

# Seçici Sönümlmeli Kanallarda Çoklu Anten Sistemi İçin RLS ve LMS Esaslı Uyarlanı Denkleştiriciler

Kadir TÜRK, Salim KAHVECİ, İsmail KAYA  
Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
61080, TRABZON  
{kadir, salim, ikaya}@ktu.edu.tr

**Özet:** Çoklu anten sistemi (MIMO) için en küçük-karesel-ortalama-hata karar-geribeslemeli-denkleştirici (MMSE DFE) ve başarımlı seçici sönümlmeli kanallarda incelenmektedir. Denkleştirici katsayıları Kalman (RLS) ve LMS kestirim yöntemleri kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu bildiride MIMO için MMSE DFE yapısı (MIMO DFE), bu denkleştirici katsayılarının hesabı için kullanılan LMS ve RLS uyarlanı algoritmaları ve yapılan benzetim çalışmalarıyla elde edilen başarımlı eğrileri sunulmaktadır. Yöntem, sadece alıcı tarafta işlem yapan MIMO sistemlerdendir. Bu haliyle gezgin radyodan üs radyoya iletim için daha uygundur. Sonuçta, RLS algoritması kullanan MMSE DFE'nin seçici sönümlmeli kanallarda MIMO sistemleri için kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

## 1.Giriş

Kablosuz iletişim sistemlerinde son yıllarda önemli gelişmeler olmasına rağmen, veri hızının artırılması ve sistemlerin güç ve verimleri konusundaki şikayetler azalmamıştır. Özellikle frekans bantlarının verimli kullanımı, düşük enerji tüketimi ve verici gücünün azaltılması konusunda önemli araştırmalar yapılmaktadır. 2000'li yılların hemen başında bu doğrultuda yapılan çalışmalar iki önemli alanda yoğunlaşmıştır; MIMO sistemler ve Turbo kodlayıcılar/kodçözücüler. Bunlardan MIMO bant verimliliğini arttırmada çok etkin olurken, Turbo sistemler alıcıda daha düşük işaret/gürültü oranında veriyi algılayabilmekte, verici gücünün önemli ölçüde azaltılmasına imkan sağlamaktadır. Bununla birlikte, sözü edilen çalışmalardan MIMO sistemlere yönelenlerin çoğu simgeler arası girişimin (ISI) olmadığı dar bantlı düz sönümlmeli kanallarda yapılmıştır [1]-[3]. Oysa, modern kablosuz iletişim sistemlerinde daha yüksek veri hızlarına ulaşabilmek amacıyla MIMO sistemlerin kullanılabilirliği için, bu sistemlerin geniş bantlı seçici sönümlmeli kanalda incelenmesi gerekmektedir.

## 2.Kanal Modeli

$M$  tane verici antenine sahip bir verici ve  $N$  tane alıcı antenine sahip bir alıcı Şekil 1'de gösterilmektedir. MIMO kanalı matris şekilli sonlu dürtü yanıtı (FIR) filtre olarak modellenenbilir. Alıcıda  $j$ 'inci antendeki işaret  $v_k^{(j)}$  ( $j=1, \dots, N$ ) için;

$$v_k^{(j)} = \sum_{i=1}^M \sum_{m=0}^{L-1} h_m^{(i,j)} x_{k-m}^{(i)} + \eta_k^{(j)} \quad (1)$$

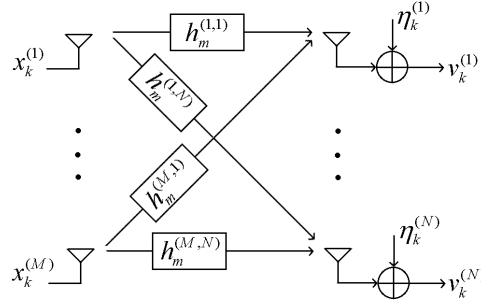
eşittir. Burada  $\{x_{k-m}^{(i)}\}$   $i$ 'inci verici anten tarafından gönderilen dizi,  $h_m^{(i,j)}$  kanalın  $m$ 'inci dalı (tap),  $L$  FIR filtredeki dal sayısı ve  $\{\eta_k^{(j)}\}$   $j$ 'inci alıcıdaki AWGN bileşenidir [4]. Geri besleme kısmı olmayan MIMO denkleştirici çıkışı aşağıdaki gibi verilebilir;

$$\hat{x}_k^{(i)} = \sum_{j=1}^N \sum_{m=-K_1}^{K_2} c_m^{(i,j)} v_{k-m}^{(j)} \quad (2)$$

Burada  $\{\hat{x}_k^{(i)}\}$   $\{x_k^{(i)}\}$ 'nin kestirimi,  $K_1$  ve  $K_2$  MIMO LTE dal numaraları.  $c_m^{(i,j)}$  denkleştirici katsayılarıdır.

$$e_k^{(i)} = x_k^{(i)} - \hat{x}_k^{(i)} \quad (3)$$

$e_k^{(i)}$  hata denklemdir. Adaptif denkleştiricide  $e_k^{(i)}$  hata değerini sıfıra yaklaştırmak için  $c_m^{(i,j)}$  katsayıları her öz yinelemede bir kestirim tekniğiyle hesaplanır. MIMO DFE için LMS ve RLS kestirim yöntemleri [1]-[2] de verilmektedir.



Şekil 1. MIMO kanal modeli[2]

### 3. Shannon Kanal Kapasite Teoreminin MIMO İçin İrdelenmesi

MIMO sisteminin kanal kapasitesi ifadesi Gouldsmith'in yayınında aşağıdaki gibi verilmiştir [4].

$$C = \log_2 \left( \left| I_M + \frac{\rho}{N} H H^H \right| \right) \text{b/s/Hz} \quad (4)$$

Burada H, MxN boyutlu kanal matrisi, M alıcı anten sayısı, N verici anten sayısı,  $I_M$  MxM boyutlu birim matris,  $\rho$  ise herhangi bir alıcı ünitenin işaret gürültü oranıdır.  $( )^H$  Kompleks eşlenik transpozeyi gösterir. Bu genel ifade Özdemir'in çalışması ile sadeleştirilmiştir [5].

$$C = \sum_{i=1}^M \log_2 \left[ 1 + \frac{\rho}{N} \lambda_i \right] \text{b/s/Hz} \quad (5)$$

Burada  $\lambda_i$  MxN boyutlu H matrisinin sıfırdan farklı özdeğerleridir. Çok yollu kanal tiplerinde işarete ait beklenti gücü;

$$P_L = \sum_{i=0}^{L-1} H_i H_i^H \quad (6)$$

şeklinde bulunur. Burada  $H_i$  kanalın i'nci dalına ait birim vuruş tepkisi matrisi ve L kanalın sembol/örnek hafıza sayısını vermektedir. Bu durumda çok yollu kanallar için kapasite;

$$C = \log_2 \left[ \left| I + \frac{\sum_{i=0}^{L-1} H_i H_i^H}{N_0} \right| \right] \quad (7)$$

$$C = \log_2 \left[ \left| I + \frac{\rho}{N} \left( \sum_{i=0}^{L-1} H_i H_i^H \right) \right| \right] \quad (8)$$

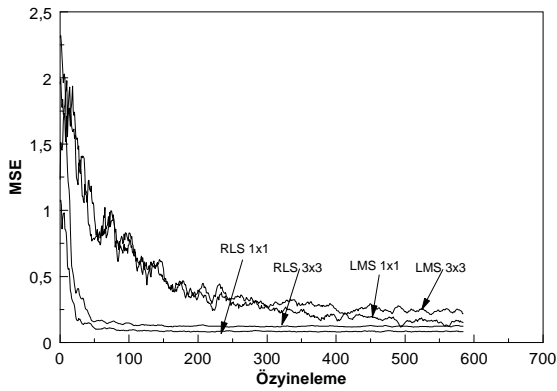
şeklinde Goldsmith'in kanal kapasite tanımıyla birleştirilebilir. Buradan görülebileceği gibi, teorik olarak çok yollu haberleşmenin bütün dalları kanal kapasitesine katkıda bulunmaktadır. Ancak gerçekte bu kapasiteye yaklaşma tamamen haberleşme sisteminin doğasına (OFDM'de olduğu gibi) veya sembol girişimini ayıracak

kanal denkleştiricinin başarımına bağlıdır. Goldsmith'in kapasite ifadesi (4)'in analizi çeşitli kaynaklarda yapılmıştır [4,5]. Ancak (6) nolu denklemin analizi için çok daha detaylı bir irdelemeye gerek vardır. Bu nedenle sayısal benzetim çalışmaları -belkide- istatikselsel olarak çok daha az zamanda ve nisbeten daha doğru kapasite tahmini verecektir. Elde edilen başarım analizlerinin bir kısmı aşağıdaki bölümde verilirken geniş ölçekli bir başarım sonuçları ileriki çalışmalara bırakılmıştır.

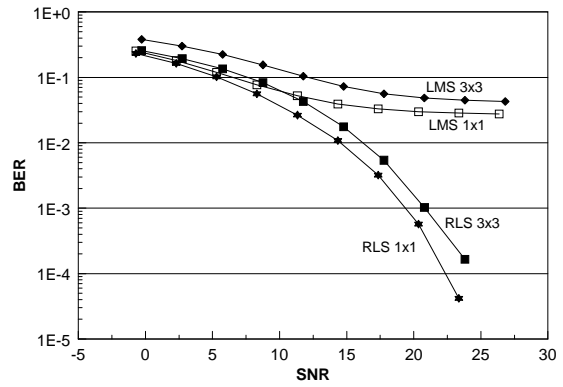
### 3. Benzetim Sonuçları

M tane verici ve M tane alıcı anteninden oluşan bir MIMO sisteminin verici kısmında veri dizisi M tane alt diziye ayrılır ve her bir verici anteninden aynı frekans bandında kanala verilir. Benzetim üç dalga sahip seçici sönmülemeli kanalda gerçekleştirilmiştir ( $H(z)=0.26+0.93z^{-1}+0.26z^{-2}$ ) [6]. Dolayısıyla M tane antenden gelen veri her bir dalga  $M \times M$  boyutlu birer matris olan üç kanal katsayı matrisiyle çarpılır. M adet alıcı anteni tarafından alınan veri paketleri her alıcıda MIMO DFE denkleştiriciden geçirilir. Tasarlanan denkleştirici süzgeçleri ileri yönde dört geri yönde ise iki tane sahiptir. Dolayısıyla her bir MIMO DFE denkleştirici ileri yönde  $4M$  geri yönde  $2M$  daldan oluşmaktadır. Denkleştirici katsayılarının kestirimi için RLS yöntemi yanında karşılaştırma amacıyla LMS yöntemi de kullanılmıştır. Yine karşılaştırma amacıyla benzetim tek girişli tek çıkışlı (SISO) sistem için de tekrarlanmıştır.

Şekil 2'de denkleştiricilerin ortalama karesel hata eğrileri görülmektedir. Eğriler SISO ve üç verici üç alıcı antene sahip MIMO sistemi için 18 dB işaret/gürültü oranında elde edilmiştir. Şekil 3'de ise yine SISO ve  $3 \times 3$  MIMO sistemlerinin BER başarımı verilmektedir. Denkleştirici katsayıları 200 öğrenme adımında kestirilmektedir.



**Şekil 2.** Seçici sönmülemeli kanalda LMS ve RLS yöntemleri kullanan (4,2)'lik MIMO ve SISO DFE denkleştiricinin 18 dB işaret/gürültü oranında MSE eğrileri



**Şekil 3.** Seçici sönmülemeli kanalda LMS ve RLS yöntemleri kullanan (4,2)'lik MIMO ve SISO DFE denkleştiricinin 200 öğrenme adımı için BER başarımı

### Kaynaklar

- [1]. Kominakis C., Fragouli C., Sayed A.H. ve Wesel R.D., "Multi-Input Multi-Output Fading Channel Tracking and Equalization Using Kalman Estimation" IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 50, No. 5, s. 1065-1076, May 2002.
- [2]. Frigon J. F., Daneshard B., "Multiple Input-Multiple Output (MIMO) Receiver for Wideband Space-Time Communications", Proceedings of the 12th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Vol.1, s. A164-A168, 30 Sept.-3 Oct. 2001.
- [3]. Murch R. D., Letaief K. B., "Antenna Systems for Broadband Wireless Access" IEEE Communication Magazine, s. 76-83, April 2002.
- [4]. Goldsmith, A., Jafar, S. A., Jindal, N., Vishwanath, S., "Capacity Limits of MIMO Channels", IEEE journal on Selected Areas in Communications, Vol. 21, No. 5, June 2003.
- [5]. Özdemir M.K., "Dynamics of Spatial Correlator and Implications on MIMO Systems", IEEE Com. Magazine, Vol. 42, No. 6, s. 514-519, June 2004.
- [6]. Proakis, J.G., Digital Communications, McGraw Hill, Fourth Edition, New York, 2001.