

# ADAPTİF DİZİ İŞARET İŞLEME SİSTEMLERİNİN GÜVENİLİRLİK AÇISINDAN BAŞARIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Halil İ. ŞAHİN<sup>1</sup>, Haydar KAYA<sup>2</sup>, İsbendiyar M. ALİEV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, İstatistik ve Bilgisayar Bilimleri Bölümü

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü  
61080 Trabzon, TÜRKİYE

e-posta: halil@eedec.ktu.edu.tr hkaya@ktu.edu.tr

aliev@ktu.edu.tr

*Anahtar Kelimeler: Adaptif Dizi İşaret İşleme, Başarım, Güvenilirlik, CMA Algoritması*

## ÖZET

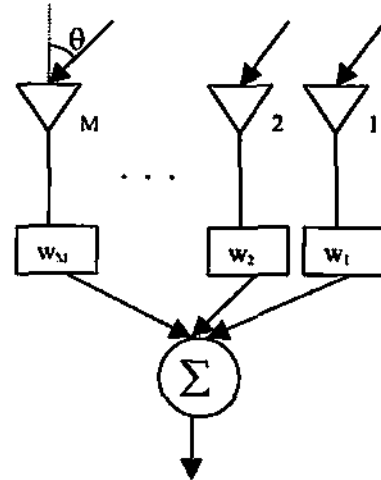
Adaptif dizi işaret işleme sistemlerinin hızla artan kullanımı, bu sistemlerin tasarımı üzerine yapılan çalışmaların önemini artırmaktadır. Bütün sistemlerde olduğu gibi adaptif dizi işaret işleme sistemlerinin tasarımında da yüksek başarıma sahip bir sistemin elde edilmesi amaçlanır. Bir sistemin başarımının çok sayıda faktöre bağlı olduğu bilinmektedir. Adaptif dizi işaret işleme sistemlerinin başarımı ise, sistemde kullanılan algoritma ve sistemi oluşturan dizi elemanlarının güvenilirliğine bağlıdır. Günümüzde adaptif dizi işaret işleme sistemlerinde farklı algoritmalar kullanılmaktadır. Bu çalışmada, CMA algoritması kullanan adaptif dizi işaret işleme sisteminde dizi elemanlarının güvenilir olduğu ve olmadığı durumda, istenen işaretin diziyeye gelme yönünün belirlenmesi ve istenen işareti geri elde etme başarımı, gerçek haberleşme ortamı(yansıyan, girişim, gürültü vs. işaretlerini içeren) için incelenmiştir. Ayrıca, CMA algoritması kullanan adaptif dizi işaret işleme sistemlerinin güvenilirlik parametreleri bulunmuştur.

## 1.GİRİŞ

Adaptif işaret işleme sistem ve algoritmaları, hücresel haberleşme sistemlerinde sistemin kapasitesini artırmak ve yüksek kaliteli haberleşme sağlayabilmek için sıkça kullanılmaktadır.

Bir adaptif dizi işaret işleme sisteminin ağ yapısı şekil 1'deki gibi verilebilir. Şekil 1'deki gibi bir sisteme gelen işaretlerin geliş yönünü, istenmeyen işaretlerle bozulmuş istenen işareti elde etmek için pek çok adaptif dizi işaret işleme algoritmaları geliştirilmiştir [1,2]. Bu algoritmalar kendi aralarında kör (blind) ve kör olmayan (non-blind) algoritmalar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Kör algoritmalar, sistemin istenen işareti geri elde etmesi için herhangi bir öğrenme işaretine gerek duymayan algoritmalarlardır. Kör olmayan algoritmalar ise bir öğrenme işareti kullanan algoritmalarlardır. Bu iki grup arasındaki en önemli fark, kör algoritmalarda öğrenme işaretinin gönderilmemesi ve senkronizasyona gerek duyulmamasıdır.

En çok kullanılan kör algoritmalar, MDVR(Minimum Variance Distortionless Response), CMA (Constant Modulus Algorithm), SCORE (Spectral Self-Coherence Restoral), DDS (Decision Directed-Based) algoritmaları, öğrenme sinyali olan algoritmalara ise, LMS (Least-Mean Squares), RLS (Recursive Least-Squares), SMI (Single Matrix Inversion) algoritmalarıdır [1,2]. Bütün sistemlerin olduğu gibi adaptif işaret işleme sistemlerinin de yüksek başarımlı ve güvenilirlikli bir tasarımı istenir. Günümüzde adaptif işaret işleme sistemlerinde kullanılan algoritmalarda sistemi oluşturan dizi elemanlarının mutlak güvenilirliğe sahip olduğu kabul edilir. Ancak bütün sistemlerde olduğu gibi adaptif sistemlerde de zamanla sistemi oluşturan dizi elemanları bozulabilir. Bu durumda sistemde kullanılan algoritmalar nasıl çalışır, dizi elemanlarının bozulması sistemin başarımını nasıl etkiler gibi soruların yanıtlanması çok önemlidir.



Şekil 1. Adaptif dizi işaret işleme sistemi

Bu çalışmada, CMA algoritması kullanan adaptif dizi işaret işleme sisteminde dizi elemanlarının güvenilir olduğu ve olmadığı durumda, istenen işaretin diziyeye gelme yönünün belirlenmesi ve istenen işareti geri elde etme başarımı, gerçek

haberleşme ortamı(yansıyan, girişim, gürültü vs işaretlerini içeren) için incelenmiş ve sistemin güvenilirlik parametreleri bulunmuştur.

Bu çalışmada aşağıdaki yol izlenmiştir:

- İncelenen sistemin dizi elemanlarının tümünün çalıştığı varsayılarak CMA algoritması ile antenin ışına örüntüsü elde edilmiştir.
- Dizinin sıra ile herhangi bir, herhangi iki ve herhangi üç elemanının bozulması durumunda antenin ışına örüntüsü bulunmuştur.
- Işıma örüntüleri karşılaştırılmıştır.
- Karşılaştırma sonucu elde edilen sonuçlara dayanarak CMA algoritmasını kullanan adaptif dizi sisteminin güvenilirlik fonksiyonu bulunmuştur.

## 2. ADAPTİF İŞARET İŞLEME SİSTEMİNİN BAŞARIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde CMA algoritmasını kullanan adaptif işaret işleme sisteminin başarımı, dizi elemanlarının güvenilir ve güvenilir olmadığı durumda incelenecektir.

CMA algoritması, pek çok haberleşme sistemi için işaretin sabit genlikli olması özelliğinden yola çıkarak türetilmiştir. Adaptif dizi sistemi, kaybolan bu özelliği yeniden elde etmeye yönelik işlemler yapar ve çıkış işareti  $y(t)$ 'yi giriş işaretinin yaklaşık bir biçimi olarak geri elde eder. PSK, FSK ve analog FM işaretlerinin sabit genlikleri vardır ve bu işaret kanaldan ilerirken bozulur. CMA algoritması dizinin çıkışındaki zarfın değişimini minimize etmek için ağırlık vektörünü değiştirir. Algoritma yakınsadıktan sonra dizinin ışına örüntüsünde istenen işaret yönünde maksimuma sahip ana kulak, girişim yönlerinde ise minimuma sahip kulaklar veya sıfırlar oluşur.

CMA algoritması, çıkış işareti

$$y(k) = \underline{w}^H \underline{x}(k) = \sum_{i=1}^M w_i^* x_i(k) \quad (1)$$

olmak üzere,

$$J(k) = E \left[ |y(k)|^p - 1 \right]^q \quad (2)$$

amaç fonksiyonunu minimize etmeyi amaçlar. (1) denkleminde  $\underline{w}$  ağırlık vektörünü,  $H$  Hermitian özelliğini,  $*$  karmaşık eşleniği,  $\underline{x}$  dizi elemanlarına gelen işaretler vektörünü,  $k$  örnekleme anlarını ( $k=0,1,2,\dots$ ) gösterir. (2) denkleminin yakınsaması  $p$  ve  $q$  katsayılarının seçimine bağlıdır. Genellikle  $p=1$ ,  $q=2$  veya  $p=2$ ,  $q=2$  seçilerek amaç fonksiyonu elde edilir. Bu çalışmada  $p=1$ , ve  $q=2$  seçilmiştir. Bu durumda amaç fonksiyonu

$$J(k) = E \left[ |y(k) - 1|^2 \right] \quad (3)$$

olur. Amaç fonksiyonun gradient vektörünün  $k$ . adımdaki kestirilen değeri ise

$$\nabla(J(k)) = \underline{x}(k) \left( y(k) - \frac{y(k)}{|y(k)|} \right) \quad (4)$$

olarak bulunur.

(4) denkleminde CMA algoritması için hata fonksiyonu elde edilir. Daha sonra en uygun ağırlık katsayı vektörünün hesabı için aşağıdaki adımlar izlenir:

$$i) y(k) = \underline{w}^H(k) \underline{x}(k)$$

$$ii) e(k) = y(k) - \frac{y(k)}{|y(k)|}$$

$$iii) \underline{w}(k+1) = \underline{w}(k) - \mu \underline{x}(k) e^*(k)$$

Burada  $\mu$  bir sabittir. Dizi çıkışının genliği bir'e yaklaşacağından,  $e(t)$  hata fonksiyonu adım sayısı arttıkça sifira yaklaşacaktır.

CMA algoritmasının pek çok değişik türevi de mevcuttur. Bunlardan biri ve en çok kullanılanı da CMA-LMS algoritmasıdır. Bu algoritma şu adımlardan oluşmaktadır;

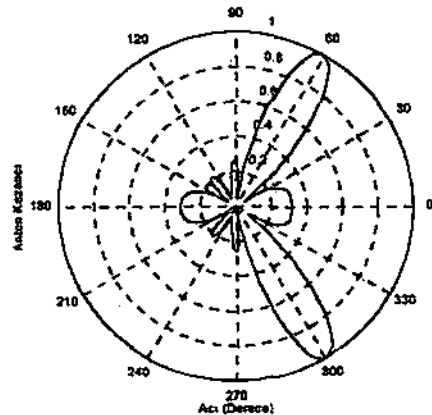
$$i) e(k) = \text{sgn}(|y(k)| - 1)$$

$$ii) y(k) = \underline{w}(k)^H \underline{x}(k)$$

$$iii) \underline{w}(k+1) = \underline{w}(k) - 2\mu y(k)^* \underline{R}_x^{-1} \underline{x}(k)$$

Burada  $\underline{R}$ , diziyen gelen işaret vektörünün kovaryans matrisini,  $\text{sgn}$  signum fonksiyonunu göstermektedir.

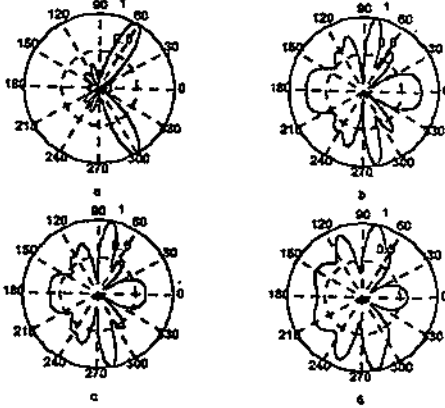
Eleman sayısı  $M=6$ , elemanlar arası mesafe ise  $d=0.5\lambda_0$  olan şekil 1'deki gibi bir diziyen  $\theta=60^\circ$  den gelen bir istenen işaret,  $\theta=35^\circ$  ve  $45^\circ$ lerden gelen iki girişim işareti için, dizi girişindeki işaret/gürültü oranı  $\text{SNR}=0.9$  dB alınarak ve dizinin tüm elemanlarının çalıştığı varsayılarak elde edilen ışına örüntüsü şekil 2'de gösterilmiştir. Dizinin  $\underline{w}$  katsayı vektörü CMA algoritmasına göre hesaplanmıştır.



Şekil 2. CMA algoritmasına göre bütün dizi elemanlar çalıştığı durumda antenin kutupsal ışına örüntüsü

Şekil 2'den de görülebileceği gibi iki adet girişim işareti ortamda gürültü olduğu halde, CMA

algoritması öğrenme işareti olmaksızın gönderilen işaretin bazı özelliklerini kullanarak istenen işarete yönelmekte ve istenen işareti geri elde edebilmektedir. Bu sonuçlar sistemin elemanlarının mutlak güvenilirliğe sahip olduğu durumlarda geçerlidir. Ancak pratikte mutlak güvenilirliğe sahip elemanlar mevcut değildir. Bu nedenle dizi elemanlarının güvenilirliğinin sistemin başarımına etkisinin bilinmesi çok önemlidir. Bu amaçla dizinin elemanları güvenilir olmadığında adaptif antenin ışına örüntüsünün nasıl olacağı ve dizi elemanlarından biri, ikisi ve üçünün çalışmadığı durumlarda sistemin başarımını incelenmiştir. Elde edilen ışına örüntüleri şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. CMA Algoritmasıyla hesaplanan ışına örüntüleri

- tüm dizi elemanları çalışıyor
- tek bir dizi elemanı bozulmuş
- iki dizi elemanı bozulmuş
- üç dizi elemanı bozulmuş

Şekil 3a'dan, adaptif dizinin bütün elemanlarının çalışması durumunda sistemin  $60^\circ$ 'den gelen işarete yönelebildiği ve bu işareti geri elde edebildiği görülmektedir. Anten elemanlarının sayısı arttıkça bu yönelme daha da keskin olmaktadır. Şekil 3a'daki gibi bir ışına örüntüsünün eksik bir yanı ise adaptif sisteme  $300^\circ$ 'den bir işaret geldiğinde de bu istenmeyen işareti süzemesidir. Şekil 3b'de ise anten elemanlarından herhangi bir tanesi çalışmadığında dizinin ışına örüntüsü görülmektedir. Burada adaptif sistem  $80^\circ$ 'den bir işaret geldiğini algılamaktadır. Oysa diziyeye işaret  $60^\circ$ 'den gelmektedir. Bu durumda adaptif sistemin gelen işareti algılayamadığı ortadadır. Benzer sonuçlar şekil 3c ve şekil 3d'den de çıkarılabilir. Şekil 3c'de ise sistem,  $81^\circ$ 'den bir işaretin geldiğini algılamaktadır. Şekil 3d'de ise sistem  $282^\circ$ 'den bir işaret geldiğini kabul ederek, bu kabule göre işlem yapmaktadır. Bu ise şekil 3b, 3c ve 3d'deki gibi hatalı bir kulağın üretilmesine neden olmaktadır.

Adaptif dizinin çalışmayan eleman sayısı arttıkça ışına örüntüsü istenenden oldukça uzaklaşmaktadır. Bu sonuç şekil 3'de elde edilen ışına örüntülerinden de görülmektedir. Bu örüntülerde ayrıca, istenmeyen yan

kulakçıklar da oluşmakta ve sistem pek çok yönden gelen girişim işaretlerini süzmemektedir.

Şekil 3'deki ışına örüntülerine ait ana kulaklar için bazı değerler Tablo 1'de verilmiştir.

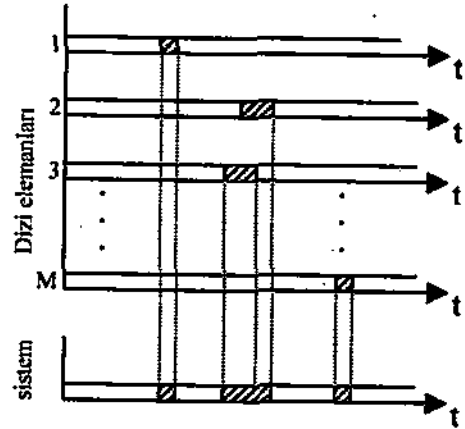
Tablo 1. Şekil 3'deki ışına örüntülerinin ana kulakları için bazı beğerler

Dizide çalışmayan eleman sayısı	Ana Kulağın		
	Demet Genişliği	Merkezi	Başlangıç Noktası
0	$20^\circ$	$61^\circ$	$50^\circ$
1	$14^\circ$	$81^\circ$	$73^\circ$
2	$15^\circ$	$80^\circ$	$72^\circ$
3	$26^\circ$	$282^\circ$	$273^\circ$

Tablo 1'den de görüldüğü gibi, istenen işarete sadece dizinin bütün elemanları çalıştığında tam yönelme olmakta, diğer durumlarda ise istenmeyen yönler elde edilmektedir.

### 3. ADAPTİF DİZİ SİSTEMİNİN GÜVENİLİRLİĞİNİN ANALİZİ

CMA algoritması kullanan adaptif sistemde, dizinin herhangi bir elemanı bozulduğunda sistem bozulur. Bu durum gözönüne alındığında sisteme, restore olunan elemanlardan oluşan seri bir sistem gibi bakılabilir. Şekil 4'de adaptif işaret işleme sisteminin çalışmasını açıklayan zaman diyagramı verilmiştir.



Şekil 4. Adaptif işaret işleme sisteminin çalışma diyagramı

Bu şekilde taralı alanlar dizi elemanlarının ve sistemin çalışmadığı durumları, taramamış alanlar ise çalıştıkları durumları gösterir. Şekilden görüldüğü gibi dizi elemanlarının her hangi birinin bozulması sistemin bozulmasına neden olmaktadır. Restore edilen elemanlardan oluşan sistemlerin temel güvenilirlik parametreleri aşağıdakilerdir [3]:

- Ortalama çalışma süresi,
- Ortalama restore (yenileme) süresi,
- Verilmiş  $t_0$  stresince sistemin çalışma olasılığı.
- Sistemin hazır bulunma fonksiyonu.

Sistemin çalışma ve restore sürelerinin dağılımları üstel dağılım ile tanımlandığında, restore edilen elemanlardan oluşan seri sistem için güvenilirlik parametreleri aşağıdaki gibi bulunur:

a) Ortalama çalışma süresi

$$T = \frac{1}{\Lambda} \quad (5)$$

Burada  $\Lambda$ , sistemin bozulma yoğunluğudur ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Lambda = \sum_{i=1}^M \lambda_i$$

Burada  $\lambda_i$ , i. dizi elemanının bozulma yoğunluğudur.

b) Ortalama restore süresi

$$\tau = \frac{1}{\Lambda} \left[ \prod_{i=1}^M \left( 1 + \frac{\lambda_i}{\mu_i} \right) - 1 \right] \quad (6)$$

Burada  $\mu_i$ , i. dizi elemanının restore yoğunluğu.

c) Verilmiş  $t_0$  stresince sistemin çalışma olasılığı

$$P(t_0) = e^{-A t_0} \quad (7)$$

d) Sistemin hazır bulunma fonksiyonu

$$A = \prod_{i=1}^M \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i} \quad (8)$$

İkinci bölümde ışıma örüntüsü çıkarılan dizinin güvenilirlik parametreleri hesaplanabilir. Bunun için, tüm dizi elemanlarının aynı ve bu elemanların çalışma ve restore sürelerinin dağılımının  $\lambda = 0.00011$  /saat,  $\mu = 0.4$  1/saat parametrelili üstel dağılımlar olduğu varsayılın. Bu durumda (5)-(8) denklemleri kullanılarak sistemin güvenilirlik parametreleri aşağıdaki gibi bulunur.

Ortalama Çalışma Süresi :  $T = 1667$  saat,

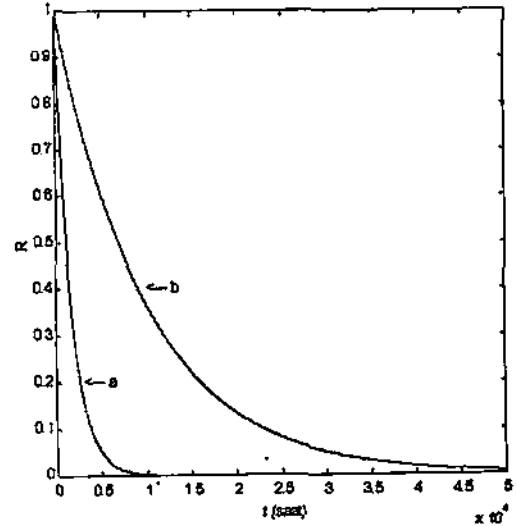
Ortalama Tamir Süresi :  $\tau = 2.5016$  saat,

$t_0 = 100$  saat sonunda sistemin çalışma olasılığı :

$P(t_0) = 0.9418$ ,

Sistemin hazır bulunma fonksiyonu :  $A = 0.9985$

Yukarıdaki değerleri kullanan adaptif sistemin güvenilirlik fonksiyonunun zamanla değişimi şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Güvenilirlik fonksiyonlarının zamanla değişimi

- a) Adaptif sistemin güvenilirlik fonksiyonunun değişimi  
b) Adaptif sistemde tek bir dizi elemanın güvenilirlik fonksiyonunun değişimi

#### 4. SONUÇ

Elde edilmiş sonuçlar CMA algoritması kullanılan adaptif dizi işaret işleme sistemlerinin başarımının sistemi oluşturan dizi elemanlarının güvenilirliğine sıkça bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Sistemi oluşturan dizi elemanlardan her hangi birinin bozulması sistemin başarımını doğrudan etkilediği görülmüştür. Bu nedenle CMA algoritması kullanılan adaptif dizi işaret işleme sistemlerinde sistemi oluşturan dizi elemanları yüksek güvenilirliğe sahip olmalıdır.

İleride bu konunun devamı olarak diğer algoritmalar kullanılan adaptif dizi işaret işleme sistemleri için de bu araştırmaların yapılması planlanmaktadır.

#### KAYNAKLAR

- [1] P. Petrus, "Novel Adaptive Array Algorithms And Impact On Cellular System Capacity", Ph.D Dissert., Virginia, 1997
- [2] H. Nguyen, "The Use of Adaptive Arrays For Wireless Base Station", Mountain Technology Inc. Miami, FL 33178, 1998
- [3] I.A. Ushakov *Handbook of Reliability Engineering*, J. Wiley & Sons, New York, 1994