

# OFDM SİSTEMLERİNDE PİLOT TON EKLEMELİ KANAL KESTİRİM YÖNTEMLERİNİN RAYLEIGH SÖNÜMLÜ KANAL İÇİN PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ

M. Nuri SEYMAN<sup>1</sup>

Eyüp TUNA<sup>2</sup>

Necmi TAŞPINAR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Elektronik Hab.B. Kırıkkale Meslek Yüksekokulu, Kırıkkale Üniversitesi, 71100, Kırıkkale

<sup>2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi 71100, Kırıkkale

<sup>3</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, 38039, Kayseri

<sup>1</sup>e-posta: mnseyman@kku.edu.tr

<sup>2</sup>e-posta: etuna@kku.edu.tr

<sup>3</sup>e-posta: taspinar@erciyes.edu.tr

*Anahtar sözcükler: Dikgen frekans bölmeli çoğullama (OFDM), kanal kestirimi*

## ÖZET

*Kanal kestirim işlemi, dikgen frekans bölmeli çoğullama (OFDM) sistemlerinin tasarımında önemli bir yere sahiptir. Çünkü kanal kestirimi olmaksızın yapılan bir veri iletiminde kanallar arası girişim (ICI) meydana gelecek ve iletilen veriler doğru bir şekilde alınamayacaktır. Bu bildiride, dikgen frekans bölmeli çoğullama (OFDM) sistemlerinde kanal kestirimini sağlamak için kullanılan pilot ton eklemeli en küçük kareler (LS) ve minimum ortalama karesel hata (MMSE) kestirimcilerinin Rayleigh sönümlü kanal için performansları bilgisayar benzetimi ile incelenmiştir.*

## 1. GİRİŞ

Yüksek hızlarda ve kaliteli iletişim isteğinin karşılanması, mevcut band genişliğinin olabildiğince verimli bir şekilde kullanılmasına ve kanalın bozucu etkilerine karşı daha dayanıklı olan tekniklerin kullanılmasına bağlıdır. Sınırlı band genişliğini diğer tekniklere göre daha verimli bir şekilde kullanması, bozucu etkilere dayanıklı olması ve yüksek hızlarda veri transferine olanak sağlaması nedeniyle dikgen frekans bölmeli çoğullama (OFDM) tekniğinin haberleşme sistemlerinde kullanımı her geçen gün artmaktadır. Sayısal ses yayıncılığı (DAP), sayısal-karasal video yayıncılığı (DVB-T), kablosuz ağlar (Hiperlan/2, IEEE 802.11a, ...vb), asimetrik sayısal kullanıcı hatları (ADSL) OFDM'nin kullanıldığı günümüzdeki haberleşme uygulamalarıdır. OFDM, verilerin tek bir taşıyıcı ile iletilmesi yerine birden fazla taşıyıcı ile iletildiği çok taşıyıcılı modülasyon ve çoğullama tekniğidir. Bu sayede aynı kanaldan daha fazla verinin iletimi sağlanarak hem band genişliği daha verimli kullanılacak hem de daha hızlı veri iletimi mümkün olacaktır [1-2].

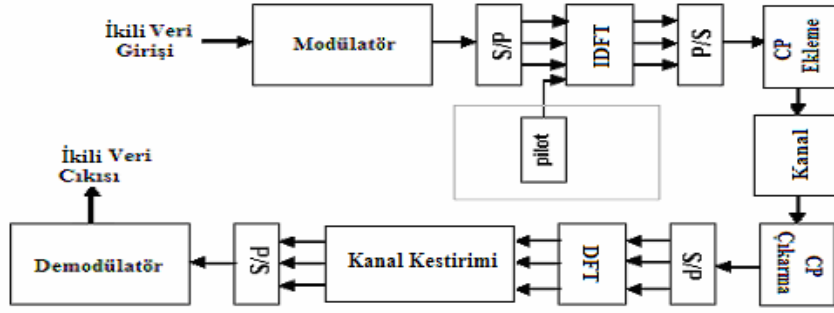
Ancak bir OFDM sisteminin çok taşıyıcılı olması ve farklı kanallardan oluşması nedeniyle iletilen verilerin doğru alınması ancak alıcı tarafta kanal durum

bilgisinin (CSI) doğru bir şekilde tespit edilmesine yani kestirilmesine bağlıdır. CSI'nın alıcı tarafta tespit edilememesi durumunda kanallar arası girişim (ICI) meydana gelecek ve veriler doğru alınamayacaktır [3-13]. Literatürde genel olarak CSI'yi kestirmek için kör kanal kestirimi (blind) ve pilot ton eklemeli kestirim olmak üzere 2 farklı kestirim yöntemi bulunmaktadır [3-13]. Kör kestirim yönteminde sonradan herhangi bir veri eklemesi yapılmadan kestirim işlemi yapılır [12]. Pilot ton eklemeli kanal kestiriminde ise yapısı ve pozisyonu verici ve alıcı tarafta tam olarak bilinen pilot sembollerden faydalanılarak kestirim gerçekleştirilir [9]. Bu kestirim yönteminde En küçük kareler (least squares:LS) yada minimum ortalama karesel hata (minimum mean square error:MMSE) kanal kestirimcileri kullanılır. LS kanal kestirimcisi basit yapıda ve uygulaması kolay olmasına karşın düşük SNR değerlerinde başarılı bir kestirimci değildir. MMSE kanal kestirimcisi ise düşük SNR değerlerinde daha iyi performans sergilemekte, ancak karmaşık yapıda olması nedeniyle uygulaması daha zor bir kestirimcidir [6].

Bu bildirinin ikinci bölümünde OFDM, üçüncü bölümde pilot ton eklemeli LS ve MMSE kanal kestirimcileri anlatılacaktır. Dördüncü bölümde ise kestirimcilerin Rayleigh sönümlü kanaldaki performansları bilgisayar benzetimi ile sembol hata (SER) ve ortalama karesel hata (MSE) kriterlerine göre yapılacaktır. Beşinci bölümde ise elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılacaktır.

## 2. DİKGEN FREKANS BÖLMELİ ÇOĞULLAMA (OFDM)

OFDM, mevcut band genişliğini birden fazla alt taşıyıcılara bölerek verilerin bu alt taşıyıcılarla iletilmesini sağlayan bir çoğullama ya da modülasyon tekniğidir.



Şekil-1. Genel OFDM sisteminin blok diyagramı.

Alt taşıyıcıların birbirlerine dikgenliği, iletilen verilerin birbiri ile girişim yapmasını engelleyecek ve aynı zamanda band genişliği tasarrufu da sağlayacaktır. Şekil 1’de genel bir OFDM sisteminin yapısı görülmektedir. Bu yapıya göre; seri haldeki ikili veriler kablosuz ortamda iletilmek için seçilecek modülasyon türüne göre gruplandıktan sonra modüle edilir. Modüle edilmiş haldeki seri veri akışı daha sonra sırasıyla paralel hale getirildikten sonra pilot tonlar eklenecek ve IDFT’si alınacaktır. IDFT işlemi OFDM sembollerinin meydana gelmesini sağlayan en önemli işlemlerden bir tanesidir ve aynı zamanda verilerin frekans domeninden zaman domenine çevrilmesinde de rol oynar. IDFT alındıktan sonra paralel veri akışı, tekrar seri hale getirilir ve semboller arası girişimden (ISI)’dan korunmak için çevrimsel öntaki (CP) eklenerek kanalda iletilir.

Alıcı tarafta CP’nin çıkarılmasını takiben verilerin tekrar elde edilmesi için DFT’si alınarak sinyaller frekans domenine çevrilir. Frekans domenine çevrilmiş sinyal aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$Y(i) = X(i)H(i) + G(i) \quad (1)$$

Bu ifadede  $X(i)$  iletilen OFDM sembolü,  $H(i)$  kanal durum bilgisi,  $G(i)$  ise kanaldaki gürültüdür. (1) eşitliğini matris olarak ifade edersek

$$Y = XFh + G \quad (2)$$

elde edilir. Bu ifade de;

$$X = \text{diag}\{X(0), X(1), \dots, X(K-1)\} \quad (3)$$

$$Y = [Y(0), Y(1), \dots, Y(K-1)]^T \quad (4)$$

$$G = [G(0), G(1), \dots, G(K-1)]^T \quad (5)$$

$$H = [H(0), H(1), \dots, H(K-1)]^T \quad (6)$$

$$F = \begin{bmatrix} G_K^{00} & \dots & G_K^{0(K-1)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ G_K^{(K-1)0} & \dots & G_K^{(K-1)(K-1)} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$G_K^{ni} = \frac{1}{\sqrt{K}} e^{-j2\pi(n/K)i} \quad (8)$$

şeklinde.

### 3. OFDM SİSTEMLERİNDE PİLOT TON EKLEMELİ KANAL KESTİRİMİ

$H(i)$  kanal durum cevabının kestirilmesi için LS ve MMSE kestirimcilerinden faydalanılır [3-6].

#### 3.1. LS Kanal Kestirimcisi

$h$  kanal vektörü ile  $G$  kanal gürültüsünün ilişkisiz olması durumunda frekans domenindeki  $h$ , LS algoritması ile aşağıdaki gibi bulunur [3].

$$(Y - XF_G)^H ((Y - XF_G)) \quad (9)$$

ifadesi minimize edilir ve

$$H_{LS} = X^{-1}Y \quad (10)$$

ile kanal durum cevabı kestirilir. Daha sonra iletilen veriler aşağıdaki eşitlik ile bulunur [6]:

$$X_e = \frac{Y(i)}{H_e(i)} \quad i=1,2,3,\dots,K \quad (11)$$

#### 3.2. MMSE Kanal Kestirimcisi

MMSE kanal kestirimcisi kanal durum bilgisini aşağıdaki eşitlik ile kestirir:

$$H_{MMSE} = FR_{hY}R_{YY}^{-1}Y \quad (12)$$

Bu ifadede

$$R_{hY} = E\{hY\} = R_{hh}F^H X^H \quad (13)$$

$$R_{YY} = E\{YY\} = XFR_{hh}F^H X^H + \sigma_G^2 I_N \quad (14)$$

dir. (13) ifadesi  $h$  ile  $Y$  arasındaki kovaryans matrisi ve (14)'de  $Y$ 'nin otokovaryans matrisidir. (13) ve (14) ifadelerindeki  $R_{hh}$   $h$ 'nin otokovaryans matrisidir.

$\sigma_G^2$  ise  $E\{G(i)^2\}$  gürültüsünün varyansıdır. Daha sonra kanal durum cevabı eşitlik (12) ile kestirildikten sonra eşitlik (11)'de kullanılarak iletilen veriler kestirilir [3].

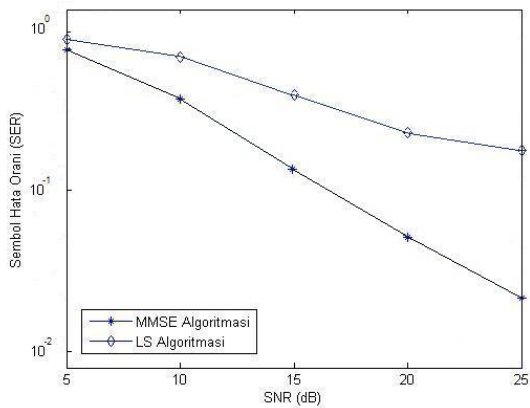
#### 4. BENZETİM SONUÇLARI

Kestiricilerin performans değerlendirmesini göstermek için, IEEE 802.11a parametreleri kullanılarak benzetimler gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de bu parametreler yer almaktadır.

Tablo 1. IEEE 802.11a sistem parametreleri.

Parametre	Değer
Çalışma Frekansı	5 Ghz
Örnekleme Frekansı	20 Mhz
Alt Taşıyıcı Sayısı	48
Pilot Alt Taşıyıcı Sayısı	4
DFT Boyutu	64
Alt Taşıyıcı Frekans Boşluğu	0.3125 MHz
Koruma Arası Süresi	0.8 $\mu$ s

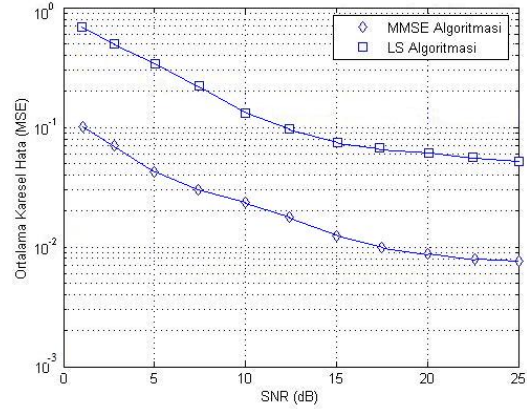
Benzetimlerde BPSK ile modüle edilmiş OFDM sembollerinin ofis içi ortamlar için tipik olarak değeri 100 ns gecikme yayılımına sahip Rayleigh sönümlemeli kanallarda iletim durumu incelenmiştir. Kanal kestirim algoritması olarak kullanılan LS ve MMSE kanal kestiricilerinin performansı Sembol hata oranı (SER) ve Ortalama karesel hata (MSE) kriterlerine göre değerlendirilmiştir.



Şekil 2. LS ve MMSE kanal kestiricilerinin SNR'ye göre sembol hata oranı (SER) değişimi.

Şekil 2'deki SER değişim grafiğine göre; MMSE kanal kestiricisi kanalın sönümleme etkisine rağmen iyi bir performans sergilemiştir. Ayrıca artan SNR değerlerinde hataları daha azaltmakta ve bunun sonucu olarak sembol hata oranları da azalmaktadır.

LS kanal kestiricisi ise kanaldaki sönümleme etkisinden dolayı düşük SNR değerlerinde kanal durum cevabını doğru olarak tespit edememiş ve bunun sonucunda sembol hata oranı yüksek çıkmıştır. Bu kestiricisi ancak yüksek SNR değerlerinde tatmin edici sembol hata oranlarına ulaşmaktadır. 25 dB gibi yüksek bir SNR değerinde bile iki kestiricisi arasındaki sembol hata oranı farkı  $10^{-1}$  den fazladır.



Şekil 3. LS ve MMSE kanal kestiricilerinin SNR'ye göre ortalama karesel hata (MSE) değişimi.

Bir diğer değerlendirme kriteri olan MSE grafiğinde de MMSE kanal kestiricisinin LS kanal kestiricisinden daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. LS kanal kestiricisi, düşük SNR değerlerinde hatalı kestirim yapmasından dolayı hata değeri oranı 1'e yakın çıkmıştır. Aynı SNR değerlerinde ise iki kestiricisi arasında yaklaşık olarak  $10^{-1}$  lik fark bulunmaktadır.

#### 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada dikgen frekans bölme çoğullama (OFDM) sistemlerinde kullanılan pilot ton eklemeli kanal kestirim yöntemlerinden LS ve MMSE kanal kestiricilerinin Rayleigh sönümlü kanaldaki performansları incelenmiştir. Elde edilen benzetim sonuçlarına göre MMSE kanal kestiricisinin LS kanal kestiricisine göre başarılı olduğu görülmüştür. MMSE kanal kestiricisi ile gerek düşük SNR değerlerinde gerekse yüksek SNR değerlerinde LS kanal kestiricisinden daha iyi MSE ve SER değerleri elde edilmiştir. Ancak MMSE kanal kestiricisi kanalın istatistiksel bilgilerine ihtiyaç duymasından dolayı uygulama bakımından daha karmaşık bir yapıdadır. Bunun aksine LS kanal kestiricisi daha basit bir yapıda olması nedeniyle uygulanabilir bir yapıdadır. Fakat kablosuz ağların genelde sönümlemeli kanal yapısına sahip olması dolayısıyla sönümlemeli kanallarda düşük SNR değerlerinde LS kanal kestiricisi kullanılması sistemin hatalı veri transferleri yapmasına neden olacaktır. Bu yüzden bu tip kanal durumlarında veri kayıplarını en aza indirmek için MMSE kanal kestiricisi kullanılmalıdır.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] Weinstein S. B., Ebert P.M., "Data Transmission by Frequency Division Multiplexing Using the Discrete Fourier Transform", IEEE Transactions on Communication Technology, 19(3), 628-634, 1971.
- [2] Cimini L. J., "Analysis and Simulation of Digital Mobile Channel Using Orthogonal Frequency Division Multiplexing", IEEE Transactions on Communications, 42(2), 2908-2914, 1994.
- [3] Coleri S., Ergen M., Puri A., Bahai A. "Channel Estimation Techniques Based on Pilot Arrangement in OFDM Systems", IEEE Trans.on Broadcasting, 48(3), 223-229, 2002.
- [5] Kim J.G., Kim T.J., Lee J.S., Lim J.T., "Channel Estimation for OFDM over Fast Rayleigh Fading Channels", International Journal of Applied Science, Engineering and Technology, 4(1), 455-458, 2007.
- [6] Van de Beek J.-J., Edfors, O., Sandell M., Wilson S.K., and Borjesson P.O., "On Channel Estimation in OFDM Systems", Proc. of the IEEE 45<sup>th</sup> Vehicular Technology Conf., 815-819, Chicago, 1995.
- [7] Larsson E.G., Liu G., Li J., Giannakis G. B., "Joint Symbol Timing and Channel Estimation for OFDM Based WLANs", IEEE Communication Letters, 5(8), 325-327, 2001.
- [8] Dong M., Tong L., "Optimal Design and Placement of Pilot Symbols for Channel Estimation", IEEE Trans. on Signal Proc. 50(12), 3055-3069, 2002.
- [9] Negi R., Cioffi J., "Pilot Tone Selection for Channel Estimation in a Mobile OFDM System", IEEE Trans. Consumer Electronics, 44(3), 1122-1127, 1998
- [10] Chang M.X., " A New Derivation of Least Squares Fitting Principle for OFDM Channel Estimation", IEEE Trans. Commun. 5(4), 726-731, 2006.
- [11] Tufvesson F., Maseng T., "Pilot Assisted Channel Estimation for OFDM in Mobile Cellular Systems", Proc. of the IEEE 47th Vehicular Technology Conf., 1-5, Phoenix, 1997.
- [12] Zhuang X. Ding Z. and Swindlehurst, "A Statistical Subspace Method for Blind Channel Identification in OFDM Communication" , Proc. Of the IEEE ICASSP , Istanbul, 2000.
- [13] Tsai P.Y., Chiueh T. D., "Frequency Domain Interpolation Based Channel Estimation in Pilot Aided OFDM Systems" IEEE Trans. Commun. 420-424, 2004.