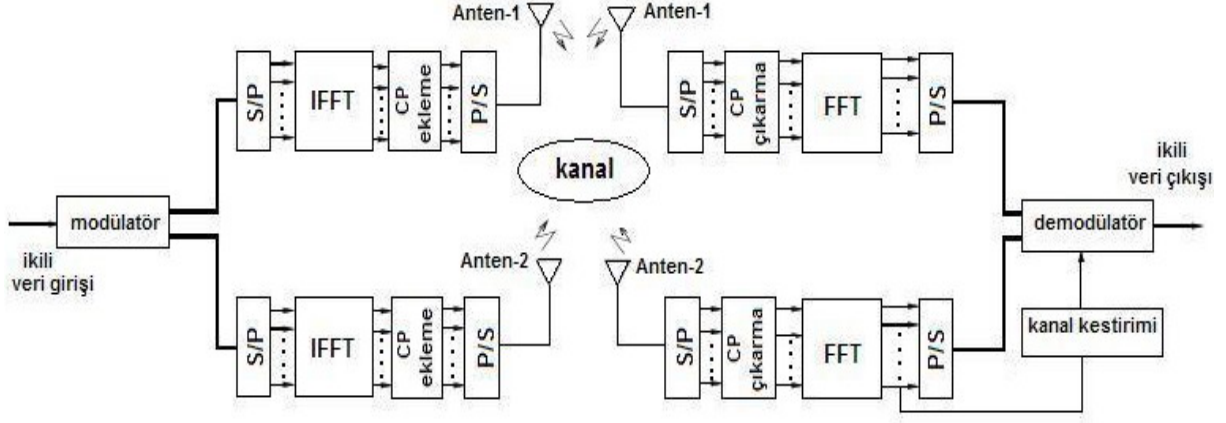
Kablosuz haberleşme sistemlerinde sönümleme etkilerine karşı koyma yöntemlerinden biri çok antenli, bir başka deyişle çok girişli çok çıkışlı (multi input multi output, MIMO) sistemler kullanmaktır. Bu yöntem anten çeşitlemesi olarak bilinir [3]. MIMO

sistemler tek girişli ve tek çıkışlı (SISO) sistemlere göre sönümlemeye karşı daha fazla dayanıklı olmalarından dolayı son yıllarda yüksek hızlarda veri iletimine izin veren OFDM sistemlerinde kullanılmaktadır. Bu sayede bir MIMO OFDM sisteminde sönümlemenin meydana getirebileceği veri kayıpları en aza indirilmekte ve bu sayede daha az kayıplı ve kazancı yüksek veri iletimleri gerçekleştirilmektedir [4]. Ancak sönümlemeli etkiye sahip kablosuz iletişim kanalının etkilerini yok etmek için kullanılan MIMO OFDM sistemlerinde alıcı sinyalinin yeniden elde edebilmek için kanalların durum bilgilerine (CSI) ihtiyaç duyulmaktadır. Eğer alıcı tarafta kanal durum bilgisi tam olarak kestirilemezse gönderilen verilerin doğru bir biçimde alınması mümkün olmayacaktır [6-12]. CSI'yi tespit etmek için yapısı ve pozisyonu bilinen eğitim sembolleri kullanılır. Bu eğitim sembolleri kullanılarak en küçük kareler (LS) algoritması ile CSI elde edilir [5-7].

Bu çalışmanın ikinci bölümünde çok girişli çok çıkışlı dikgen frekans bölmeli çoğullama tekniği (MIMO-OFDM); üçüncü bölümde eğitim sembolleri kullanılarak elde edilen kanal kestirimcisi anlatılacaktır. Dördüncü bölümde ise 2 verici 2 alıcı anten yapısına sahip HİPERLAN/2 parametreleri kullanılarak bilgisayar yardımıyla kestirimci performansı incelenecektir. Beşinci bölümde elde edilen sonuçlar verilecektir.

2. MIMO-OFDM SİSTEMİ

Çok taşıyıcılı ya da ayırık çok tonlu modülasyon olarak da adlandırılan OFDM bir kullanıcıdan başka bir kullanıcıya bilgi iletmek için çok sayıda alt taşıyıcıdan yararlanır. OFDM tabanlı bir sistem yüksek hızlı seri bilgiyi çok sayıda daha az hızlı alt işaretlere böler; öyle ki sistem bilgiyi paralel olarak farklı frekanslarda eşzamanlı olarak iletir.



Şekil-1. MIMO-OFDM Blok Diagramı

OFDM’de alt kanalların birbirine örtüşme meydana getirmesine rağmen taşıyıcıların birbirine dikgen olması sayesinde herhangi bir girişim meydana gelmeyecektir. Bir MIMO-OFDM sisteminde gelen ikili veriler, modülasyon işleminden alıcı ve verici anten sayısına bağlı olarak ayrılmaktadır. Her bir antene bağlı yapıda tek girişli tek çıkışlı (SISO) OFDM yapısı yer almaktadır. Her bir koldaki seri veri akışı IFFT’si alınabilmesi için seri-paralel dönüştürücüden geçer. OFDM sisteminde dikgenliği sağlayan ters hızlı Fourier dönüşümü (IFFT) işlemi (N veri sembollerinin blokları üzerinde) vericide gerçekleştirilmekte ve bunu IFFT bloğunun paralelden seriye dönüştürülmüş çıkışının ilk L örneğinin kopyasını içeren L uzunluklu çevrimsel öntakı ekleme (CP:cyclic Prefix) işlemi izlemektedir. q . alıcı antende r .verici antenden gönderilen sembolere ait çevrimsel öntakı (CP) kaldırılır ve FFT’si alındıktan sonra işaret aşağıdaki hale gelir [7]:

$$Y_q[n] = \sum_{p=0}^{N_T-1} H_{r,q}[n] X_{p,r,p}[n] + G_q[n] \quad (1)$$

Bu ifade; $H_{r,q}[n]$ r .verici ile q . alıcı anten arasındaki kanal dürtü cevabı, $X_{r,q}[n]$ iletilen sembol ve $G_q[n]$ gürültüdür.

3. EĞİTİM SEMBOLLERİ İLE KANAL KESTİRİM İŞLEMİ

Alınan verilerin doğru olarak tespit edilmesi $H_{r,q}(n)$ kanal dürtü cevabının tespitine bağlıdır. Eğitim verileri kullanılarak LS algoritması yardımıyla dürtü cevabı tespit edilir. (1) denklemindeki $X_{r,q}[n]$ iletilen semboller $S^r(n)$ verisi ile $B^r(n)$ eğitim verisinden oluşur [6].

$$X^r(n) = S^r(n) + B^r(n) \quad (2)$$

Bu durumda (1) eşitliğini aşağıdaki gibi yazabiliriz:

$$Y^q(n) = \sum_{r=1}^{N_T} \text{diag}\{X^r(n)\} F h^{q,r} + G^q(n) \quad (3)$$

$$= \sum_{r=1}^{N_T} (\text{diag}\{S^r(n)\} + \text{diag}\{B^r(n)\}) F h^{q,r} + G^q(n) \quad (4)$$

Bu ifadede F , $N \times N$ lik birim FFT matrisi olmak üzere

$$F = \begin{bmatrix} F_{0,0} & F_{0,1} & \dots & F_{0,N-1} \\ F_{1,0} & F_{1,1} & \dots & F_{1,N-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ F_{N-1,0} & F_{N-1,1} & \dots & F_{N-1,N-1} \end{bmatrix} \quad (5)$$

şeklinde. Bu durumda kanal dürtü cevabı aşağıdaki gibi olacaktır [6]:

$$H_{p,q}[n] = h^{q,r} F \quad (6)$$

(4) eşitliğini düzenlersek

$$Y^q(n) = \sum_{r=1}^{N_T} S_{diag}^r(n) F h^{q,r} + \sum_{r=1}^{N_T} B_{diag}^r(n) F h^{q,r} + G^q(n) \quad (7)$$

olur. (7) ifadesini matris formunda ifade edersek

$$Y^q = D h^q + M h^q + G^q \quad (8)$$

elde edilir. Bu ifade;

$$Y^q = [Y^{q^T}(0), \dots, Y^{q^T}(n-1)]^T \quad (9)$$

$$D = \begin{bmatrix} S_{diag}^1(0)F & \dots & S_{diag}^{N_t}(0)F \\ \dots & \dots & \dots \\ S_{diag}^1(n-1)F & \dots & S_{diag}^{N_t}(n-1)F \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$M = \begin{bmatrix} B_{diag}^1(0)F & \dots & B_{diag}^{N_t}(0)F \\ \dots & \dots & \dots \\ B_{diag}^1(n-1)F & \dots & B_{diag}^{N_t}(n-1)F \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$h^q = [h^{q,1^T}, \dots, h^{q,N_t^T}]^T \quad (12)$$

dir. Daha sonra LS algoritması ile kanal dürtü cevabı aşağıdaki gibi kestirilir [6].

$$h^q = (M^H M)^{-1} M^H Y^q \quad (13)$$

Bu ifadede M^H , M 'nin hermitian matrisidir.

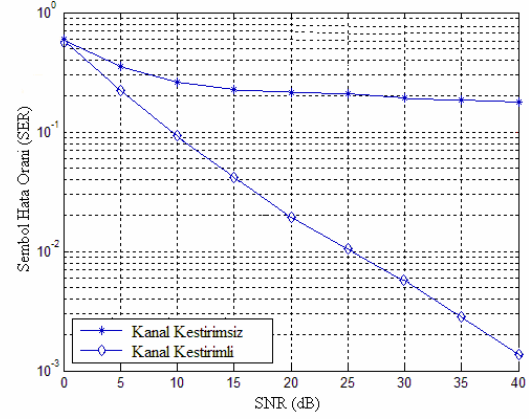
4. BENZETİM SONUÇLARI

Eğitim sembolleri kullanan kanal kestiricisinin performansını göstermek için yapılan bilgisayar benzetimlerinde 2 verici 2 alıcı yapısına sahip kablosuz ağların bir türü olan HİPERLAN/2 parametreleri kullanılmıştır ve bu parametreler aşağıda verilmiştir:

- Taşıyıcı frekansı: $f_c = 5$ Ghz
- Örnekleme frekansı: $f_s = 20$ MHz
- FFF boyutu: 64
- OFDM sembol süresi : $3.2 \mu s$
- Koruma arası süresi: $0.5 \mu s$
- Modülasyon tipi: QASK
- Kanal tipi: Çok yollu sönümlmeli kanal ($0 ns$, $50 ns$, $100 ns$, $150 ns$, $200 ns$, $250 ns$, $300 ns$, $350 ns$, $400 ns$)

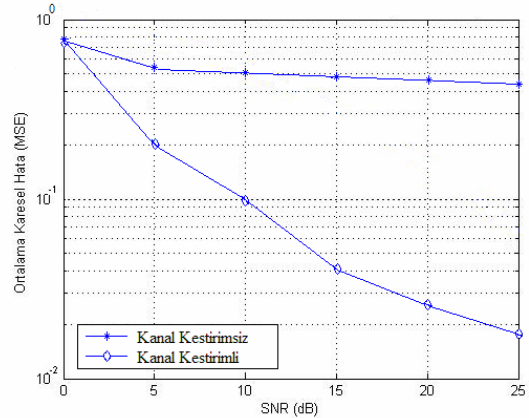
Bilgisayar benzetimi ile çoklu yol sönümlmeli (multipath-fading) kanalda iletim durumunda iki verici iki alıcı anteninden oluşan MIMO-OFDM yapısı kullanılarak alıcı tarafta kanal kestirimi yapıldıktan sonra ve kanal kestirimi yapılmaksızın elde edilen sonuçlarla ilgili olarak, farklı SNR değerlerinde bit hata olasılığı (BER) değişimi ve farklı SNR değerlerinde ortalama karesel hata (MSE) değişimi grafikleri elde edilmiştir. Modülasyon türü olarak QASK seçilmiştir.

Şekil 2'de, kanal kestirimi yapıldığı ve kanal kestirimi yapılmadığı durumlardaki farklı SNR değerlerinde sembol hata oranının değişimi görülmektedir.



Şekil 2. Eğitim sembolleri kullanılarak kanal kestiriminin yapıldığı ve kanal kestiriminin yapılmadığı durumlarda farklı SNR değerleri için SER değişimi.

Şekil 2'ye göre kanal kestirimi yapılmaması durumunda verilerin hatalı alınmasından dolayı sembol hata oranları yüksek çıkmaktadır. Çünkü gerek düşük SNR değerlerinde gerekse yüksek SNR değerlerinde kanal kestirimi yapılmaması alıcının gönderilen verileri tam olarak tespit edememesine neden olmaktadır. Ancak kanal kestirimi yapılması sayesinde veriler doğru alınmış ve bunun sonucunda SNR değeri arttıkça sembol hata oranı önemli ölçüde azalmıştır.



Şekil 3. Eğitim sembolleri kullanılarak kanal kestiriminin yapıldığı ve kanal kestiriminin yapılmadığı durumlarda farklı SNR için ortalama karesel hata (MSE) değişimi.

Kestirimci performansını göstermek için kullanılan bir başka değerlendirme kriteri ise farklı SNR değerleri için elde edilen kanal kestiricisinin ortalama karesel hata (MSE) eğrisidir. Herbir SNR değerinde MSE değerini tespit etmek için aşağıdaki formülasyondan faydalanılmıştır:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{q=0}^{N-1} E[(h_{est} - h_{real})^H (h_{est} - h_{real})] \quad (14)$$

Bu ifadede h_{est} kestirilmiş dürtü cevabı, h_{real} ise gerçek dürtü cevabıdır.

Şekil 3'e göre kanal kestirimcisinin artan SNR değerlerinde gerçek dürtü cevabını bulması sonucu MSE değeri azalmaktadır. Ancak kanal kestirimi yapılmaması durumunda kanal dürtü cevabı tespit edilemediğinden MSE değeri yüksek çıkmaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada bir MIMO-OFDM sistemi için eğitim sembolleri kullanılarak yapılan kanal kestirim işleminin performans değerlendirmesi bilgisayar benzetimi ile yapılmıştır. Yapılan performans değerlendirmelerinde; kullanılan kanal kestirimcisi yardımıyla kanal kestirimi yapıldıktan sonra elde edilen değerlerin kanal kestirimi yapılmadan elde edilen değerlere göre, kanallar arası girişim (ICI) sonucu oluşan veri kayıplarını önemli derecede azalttığı görülmüştür. Kanal kestiriminde eğitim sembolleri kullanılmasının nedeni ise; değişen kanal şartlarına karşı kestirimcinin kanalın istatistiksel bağımlılığını en aza indirerek kestirimci performansını artırmak ve hızlı veri transferini sağlamaktır. Çünkü kablolu ağlarda kanal kestiriminin hızlı bir şekilde yapılması veri transfer hızını da artıracaktır.

6. KAYNAKLAR

- [1] Van Nee R., Prasad R., OFDM for Wireless Multimedia Communications, Artech House, London, Publishers, 2000.
- [2] Heiskala, J., Terry, J., OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide, Sams Publishing, 2001.
- [3] Sampath, H., Taiwar, S., "A Fourth-Generation MIMO-OFDM Broadband Wireless Systems: Design, Performance, and Field Trial Results", IEEE Communications Magazine, pp.143-149, September, 2002.
- [4] Gordon, L.S, John, R. B., Steve, W. M., Ye, L., Marry, A. I., "Broadband MIMO-OFDM Wireless Communications", Proceedings of the IEEE, vol. 92, No. 2, pp. 271-294, February 2004.
- [5] Negi, R., Cioffi, J., "Pilot Tone Selection For Channel Estimation in a Mobile OFDM System", IEEE Trans. on Consumer Electronics, vol. 44, 1122-1128, 1998.
- [6] Barhum, I., Geert, L., Moonen, M., "Optimal training Design for MIMO OFDM Systems in Mobile Wireless Channels", IEEE Trans. on Signal Processing, vol.51, No. 6, pp. 1615-1624, June 2003.
- [7] Minn, H., Al-Dhair, N., "Training Signal Design for MIMO OFDM Channel Estimation in Presence of Frequency Offset", Proc. of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2005), pp.1-6, April 2005.
- [8] Wang, Y. J., Chen, M., Cheng, S., Wang, H., "Reduced Complexity MIMO-OFDM Channel Estimation Based on Parametric Channel Estimation", IEEE Trans. on Communications, vol. 74, pp. 1372-1377, October 2004.
- [9] Adachi, K., Esmailzadeh, R., Nakagawa, M., "Iterative QRM-MLD with Pilot-Assisted Decision Directed Channel Estimation for OFDM MIMO Multiplexing", IEICE Trans. Fundamentals, Vol. 89, pp 1892-1902, July 2006.
- [10] Hadaschik, N., Ascheid, G., Meyr, H., "Achievable Data Rate of Wideband OFDM With Data-Aided Channel Estimation", Proc. of the 17th Annual IEEE Int. Sym. on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC06), pp 46-51, Helsinki, January, 2006.
- [11] Wang, Z. Liu, K. J. R., "A MIMO-OFDM Channel Estimation Approach Using Time of Arrivals", IEEE Trans. on Wireless Commun., vol.4, pp.1207-1214, May 2005.
- [12] Li, J., Liao, G., Wu, Y., "MIMO-OFDM Channel Estimation in Presence of Carrier Frequency Offset", Proc. of the IEEE 6th CAS Sym. on Emerging Technologies Mobile and Wireless Comm. pp 685-688, Shanghai China, June 2004.