

# OFDM Sistemlerinde Kanal Dengeleme için Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması

Cebrail ÇİFTLİKLİ<sup>1</sup>, A. Tuncay ÖZŞAHİN<sup>2</sup>, A. Çağrı Yapıcı<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Elektronik Haberleşme Bölümü, Erciyes Üniversitesi

<sup>2</sup>Elektrik Bölümü, Erciyes Üniversitesi

<sup>3</sup>Elektrik Elektronik Müh., Erciyes Üniversitesi

cebrailc@erciyes.edu.tr, atozsahin@erciyes.edu.tr, cyapici@erciyes.edu.tr

**Özetçe:** Bu makalede Diksel Frekans Bölmeli Çoğullama (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing - OFDM) sisteminde Yapay Sinir Ağına (YSA) dayalı kanal kestirimi tekniği gerçekleştirilmiştir. Kanal modeli olarak çok yollu Rayleigh sönümlü kanallar kullanılmıştır. Ayrıca pilot işaret tabanlı kanal kestirimi de gerçekleştirilmiştir. Her iki kestirim metodunda elde edilen simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. YSA tabanlı kanal kestirimi sonucunda elde edilen bit-hata oranının, pilot işaret destekli kestirim sonucunda elde edilen bit hata oranından daha düşük olduğu gösterilmiştir.

## 1. Giriş

Frekans seçici bir kanalı, paralel birçok düz sönümlenmeli alt kanala dönüştüren Diksel Frekans Bölmeli Çoğullama (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing - OFDM) sistemi yüksek hızlı kablosuz sistemlerdeki çok yollu gecikme yayılımına karşı oldukça etkili bir sistemdir [1]. OFDM sistemi kablosuz yerel alan ağları (WLAN) standardı (IEEE 802.11), ETSI Yüksek Performanslı Yerel Alan Ağı Tip 2 (HIPERLAN/2) ve Japon Mobil Çoklu Ortam Erişim Haberleşme (MMAC) sistemlerinde kullanılmaktadır [2].

Kanalın bozucu etkileri OFDM sistem performansını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Bundan dolayı OFDM işaretleri alıcıya ulaştığında, demodülasyon yapılmadan önce dinamik kanal kestirimi yapılması gereklidir [3]. Bu çalışmada kanal kestirimi için Yapay Sinir Ağları ve Pilot Destekli teknikler kullanılmıştır. Her iki sistemde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

OFDM sistemlerinde, deneme dizili ve kör kestirim teknikleri olmak üzere kanal kestirimi için geliştirilen iki metod kullanılmaktadır [4]. Bu makalede deneme dizili kanal kestirimi gerçekleştirilmiştir. Bu teknikte, vericide OFDM işaretine sabit zaman aralıklarında deneme/pilot işaretleri yerleştirilir. Alıcıda ise pilot işaretler kullanılarak kanal karakteristikleri kestirilir. Her bir alt taşıyıcı kanalındaki bozulmalar birbirinden bağımsız olduğundan, bu çalışmada pilot işaretler bilinen bir zaman aralığında frekans domeninde yerleştirilir. Kestirilen kanal karakteristikleri kullanılarak iletilen işaret yeniden elde edilir [4].

YSA tabanlı kanal kestirim tekniğinde ise kanal çıkışı ve girişindeki iki işaret ilk olarak ağa uygulanarak ağın eğitimi gerçekleştirilmektedir. Ağ, kanal yapısına göre eğitildikten sonra kanal çıkışındaki işaret ağa uygulanmaktadır. Yapay sinir ağı kanal yapısını öğrendiği için ağ çıkışındaki işaret kestirilmiş işaret olmaktadır. Bu işaret daha sonra demodüle edilerek iletilen işaret elde edilir.

## 2. OFDM Sistemi

OFDM sistemine ait temel blok diyagram Şekil 1' de görülmektedir. OFDM sisteminde, mevcut bant genişliği  $N$  adet diksel alt kanal setine bölünür. Karmaşık veri sembol dizisi,  $N$  adet sembol çatısına  $\{a_{i,n} \mid n = 0, \dots, N-1\}$  bölünür. Burada  $a_{i,n}$   $i$ . sembol aralığı süresince iletilen  $n$ . sembolü göstermektedir. Bu işaretin modülasyonu  $N_f$  noktalı ters Fourier dönüşümüyle (IFFT) gerçekleştirilir.

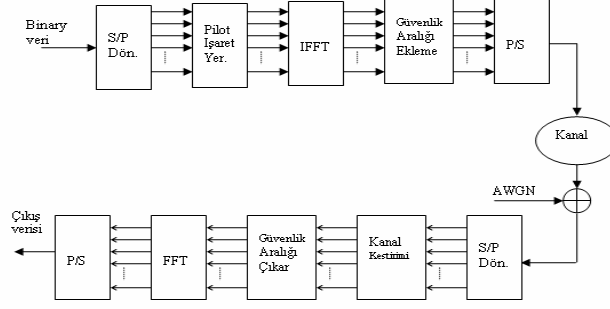
$$x(n) = \sum_{l=0}^{N-1} a_{l,n} e^{j(2\pi l n / N)} \quad n=0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (1)$$

Sayısal giriş verisi ters Fourier dönüşümü kullanılarak modüle edildikten sonra semboller arası girişimden korunmak için uzunluğu gecikme yayılımından daha büyük olan bir güvenlik aralığı (GA) eklenir. Bu güvenlik aralığı OFDM işaretinin son kısmından bir bölümün baş kısmına eklenmesiyle gerçekleştirilir. Güvenlik aralığı eklendiğinde işaret aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$x_f(n) = \begin{cases} x(N+n), & n = -N_g, -N_g+1, \dots, -1 \\ x(n), & n = 0, 1, \dots, N-1 \end{cases} \quad (2)$$

Bu ifadedeki  $N_g$  eklenen güvenlik aralığının uzunluğudur. İletilen işaret  $x_f(n)$  zamanla değişen frekans seçici sönümlenmeli bir kanal üzerinden geçerek alıcıya ulaşır. Kanal çıkışındaki işaret aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$y_f(n) = x_f(n) \otimes h(n) + w(n) \quad (3)$$



Şekil 1: OFDM sistemine ait temel blok diyagram

Burada  $w(n)$  Beyaz Toplanır Gaussian Gürültüsü (AWGN) ve  $h(n)$  kanalın impuls cevabıdır.

Alıcıda, alınan işaret ilk olarak kanal kestirimciye uygulanır. Burada kanalın bozucu etkileri giderilir. Pilot tabanlı kestirim tekniğinde kestirim için vericide eklenen pilot işaretler kullanılır. İletilen işaret aşağıdaki şekilde kestirilir.

$$X_e = \frac{Y(k)}{H_k(k)} \quad (4)$$

Bu ifadedeki  $H_k(k)$  kestirilmiş kanal cevabıdır. Alıcı kısımda vericide gerçekleştirilen işlemlerin sırayla tersi yapılarak demodülasyon işlemi gerçekleştirilir. Bundan dolayı alıcıda ilk olarak kanal kestirimci çıkışındaki işaretten vericide eklenen güvenlik aralığı çıkarılır. Bu, vericide eklenen uzunluktaki örneğin alınan işaretin baş kısmından çıkarılmasıyla gerçekleştirilir. Elde edilen işaret Ayırık Fourier Dönüşümü (FFT) kullanılarak demodüle edilir.

$$Y(k) = FFT\{y(n)\} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} y(n)e^{-j(2\pi kn/N)} \quad (5)$$

FFT işleminden sonra elde edilen işaret verici girişindeki orijinal bildiri işaretidir.

### 3. Pilot İşaretler Kullanılarak Kanal Kestiriminin Gerçekleştirilmesi

Kanal kestirimi için blok tip pilot işaretler kullanılmıştır. Blok tip kanal kestiriminde bütün alt taşıyıcılar pilot işaretler olarak kullanılır ve OFDM kanal kestirim sembolleri periyodik olarak gönderilir. Kanal kestirimi En Küçük Kareler (LS) veya Minimum Ortalama Kareler (MMSE) kullanılarak gerçekleştirilir [5],[6].

Güvenlik aralığı kullanılarak semboller arası girişimin ortadan kaldırıldığı kabul edilirse, aşağıdaki matris bağıntısı yazılabilir.

$$Y = XTh + W \quad (6)$$

Bu bağıntıdaki ifadeler aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$W_N^{kl} = \frac{1}{N} e^{-j2\pi(k/N)l} \quad (7)$$

Kanal vektörü  $h$ 'ın Gaussian olduğu ve  $W$  gürültüsü ile ilintisiz olduğu kabul edilirse,  $h$ 'ın MMSE kestirimi aşağıdaki ifade ile bulunur.

$$H_{MMSE} = TC_{hY}C_{YY}^{-1}Y \quad (8)$$

Bu ifadede  $C_{hY}h$  ile  $Y$  arasındaki çapraz kovaryans matrisi ve  $C_{YY}$  oto-kovaryans matrisidir.

$$C_{hY} = E\{hY\} = R_{hh}T^H X^H, \quad C_{YY} = E\{YY\} = XTR_{hh}T^H X^H + \sigma^2 I_N \quad (9)$$

LS kestirimi ise aşağıdaki ifadeyle bulunur.

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

### 4. Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Kanal Kestiriminin Gerçekleştirilmesi

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninin işleyişini taklit ederek yeni sistem oluşturulmaya çalışılan sistemlerdir [7]. İstisnasız tüm YSA yapılarının esin kaynağı biyolojik sinir ağlarının işleyiş yöntemidir. YSA'nın öğrenme özelliği bu yaklaşımın cazibesini artırmıştır.

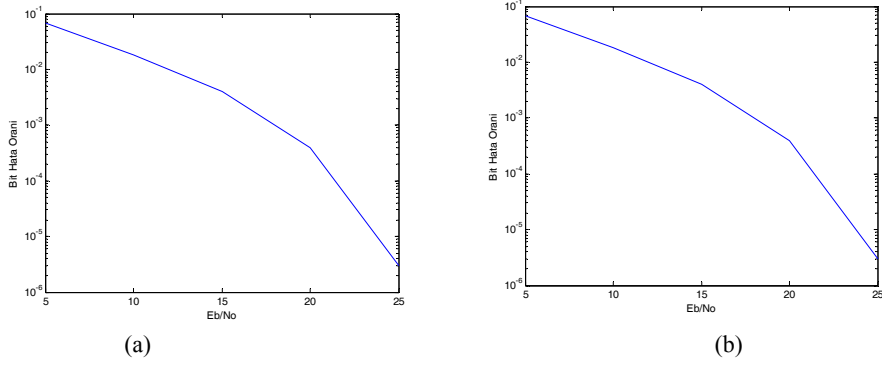
Bu makalede, YSA'nın öğrenebilme özelliği kullanılmıştır. Kanal giriş ve çıkışı YSA'ya uygulanarak YSA'nın kanalı öğrenmesi sağlanmıştır. YSA kanal yapısını öğrendikten sonra kanal çıkışları YSA'a uygulanarak kanal kestirimi gerçekleştirilmiştir. YSA çıkışı kestirilmiş işaret olmaktadır.

YSA kullanılarak gerçekleştirilen kanal kestiriminde ikisi gizli katman olmak üzere üç katmanlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağı kullanılmıştır. Gizli katmanlardan biri 5, diğeri 12 nörona sahiptir. Bu değerler yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilmiştir. Daha fazla nöron kullanıldığında bit-hata oranının çok fazla değişmediği gözlenmiştir. Transfer fonksiyonu olarak 'logsig' kullanılmıştır. Bu transfer fonksiyonun yapılan simülasyonlarda en iyi sonucu veren fonksiyon olduğu gözlemlenmiştir.

## 5. Sonuçlar

OFDM sistem performansını etkileyen en önemli problemlerden birisi çok yollu kanalların bozucu etkileridir. Bu makalede kanal kestirimi için yeni bir teknik olarak Yapay Sinir Ağları kullanılmıştır. YSA ile elde edilen sonuçlar pilot işaret tabanlı kanal kestirimi sonucunda elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır.

Şekil 2 ve Şekil 3'te sırasıyla YSA ve pilot işaret tabanlı teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen kanal kestirimine ait bit-hata oranları görülmektedir. YSA kullanılarak elde edilen sonuçların pilot işaret ile elde edilen sonuçlara çok yakın olduğu görülmektedir. Tablo 1'de ise bu teknikler kullanılarak elde edilen bit-hata oranı değerleri verilmiştir.



Şekil 2: (a)YSA kullanılarak gerçekleştirilen kanal kestirimi için bit-hata oranı  
(b) Pilot işaretler kullanılarak gerçekleştirilen kanal kestirimi için bit-hata oranı

Tablo 1: Her iki kanal kestirim tekniği sonucunda elde edilen bit-hata oranları

$E_b/N_0$	Bit Hata Oranı (YSA için)	Bit Hata Oranı (PDKS için)
5	0,0554	0,0679
10	0,0158	0,0210
15	0,0019	0,0041
20	$\cong 9,41 \times 10^{-5}$	$\cong 4 \times 10^{-4}$
25	$\cong 7 \times 10^{-7}$	$\cong 3 \times 10^{-6}$

## Kaynakça

- [1] Xie, Y. and Georghiades, C. N., "An EM-Based Channel Estimation Algorithms for OFDM with Transmitter Diversity", Thesis on OFDM
- [2] Van Nee, R. And Prasad, R., "OFDM for Wireless Multimedia Communications", Artech House Publisher, 2000.
- [3] Coleri, S., Ergen, M., Puri, A., and Bahai, A., "Channel Estimation Based Tecniques Based on Pilot Arrangement in OFDM Systems", IEEE Trans. Broadcasting, Vol. 48, 223-229, 2002.
- [4] Doukopoulos, X. and Moustakides, G.V. , "Adaptive Algorithms for Blind Channel Estimation in OFDM Systems," IEEE International Conference on Communications ICC'2004, Paris, 2004.
- [5] Van De Beek, J. J., Edfors, O., Sandell, M., Wilson, S. K. and Brjesson, P. O., "On Channel Estimation in OFDM Systems", IEEE 45th Vehicular Technology Con., 815-819, Chicago, 1995.
- [6] Van De Beek, J. J., Edfors, O., Sandell, M., Wilson, S. K. and Brjesson, P. O., "OFDM Channel Estimation by Singular Value Decomposition", IEEE Trans. On Comm., 46(7): 931-939, 1998.
- [7] Sağıroğlu,Ş., Beşdok, E., Erler, M., "Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları 1", Ufuk Yayınevi, Kayseri, 2003.