

KOÇAN TABANLI UYARLANABİLİR KANAL DENKLEŞTİRME

Noor J. Ahmed, Osman Nuri Uçan

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Aydın Üniversitesi

Özet

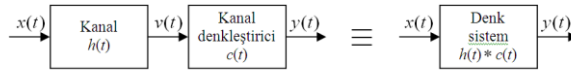
Doğrusal olmayan uyarlanabilir süzgeçleme alanının aksine doğrusal uyarlanabilir süzgeç kuramları bir doyum noktasına ulaşmıştır. Koçan yöntemler doğrusal olmayan ve sağlam matematiksel temelleri olan yöntemlerdir. Bu yüzden de son zamanlarda yapılan birçok araştırma için oldukça cezbedici olmuştur. Bu çalışmada, haberleşme sistemlerinde kanal denkleştirme problemi özelinde, doğuran koçanlı Hilbert uzayında uyarlanabilir süzgeçleme algoritmaları incelenmiştir. Bu bağlamda bir Rayleigh kanal modeli kullanılmış ve uygulama örnekleri bu yönde yürütülmüştür. Doğuran koçanlı Hilbert uzayı, koçan hilesi kullanmak suretiyle iç çarpımlar olarak ifade edilen doğrusal uyarlanabilir süzgeç algoritmalarının doğrusal olmayan karşılıklarının elde edilebilmesi için bir yöntem ortaya koymaktadır. Dolayısı ile, en iyi bilinen uyarlanabilir süzgeçleme yöntemleri olan en küçük ortalama kareler ve yinelenen en küçük kareler algoritmalarının koçan uygulamaları sunulmuş ve kanal denkleştirme problemi için performansları değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kanal Denkleştirme, Uyarlanabilir Süzgeçleme, Doğuran Koçanlı Hilbert Uzayı

I. GİRİŞ

Kanal tanımı genel olarak herhangi bir haberleşme işaretinin kaynaktan hedefe ulaşınca kadar iletim esnasında maruz kaldığı değişimler bütünü olarak verilebilir, kısaca fiziksel iletim ortamı olarak da kabul edilebilir. Kanal kestirimi ise, fiziksel ortamın giriş verisi üzerindeki etkilerini belirleme ve veriyi çıkışta yeniden oluşturma işlemidir. Bu sayede gürültü, semboller arası

girişim ve kanallar arası girişim-karışma gibi etkiler kaldırılabilmekte, hedeflenen işarete ulaşılabilir.

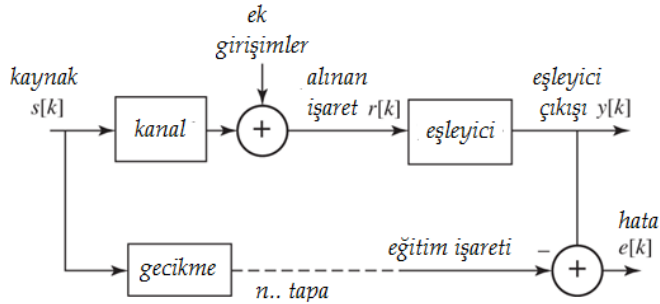


Şekil 1. Kanal denkleştirme

Kanal denkleştirme probleminde, kanal veya kanalın tersi ni (kanal denkleştirici) kestirmek için çeşitli algoritmalar kullanılmaktadır. İletişim kanalının zamanla değişmesi durumunda, kanal denkleştiricinin kanaldaki değişimleri takip edebilmesi gerekmektedir. Bu tür kanal denkleştiriciler, uyarlanabilir kanal denkleştiriciler olarak adlandırılırlar.

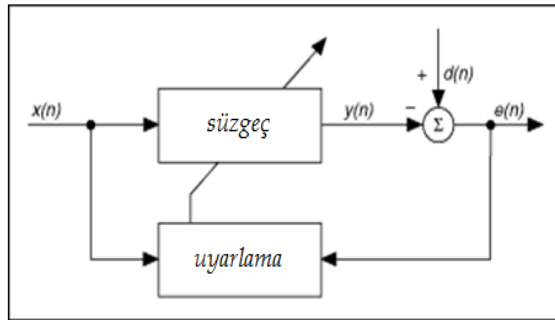
II. YÖNTEM

Uyarlanabilir kanal denkleştirme için kullanılan model tabanlı yöntemlerin genel yapısı Şekil 2’de gösterilmektedir. Burada daha önce de belirtildiği gibi kaynak işareti $s[k]$ kanaldan iletilmekte ve çeşitli sönümlenme, gürültü ve ek girişimlere maruz kalmaktadır. Tüm bozulma ve değişimler sonucunda alıcı tarafında elde edilen işaret ise $r[k]$ ile temsil edilen alınan işarettir ve bu işaret denkleştirici bloğuna veya devresine girmektedir. Denkleştirici çıkışı sabit olabileceği gibi şekilde gösterilen yapıda olduğu gibi uyarlanabilir de olabilir. Nitekim denkleştirici çıkışını düzenleyebilmek amacı ile kaynak işareti n tapalı bir geciktiriciden geçirilerek denkleştirici çıkışı ile karşılaştırıldığında denkleştiricibloğunda bulunan uyarlanabilir süzgeç parametreleri hatayı en aza indirecek şekilde belirlenebilir. Bu durumda uyarlanabilir kanal denkleştirme işlemi gerçekleştirilmiş olur.



Şekil 2. Kanal ve kanal denkleştirici yapısı

Şekil 2’de gösterilen yapıda denkleştirici bloğu esasında bir uyarlanabilir süzgeç içermektedir ve bu süzgeç de en genel hali ile Şekil 3’te verilmiştir. Bu yapıda uyarlama bloğu çok çeşitli doğrusal ve/veya doğrusal olmayan algoritmalar ile işlem yapılabilir, bu yüzden en genel yapıdır.



Şekil 3. Uyarlanabilir süzgeç - denkleştirici

Bu en genel yapıdan yola çıkacak olursak, uyarlanabilir süzgeci şöyle tanımlarız: Giriş işaretindeki değişimlere uygun olarak frekans tepkisini değiştiren süzgeçlere uyarlanabilir süzgeç adı verilir. Nitekim bu yapıda,

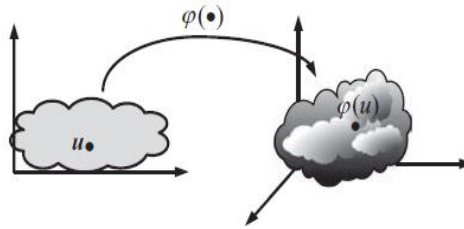
- $x(n)$: Giriş işareti
- $y(n)$: Çıkış işareti
- $d(n)$: Referans işareti
- $e(n)$: Hata işareti

Uyarlanabilir süzgeç, ayarlanabilir bir süzgeç ve uyarlama algoritması olmak üzere iki ana kısımdan oluşur. Ayarlanabilir süzgeçler, katsayılarının değiştirilerek frekans yanıtının değiştirilebildiği süzgeçlerdir. Süzgeç katsayılarının değiştirilmesi uyarlama algoritması tarafından yapılır. Uyarlanabilir süzgeç çıkışı $y(n)$, referans işaret $d(n)$ ' den çıkartılarak hata işareti elde edilir. Uyarlama algoritmasının görevi hata işareti $e(n)$ ' i minimum yapacak şekilde süzgeç katsayılarını değiştirmektir. İdealde hata sıfır olur.

A. Doğuran Koçanlı Hilbert Uzayında Uyarlanabilir Süzgeçleme

Koçan yöntemi güçlü bir parametrik olmayan modelleme aracıdır. Yöntem kısaca şöyle izah edilebilir: Giriş verisi bir doğuran koçan aracılığı ile yüksek boyutlu bir öznelik uzayına taşınır. Bu işlem gerçekleştirildikten sonra, taşınmış veri üzerine uygun doğrusal yöntemler uygulanır. Uygulanacak algoritma iç çarpımlar şeklinde formülize edilebiliyor ise yüksek boyutlu öznelik uzayında, doğrusal olmayan, işlemler yapmaya gerek kalmaz, işlemler doğrusal olarak alçak boyutlu uzayda gerçekleştirilir. Bu olguya koçan hilesi adı verilmektedir.

Yüksek boyutlu öznelik uzayında işlem yapılmaması bilgi sayımsal maliyeti düşürmekle kalmaz, bu uzayda işlem yapmanın belirtilen sakıncalarından da kurtulmayı sağlar. Boyut yükseldikçe bilgi sayımsal karmaşıklık çok fazla artmaktadır. Boyut yükseldikçe genelleştirme performansı düşmektedir ve bu da aşırı uyum riskine yol açmaktadır.



Şekil 4. Girdi uzayından öznelik uzayına yapılan haritalama

Sayılan bu avantajlar göz önünde bulundurularak bundan sonraki aşamada en temel uyarlanabilir süzgeçler olan en küçük ortalama kareler ve yinelemeli en küçük kareler algoritmaları doğuran koçanlı Hilbert uzayında ifade edilecektir.

B. Koçan En Küçük Ortalama Kareler Algoritması

Bir önceki bölümde bahsedilen koçan hilesi ile geleneksel en küçük ortalama kareler algoritmasının bir araya getirilmesi, doğuran koçanlı Hilbert uzayında uyarlanabilir bir süzgeç için örneklemeden örnekleme güncelleme gibi ilginç bir özellik ortaya koymaktadır ve bu da koçan en küçük ortalama kareler adını almaktadır.

En küçük ortalama kareler algoritması, maliyet fonksiyonunun, eğim vektörünün (gradyan vektörü) anlık kestirimini kullanan en dik azalış algoritmasının bir versiyonudur. Eğimin kestirimi, tapa giriş ve hata işaretinin örnek değerlerini temel alır. Algoritma süzgeçteki her katsayı üzerinden tekrarlanır ve yaklaşık eğim doğrultusunda ilerler.

Başlangıç

$w(0) = 0$, seç η

Hesap

```

while { $u(i), d(i)$ } ise do
   $e(i) = d(i) - w^T(i-1)u(i)$ 
   $w(i) = w(i-1) + \eta e(i)u(i)$ 
end while

```

Tablo 1. En küçük ortalama kareler algoritması

Süzgeçteki ağırlık değerleri zamanla değişebilmektedir. İşaret karakteristiğinde herhangi bir değişimin olduğunda süzgecin ağırlık değerleri güncellenerek süzgeç çıkışının referans işareti izlemesi sağlanabilir. En küçük ortalama kareler algoritması ağırlık değerlerini uyarlayarak ortalama kare hatayı minimize eder. Algoritma genel kod yazımı halinde Tablo 1’de gösterilmiştir.

Veri kümesinin, $u(i)$, öznitelik uzayına $\varphi(u(i))$ olarak haritalanabilmesi için, en küçük ortalama kareler algoritmasının iç çarpım özelliğinden yararlanılmaktadır. Koçan en küçük ortalama kareler algoritması Tablo 2’de verildiği gibi ifade edilebilir.

```

başlangıç
ađım boyu  $\eta$  ve koçan  $\kappa$  seç
 $a_1(1) = \eta d(1), C(1) = \{u(1)\}, f_1 = a_1(1)\kappa(u(1), \cdot)$ 

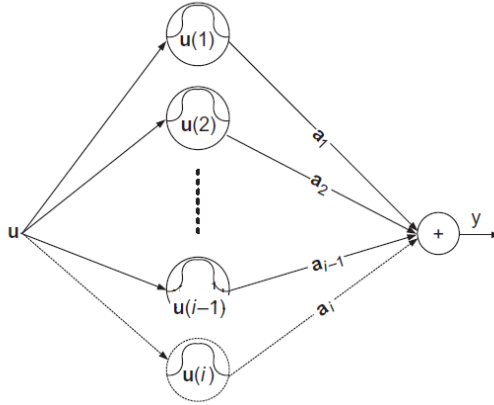
hesap

while  $\{u(i), d(i)\}$  ise do
  % çıktışı hesapla
   $f_{i-1}(u(i)) = \sum_{j=1}^{i-1} a_j(i-1)\kappa(u(i), u(j))$ 
  % hatayı hesapla
   $e(i) = d(i) - f_{i-1}(u(i))$ 
  % yeni merkezi kaydet
   $C(i) = \{C(i-1), u(i)\}$ 
  % katsayıyı hesapla ve kaydet
   $a_i(i) = \eta e(i)$ 
end while

```

Tablo 2. Koçan en küçük ortalama kareler algoritması

Görüleceği üzere, koçan en küçük ortalama kareler algoritmasında, $u(i)$ merkezli ve $\eta e(i)$ katsayılı her yeni eğitim verisi girişine karşılık yeni bir koçan birimi oluşturmaktadır ve bu özellik Şekil 5’te gösterilmiştir. Eğitim süreci boyunca, katsayı ve merkezlerin kaydedilmesi gerekmektedir. Bu durumda i anındaki katsayı vektörünü $a(i)$ ile ve bunlara karşılık gelen merkezleri de $C(i)$ olarak gösterirsek, i anı için koçan en küçük ortalama kareler algoritması için gerekli güncellemeler gerektiği şekilde belirtilebilir.



Şekil 5. Koçan en küçük ortalama kareler algoritmasında her yeni eğitim verisi girişine karşılık yeni bir koçan birimi oluşumu

C. Koçan Yinelemeli En Küçük Kareler Algoritması

En küçük ortalama kareler algoritmasında asıl amaç kestirim hatasının ortalama karesini minimize etmektir. Yinelemeli en küçük kareler algoritmasında ise herhangi bir zamanda, ağırlık değerleri hesaplanır ve maliyet fonksiyonunun elde edilen bu ağırlık değerleri yardımıyla minimum olması sağlanır. Yinelemeli en küçük kareler algoritması giriş verisi içerisindeki bilgiyi kullanır. Bundan dolayı yakınsama hızı en küçük ortalama kareler algoritmasına göre daha hızlıdır. Karmaşık hesaplamalarda bu hız performansındaki artış daha belirgin hale gelmektedir. Algoritma genel kod yazımı halinde Tablo 3'te gösterilmiştir.

Başlangıç

$$\mathbf{w}(0) = 0, \mathbf{P}(0)$$

Hesap

İterlet $i \geq 1$

$$r(i) = 1 + \mathbf{u}(i)^T \mathbf{P}(i-1) \mathbf{u}(i)$$

$$\mathbf{k}(i) = \mathbf{P}(i-1) \mathbf{u}(i) / r(i)$$

$$e(i) = d(i) - \mathbf{u}(i)^T \mathbf{w}(i-1)$$

$$\mathbf{w}(i) = \mathbf{w}(i-1) + \mathbf{k}(i) e(i)$$

$$\mathbf{P}(i) = [\mathbf{P}(i-1) - \mathbf{k}(i) \mathbf{k}(i)^T r(i)]$$

Tablo 3. Yinelemeli en küçük kareler algoritması

Yinelemeli en küçük kareler algoritmasını doğuran koçanlı Hilbert uzayında gerçekleştirilebilmek için koçan en küçük ortalama kareler algoritmasında olduğu gibi yine Mercer kuramından yararlanmak gerekmektedir. Dolayısı ile giriş verisi $u(i)$ 'yi öznitelik uzayına $\varphi(u(i))$ olarak taşımak gerekmektedir. $\varphi(u(i))$ ifadesini yine kısaca $\varphi(i)$ olarak alalım ve yinelemeli en küçük kareler algoritmasını

$\{d(1), d(2), \dots\}$, ve $\{\varphi(1), \varphi(2), \dots\}$ örnek dizisi üzerinden kurmaya başlayalım. Her bir iterasyonda, $\omega(i)$ ağırlık vektörü yinelemeli olarak çözümlenmelidir ve bu ağırlık vektörü aşağıda verilen maliyet fonksiyonunu minimize etmek zorundadır.

$$\min_{\omega} \sum_{j=1}^l |d(j) - \omega^T \varphi(j)|^2 + \lambda \|\omega\|^2$$

Doğuran koçanlı Hilbert uzayı yüksek boyutlu bir uzay olduğundan dolayı, yinelemeli en küçük kareler algoritmasını buraya taşıırken regülarize edilmiş versiyonunun düşünülmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, koçan yinelemeli en küçük kareler algoritması ile her bir iterasyonda genişleyen bir radyal taban fonksiyonlu ağ meydana gelmektedir. O halde öğrenme sürecinin koçan en küçük ortalama kareler algoritmasında olduğu gibi her iterasyonda $u(i)$ merkezli $r(i)$ - $1e(i)$ katsayılı yeni bir birim oluşturulmaktadır. Koçan en küçük ortalama kareler algoritmasından farklı olarak ise burada, tüm geçmiş katsayılar $-z(i)$ $r(i)$ - $1e(i)$ ile güncellenmektedir,

nitekim koçan en küçük ortalama kareler algoritmasında geçmiş katsayıların güncellenmesi olgusu mevcut değildir. Koçan yinelemeli en küçük kareler algoritması özetlenecek olursa Tablo 4 elde edilmiş olur.

Başlangıç

$$\mathbf{Q}(1) = (\lambda + \kappa(\mathbf{u}(1), \mathbf{u}(1)))^{-1}, \mathbf{a}(1) = \mathbf{Q}(1)d(1)$$

Hesap

İlerlet $i > 1$:

$$\begin{aligned} \mathbf{h}(i) &= [\kappa(\mathbf{u}(i), \mathbf{u}(1)), \dots, \kappa(\mathbf{u}(i), \mathbf{u}(i-1))]^T \\ \mathbf{z}(i) &= \mathbf{Q}(i-1)\mathbf{h}(i) \\ r(i) &= \lambda + \kappa(\mathbf{u}(i), \mathbf{u}(i)) - \mathbf{z}(i)^T \mathbf{h}(i) \\ \mathbf{Q}(i) &= r(i)^{-1} \begin{bmatrix} \mathbf{Q}(i-1)r(i) + \mathbf{z}(i)\mathbf{z}(i)^T & -\mathbf{z}(i) \\ -\mathbf{z}(i)^T & 1 \end{bmatrix} \\ e(i) &= d(i) - \mathbf{h}(i)^T \mathbf{a}(i-1) \\ \mathbf{a}(i) &= \begin{bmatrix} \mathbf{a}(i-1) - \mathbf{z}(i)r(i)^{-1}e(i) \\ r(i)^{-1}e(i) \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Tablo 4. Koçan yinelemeli en küçük kareler algoritması

III. BENZETİM UYGULAMALARI

Bu bölümde, önceki kısımlarda anlatılan ve en yaygın kullanılan doğrusal süzgeçler olan ortalama en küçük kareler ve yinelenen en küçük kareler algoritmalarının doğrusal olmayan versiyonları için bilgisayar benzetimleri yapılmıştır. Bu süzgeçlerin doğrusal olmayan karşılıkları doğuran koçanlı Hilbert uzayında, koçan hilesi yöntemi vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu algoritmaları kullanarak, örnek uygulamada, bir zaman serisi olan bilginin bir kanal üzerinden iletilmesi ve iletimin ardından kanal denkleştirme işlemi uygulanarak, yeniden elde edilmesi yani tahmini hedeflenmiştir. Bu doğrultuda uygulama ve benzetim çalışmaları Matlab ortamında gerçekleştirilmiştir.

Bu yöntemlerin sınındığı benzetimler için iki farklı zaman serisi kullanılmıştır. Bu zaman serileri belirlenirken, haberleşme işaretlerinde görülen; düzensizlik, geniş bantlılık, aperyodiklik ve uzun zaman aralıkları için tahmin edilemezlik gibi özellikleri yansıttığı için kaotik zaman serilerine başvurulmuştur. Her ikisi

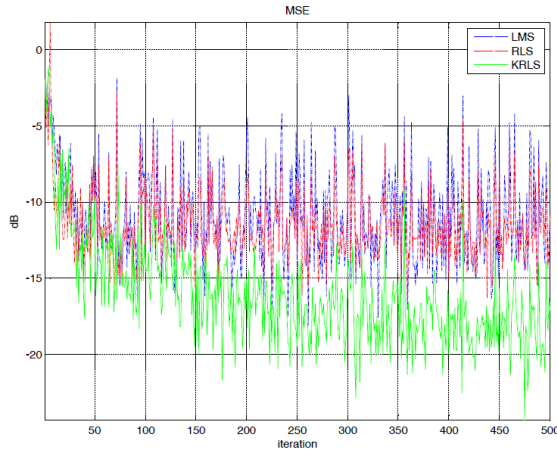
de kaotik özellik gösteren dinamik sistemlerden elde edilen bu zaman serileri Mackey-Glass ve Lorenz sistemleridir.

Süzgeç çıkışında elde edilebilmesi istenen bu zaman serileri ile süzgeç çıkışı karşılaştırılmış ve bu karşılaştırma da ortalama kare hata olarak belirtilmiştir. Ortalama hatanın karesi, istatistiksel açıdan bakıldığında varyans ve standart sapma parametrelerine bağlı olarak elde edildiğinden tahminlerin kıyaslanmasında geçerli bir tekniktir. Ayrıca kare hatanın toplam değeri de, diğer bir başarıml ölçütü olarak her bir uygulama için hesaplanmıştır. Sonuç olarak hata parametresinin sıfıra yaklaşması tahminin başarımını ortaya koymaktadır.

Süzgeç	Toplam Kare Hata (Lorenz serisi)	Toplam Kare Hata (Mackey-Glass serisi)
EKOK (LMS)	972.4862	27.1431
KEKOK (KLMS)	99.9426	11.2618
YEKK (RLS)	31.0842	10.0082
KYEKK (KRLS)	0.0966	0.1454

Tablo 5. Hata karşılaştırması

Zaman serileri üzerinden görülen ortalama karesel hataların yanı sıra, karşılaştırma amacı ile toplam kare hatalar da hesaplanmış ve Tablo 5'te verilen karşılaştırma tablosu oluşturulmuştur. Buna göre sıfıra yakınlık başarı ölçütüdür; dolayısı ile en başarılı sonuç koçan yinelenen en küçük kareler algoritması ile elde edilmiştir.



Şekil 6. Rayleigh kanal modelinde dB cinsinden ortalama karesel hatalar üzerinden performans karşılaştırması

Buna göre, koçan uyarlanabilir süzgeçler doğrusal karşılıklarına göre çok daha iyi performans sergilemekte, doğrusal süzgeçlerde nasıl yinelenen en küçük kareler algoritması en küçük ortalama kareler algoritmasından daha başarılı performans gösteriyor ise doğrusal olmayan koçan uyarlanabilir süzgeçlerde de koçan yinelenen en küçük kareler algoritması koçan en küçük ortalama kareler algoritmasından daha başarılı performans göstermektedir.

Bunun yanı sıra, haberleşme kanalları göz önüne alındığında, uygun bir model seçerken, verici ile alıcının birbirini görmediği durumlar, dolayısı ile alınan işaretin genlik ve fazında büyük değişimlerin meydana gelebileceği durumlar öngörülmüştür. Bu tür durumlarda alınan işaretin genlik ve fazındaki değişimler Rayleigh olasılık dağılım fonksiyonu ile modellenebilmektedir.

$$P_{Rayleigh}(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & 0 \leq r \leq \infty \\ 0 & r < 0, \end{cases}$$

Bu nedenle, model olarak bir Rayleigh kanal modeli kullanılarak geleneksel uyarlanabilir kanal denkleştirme algoritmalarını bu çalışmada önerilen ve en iyi

sonuç verdiği düşünölen, koçan uyarlanabilir denkleştirici (koçan yinelenen en küçük kareler algoritması) ile karşılaştırmak amacı ile test edilerek, desibel cinsinden performans sonuçları ortalama ve standart sapma olarak belirtilmiştir.

	EKOK (LMS) ort.± std sapma (dBort.kare hata)	YEKK (RLS) ort.± std sapma (dBort.kare hata)	KYEKK (KRLS) ort.± std sapma (dBort.kare hata)
Deney 1	-11.763±3.0606	-11.8272±1.8903	-17.9969±2.0688
Deney 2	-12.9455±3.1145	-13.295±2.0884	-19.5618±2.3944
Deney 3	-11.012±2.7123	-11.4986±1.6779	-17.2634±2.1297
Deney 4	-9.7851±2.6688	-10.2905±1.5668	-16.0566±1.7728

Tablo 6. Performans karşılaştırma Tablosu

Bu uygulamayı genişleterek, haberleşme kanalları ön plana alınmış ve kanal modeli olarak bir Rayleigh kanal modeli kullanılarak geleneksel uyarlanabilir kanal denkleştirme algoritmalarını bu çalışmada önerilen ve en iyi sonuç verdiği gözlemlenen, koçan uyarlanabilir denkleştirici algoritması (koçan yinelenen en küçük kareler algoritması) ile karşılaştırmak amacı ile tekrar bir teste tabi tutularak desibel cinsinden performans sonuçlarını ortalama ve standart sapma olarak Tablo 6'da belirtilmiş ve Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu testte, farklı rasgele değerler ile kanal tahmin edilmeye çalışılmış, bu farklı rasgele değerlerden oluşan 4 farklı deney sonucu alınmıştır. Hatanın desibel cinsinden hesaplanmasının amacı farklı tahmin algoritmalarının hatalarını rakamsal olarak karşılaştırılabilir hale getirmektir, dolayısıyla dB değeri düştükçe başarımla performans yükselmektedir. Şekil 6'dan da net olarak görülebildiği gibi

doğrusal algoritmalar ile karşılaştırıldığında koçan yinelenen en küçük kareler algoritmasında hata oldukça düşük seviyelere inmektedir. Bununla birlikte, Tablo 6'daki sonuçlardan yararlanarak da koçan en küçük yinelemeli kareler algoritmasının farklı rasgele değerler ile çalıştırılan 4 farklı deney sonucunda da oldukça düşük hata değerleri verdiği görülebilmektedir.

IV. SONUÇ

Doğrusal olmayan uyarlanabilir süzgeçleme konusu henüz doğrusal uyarlanabilir süzgeçleme gibi bir doyuma ulaşmamış, gelişimini büyük bir ivmeyle sürdüren ve üzerinde birçok çalışma gerçekleştirilen bir konudur. Bu perspektiften bakılacak olursa, son yıllarda öne çıkan koçan tabanlı yöntemler, hem doğrusal olmayan yöntemler oluşu ve hem de sağlam matematiksel temellere dayanıyor oluşu gibi nedenlerden ötürü bu çalışmada ele alınan yöntem olmuştur. Nitekim, bu nedenlerden ötürü de son zamanlarda yapılan birçok araştırma ve uygulama için oldukça cezbedici olmuştur.

Bu çalışmada, kanal denkleştirme problemi özelinde, doğuran koçanlı Hilbert uzayında uyarlanabilir süzgeçleme algoritmaları incelenmiştir. Kanal denkleştirme problemi, bir haberleşme sisteminde alıcıda elde edilen işaretin kanalın tersinden tekrar geçirilmesi, dolayısı ile de alıcıda kanal bilgisinin ya da, doğrudan tersinin elde edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, haberleşme kanalının zamanla değişmesi durumunda, kanal denkleştiricinin kanaldaki değişimleri takip edebilmesi gerekmektedir.

Doğuran koçanlı Hilbert uzayı, koçan hilesi kullanmak suretiyle iç çarpımlar olarak ifade edilen doğrusal uyarlanabilir süzgeç algoritmalarının doğrusal olmayan karşılıklarının elde edilebilmesi için bir yöntem ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, en iyi bilinen uyarlanabilir süzgeçleme yöntemleri olan en küçük ortalama kareler ve yinelenen en küçük kareler algoritmalarının koçan uygulamaları sunulmuş ve bir Rayleigh kanalında denkleştirme probleminin çözümü için performanslar değerlendirilmiştir. Elde edilen performans sonuçları, koçan tabanlı uyarlanabilir süzgeçleme ile kanal denkleştirme probleminin geleneksel doğrusal uyarlanabilir süzgeçleme yöntemlerine göre çok daha iyi çözülebildiği gözlemlenmiş ve gösterilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Abel, A.,Schwarz, W., Chaos Communications Principles, Schemes and Systems Analysis, Proceedings of the IEEE, Vol. 90, No.5, 2002.
- [2] AronszajnN.,Theory of reproducing kernels . Transactions of the American Mathematical Society, 68 : 337 – 404 , 1950
- [3] Başkurt, P., Kaotik Sinyallerden Model Bilgisi Olmadan Gürültü Temizlenmesi İçin Uyarlamalı Süzgeç Algoritmalarının Performans Karşılaştırması, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2011
- [4] Birlıkbaş, S.,Adaptif Dijital Filtre Yapıları , Öğrenme Algoritmaları Ve Uygulamaları ,Yuksek Lisans Tezi, Elazığ ,Fırat Üniversitesi 2000
- [5] Burges C. J. C., A tutorial on support vector machines for pattern recognition . Data Mining and Knowledge Discovery, 2 (2): 121 – 167 , 1998
- [6] Çakar. Ö., Fonksiyonel Analize Giriş I, ErwinKreyszig'den uyarlama ders notu, Ankara Üniversitesi, 2007
- [7] Çetinel, G., Kaotik Haberleşme Sistemlerinde Gözü Kapalı Kanal Denkleştirme, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2010
- [8] Engel, S. Mannor, and R. Meir, The Kernel Recursive Least Squares Algorithm, IEEE Transactions on SignalProcessing, volume 52, no. 8, pp. 2275–2285, Aug. 2004
- [9] Feldbauer, C.,Pernkopf, F. ve Rank, E., Adaptivefilters - A tutorialforthecoursecomputationalIntelligence, SignalProcessing and Speech CommunicationLaboratory, 2010.
- [10] Farhang-Boroujeny, B.,AdaptivefiltersTheory and Application, John Wiley and Sons, Chichester, İngiltere, 1998.
- [11] Gretton A.,Introductionto RKHS, and somesimplekernelalgorithms, LectureNotes, February, 2014
- [12] Haykin S.,Adaptivefiltertheory, PrenticeHall Information and Science Series, NJ, ABD, 1996.
- [13] Liu W.,AdaptiveFiltering in ReprogucingKernelHilbertSpaces, PhDDissertation, University of Florida, 2008
- [14] Liu, W., Principe, J. C., Haykin S., Kernel Adaptive Filtering: A Comprehensive Introduction, John Wiley&Sons, 2010

- [15] Liu, W., Principe, J. C., Haykin S., Kernel Adaptive Filtering: A Comprehensive Introduction, John Wiley&Sons, 2010
- [16] Liu W., Pokharel P., Principe J., "The Kernel Least-Mean-Square Algorithm," IEEE Transactions on Signal Processing, Volume 56, Issue 2, 2008
- [17] Mahmut Y., Kablosuz İletişim Sistemlerinde Zaman-Frekans Yaklaşımı ile Kanal Modelleme ve Kestirimi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Temmuz, 2011
- [18] Özer, Ş., Zorlu H., Doğrusal Olmayan PAR Sistemler Kullanılarak Kaotik Zaman Serisi Kestirimi, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 27, No 2, 323-331, 2012
- [19] Özşahin, A. T., OFDM Sistemlerinde Yapay Sinir Ağları Kullanarak Kanal Dengeleme, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, 2006
- [20] Pokharel P., Liu W., Principe J., "Kernel LMS," International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Honolulu, Hawaii, 2007
- [21] Pokharel P., Liu W., Principe J., "Kernel Least Mean Square Algorithm with Constrained Growth," Signal Processing, Volume 89, Issue 3, March 2009
- [22] Sevim, O., Gürültü azaltmada LMS adaptif süzgeçlerin FPGA kullanarak uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
- [23] Sklar B., Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems, IEEE Communications Magazine, 90- 109, 1997
- [24] Stavroulakis, P., Chaos Applications in Telecommunications, Taylor & Francis Group, 2006.
- [25] Stüber, G. L., Principles of Mobile Communication. Kluwer Academic Publishers, 2000
- [26] Sunan, E., Uyarlanabilir Süzgeçler Ve Uygulama Alanlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Semineri. Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi, 2006
- [27] Widrow B. ve M. E. Hoff. Adaptive switching circuits. IRE WESCON Convention Record, 4:96-104, 1960.