AKILLI ANTEN SİSTEMLERİNDE İŞARET GELİŞ AÇISI KESTİRİM YÖNTEMLERİ

İdris HACIVELİOĞLU[1] **Hasan DİNÇER[2]**

[1,2] Kocaeli Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
İzmit / Kocaeli

[1]idrishvo@kou.edu.tr [2] hdincer@kou.edu.tr

Anahtar sözcükler:Akıllı anten, İşaret Geliş Açısı hesaplama (DOA), Işınım şekillendirme, MUSIC, ESPRIT

ÖZET

Gezgin Haberleşme sistemlerinde, gün geçtikçe artan kullanıcı sayısı, kapasite ihtiyacını da artırmaktadır. İhtiyaç duyulan bu kapasite artışına elde bulunan kısıtlı imkanlarla cevap verebilmek için yeni teknolojiler geliştirilmesi zorunluluğu doğmuştur. Bu bildiride, bu ihtiyaçlara cevap verebilmek amacıyla ortaya konulan akıllı anten sisteminin genel mimarisi ve gezgin haberleşme sistemlerine katkıları üzerinde durulduktan sonra, akıllı anten sistemlerinde darband ışınım şekillendirici yapısı anlatılacaktır. Işınım şekillendirme tekniklerivle beraber kullanılan, İşaret Geliş Açısı (DOA – Direction of Arrival) Hesaplama yöntemlerinden; Geleneksel Işınım Şekillendirici, MUSIC ve ESPRIT teknikleri ile yapılmış olan simülasyon sonuçları verilerek, bu yöntemler üzerinde performans karşılaştırması yapılacaktır.

1. GİRİŞ

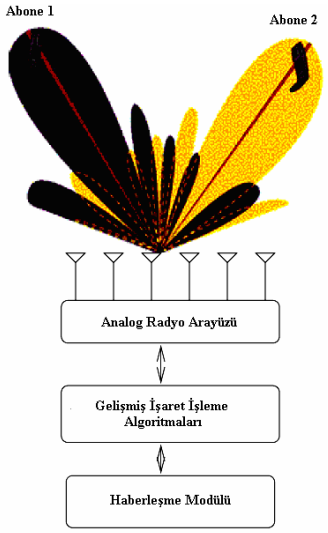
Gezgin haberleşme sistemleri, herhangi bir yerden herhangi bir zamanda herhangi bir kişiye kolayca ulaşılabilme ihtiyacına etkin ve düşük maliyetli çözüm sunabildiği için artık hayatımızın vazgeçilmezleri arasında yerini almıştır. Hücresel gezgin haberleşme sisteminin bütün dünyada gösterdiği bu hızlı gelişme saysesinde, sistemi kullanan abone sayısı özellikle son yıllarda milyarlar mertebesine ulaşmıştır. Kullanıcı sayısındaki bu büyük artış kapasite ihtiyacı da artmaktadır. İhtiyaç duyulan bu kapasite artışına elde bulunan kısıtlı imkanlarla cevap verebilmek için yeni teknolojiler geliştirilmesi zorunluluğu doğmuştur. [1]

Gezgin bir haberleşme siteminde kapasite ve servis kalitesini sınırlayan şartlar, çoklu yol bayılması, gecikme yayılması ve komşu ve aynı kanal frekans girişimi olmak üzere üç ana başlık altında tanımlanabilir.

Akıllı antenler sisteme uygun şekilde uygulandığı zaman, gezgin kullanıcılara atanan anten ışınımlarının diğer ışınımlarla giriminin engellenmesi ve gezgin kullanıcıyı izlemesi nedeniyle, girişim bozulması azalmakta, bu sayede de kapsama alanı, kanal kapasitesi ve performansı şu anda kullanılan yönteme göre önemli ölçüde artmaktadır. Bu nedenler, akıllı antenler önceki parağrafta bahsedilen gecikme yayılması, çokluyol bayılmasının, komşu kanal girişiminin, sistem karmaşıklığının ve bit hata oranının (BER) azalmasını sağlamaktadır.

2. AKILLI ANTEN SİSTEMİ

Akıllı Anten sisteminin çalışma ilkesini anlamak için aşağıda verilen benzetim faydalı olacaktır. Bir insan, gözlerini kapattığında etrafında konuşarak hareket eden bir başkasının konumunu, hareket eden kişinin sesi sayesinde belirleyebilir. Bu konum tespiti için insan beyini, iki kulağına ulaşan ses işaretinin birbirine göre gecikmesini ve alınan ses seviyesini kullanarak sesin hangi yönden geldiğine karar verir. Bu sayede insan beyini, istediği yönde gelen sesi diğerlerinden ayırt ederek, gürültülü bir ortamda istenilen sesin dinlenebilmesine olanak sağlamaktadır.



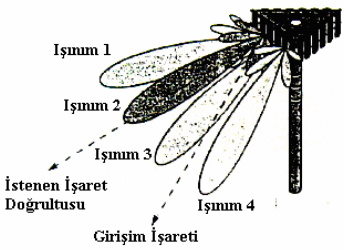
Şekil 1: Genel Akıllı Anten Yapısı [2]

Akıllı anten sistemlerinde de, insan kulaklarının yerine dizi antenleri kullanılarak aynı işlev yerine getirilmektedir.

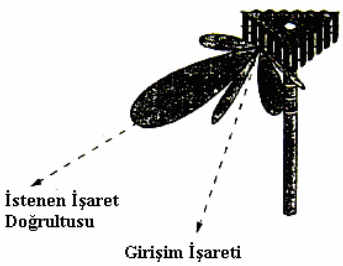
Akıllı anten sisteminin en genel blok şeması Şekil 1'de verilmiştir.

2.1. Akıllı Anten Çeşitleri

Akıllı anten sistemleri temel olarak, anahtarlanmış ışınım (switched-beam) ve uyarlamalı dizi sistemleri (adaptive-array systems) olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Her iki sistem de kullanıcı yönündeki kazancı artırmaya çalışsa da sadece uyarlamalı sistem, aynı anda tanıma, izleme ve girişim azaltma işlemlerini yaparken en iyi dizi kazancını sağlar. Böylece uyarlamalı sistem, aktif girişim engelleme, güçlü performans ve esneklik özellikleriyle daha pasif olan anahtarlamalı dizi yaklaşımına göre daha üstün özelliklere sahiptir. Akıllı antenler istenilen antenin ışınımını ve örüntüsünü düzenleyerek haberleşme imkanına sahiptir. Asıl ışınım, yüksek kazançla kullanıcıya doğru yönlendirilir ve diğer yönlerdeki ışınımları da çok zayıflatılır. [4].



Şekil 2: Anahtarlamalı anten dizi yapısı [4]



Şekil 3: Uyarlamalı Anten dizi yapısı [4]

Şekil 2 ve 3'de, anahtarlamalı ve uyarlamalı sistemler için 1 tane istenen işaret, 2 tane de girişim işaretini içeren bir ortamdaki ışınım örüntülerini göstermektedir. Her iki sistem de ana kulakçıklar istenen işarete yönlendirmiş olsa bile uyarlamalı sistemin çok daha doğru bir yönlendirme başardığı şekilden görülmektedir. Benzer şekilde, girişim işaretlerinde de uyarlamalı sistemin çok daha yüksek bir girişim bastırma başarımı gösterdiği açıkça görülebilmektedir.

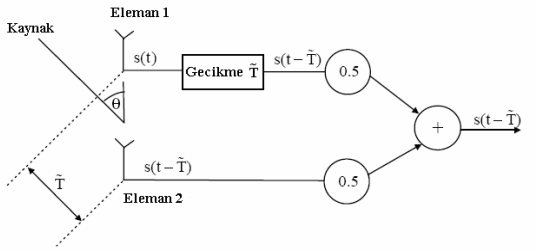
3. İŞARET GELİŞ AÇISI HESAPLANMASI (DOA – Direction of Arrival Estimation)

Bu bölümde, bir anten dizisi üzerinden alınan işaretlerin varış açısını (DOA) bulan yöntemler üzerinde durulacaktır. Bu yöntemler, gezgin bir abonenin hangi yönde olduğunu belirleyebilmektedir.

Bu bölümde, DOA hesaplanması için üç yöntem ele alınacaktır. Bunlar, geleneksel yöntemlerden Geciktir ve Topla (Delay-and-Sum) yöntemi ve alt uzay yötemlerinden MUSIC (multiple signal classification) ve ESPRIT (Estimation of signal parameters via rotational invariance techniques) yöntemleridir.

3.1. Geleneksel Işınım Şekillendirici (Delay-and-Sum Beamformer)

Bu yöntemle dizi kulakçıkları elektronik olarak yönlendirilebilmektedir ve görme yönünü bulmak için de, dizi çıkışından alınan toplam işaretlere ait çıkış gücü ifadesinde en büyük değerler aranmaktadır.



Şekil 4: Geleneksel Işınım Şekillendirici blok şeması

Şekil 4'de bu ışınım şekillendiriciye ait tipik model verilmiştir. Dizi çıkış işareti $y(k)$ ve dizi elemanları üzerinde alınan işaretler de $u(k)$ ile gösterilirse, dizi çıkış ifadesi,

$$y(k) = w^H u(k) \tag{1}$$

şeklinde olacaktır. Dizi çıkışındaki çıkış gücü ise,

$$\begin{aligned} P_{cbf} &= E\left[\left|y(k)\right|^2\right] = E\left[\left|w^H u(k)\right|^2\right] \\ &= w^H E\left[u(k)u(k)^H\right] w = w^H R_{uu} w \end{aligned} \tag{2}$$

şeklinde gösterilebilir. Burada R_{uu}, dizi girişine ait ilişki matrisini göstermektedir. $s(k)$, ϕ_0 yönündeki kaynağa ait işareti gösterirse, bu işarete ait çıkış gücü ifadesi,

$$\begin{aligned} P_{cbf}(\phi_0) &= E\left[\left|w^H u(k)\right|^2\right] \\ &= E\left[\left|w^H (a(\phi_0)s(k) + n(k))\right|^2\right] \\ &= \left(\left|w^H a(\phi_0)\right|^2 (\sigma_s^2 + \sigma_n^2)\right) \end{aligned} \tag{3}$$

şeklinde olacaktır. Burada $a(\phi_0)$, ϕ_0 yönündeki izleme vektörünü, $n(k)$ gürültü vektörünü,

$\sigma_n = E\left[n(k)^2\right]$ gürültü gücünü ve $\sigma_s = E\left[s(k)^2\right]$ işaret gücünü ifade etmektedir. (3) ifadesinden de açıkca görüleceği gibi çıkış gücü $w = a(\phi_0)$ olduğu zaman en büyük olur. Bu nedenle, alıcı antenler ϕ_0 yönünde $w = a(\phi)$ olduğu zaman en büyük kazanhca sahip olur. Çünkü, $w = a(\phi)$ ile anten elemanlarından ϕ_0 yönünde alınan işaretlerin fazları ayarlanmış olmaktadır.

Bu yöntemle DOA hesaplanırken, bütün ışınım belirli bir açı aralığında sürekli olarak taranarak, her ϕ açısı için $w = a(\phi)$ ağırlıkları güncellenmektedir ve bu işlem sonunda da çıkış gücü ölçülmektedir. (3) ifadesi kullanılarak, çıkış gücü ϕ açısının bir işlevi olarak,

$$P_{cbf}(\phi) = w^H R_{uu} w = a^H(\phi) R_{uu} a(\phi) \qquad (4)$$

şeklinde verilebilir. Böylece, bütün yönlerden alınan işaretlere ait bu çıkış gücü ifadesinin en büyük değerleri araştırılarak, varış açısı (DOA) bulunabilir.

3.2 MUSIC (Multiple Signal Classification) Algoritması

MUSIC algoritması gelen işaretlerin sayısının ve işaretlerin geliş doğrultularını doğru bir şekilde hesaplayabilen altuzay tabanlı bir tekniktir ve Schmidt tarafından önerilmiştir.

M tane anten elemanının, doğrusal ve eşit aralıklı olarak yerleştirildiği bir anten dizisine D tane işaret ve bileşenininin ulaştığını varsayılsın. Bu durumda dizi çıkışında alınan toplam işaret,

$$u(t) = \sum_{l=0}^{D-1} a(\phi_l) s_l(t) + n(t) \qquad (5)$$

$$u(t) = \begin{bmatrix} a(\phi_0) & a(\phi_1) & \cdots & a(\phi_{D-1}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_0(t) \\ s_1(t) \\ \vdots \\ s_{D-1}(t) \end{bmatrix} + n(t) \qquad (6)$$

$$= As(t) + n(t)$$

şeklinde verilebilir. Burada $s(t) = \begin{bmatrix} s_0(t) & s_1(t) & \cdots & s_{K-1}(t) \end{bmatrix}^T$ gelen işaretleri içeren vektörü ve $n(t) = \begin{bmatrix} n_0(t) & n_1(t) & \cdots & n_{M-1}(t) \end{bmatrix}^T$ her anten elemanına ulaşan gürültü bileşenlerini ve $a(\phi_j)$, j'ninci işarete ait DOA açısına karşılık dizi izleme vektörünü göstermektedir.

MUSIC Algoritması için, giriş işaretleri u_k 'ya karşılık $k = 0, ..., K-1$ örnek toplanır ve giriş kovaryans matrisi hesaplanır.

$$\hat{R}_{uu} = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} u_k u_k^H \qquad (7)$$

$\hat{R}_{uu}$ matrisine, $\hat{R}_{uu} V = V\Lambda$ şeklinde özdeğer ayrışımı uygulanır. $\hat{R}_{uu}$ 'ya karşılık $\Lambda = \text{diag}\left\{\lambda_0, \lambda_1, ..., \lambda_{M-1}\right\}$ özdeğerler ile $V = \begin{bmatrix} q_0 & q_1 & ... & q_{M-1} \end{bmatrix}$ özvektörler bulunur. Alınan K tane örnek içerisinden, en küçük özdeğer sayısından, $\hat{D}$ işaret sayısı, $\hat{D} = M - K$ şeklinde bulunur. MUSIC spektrum ifadesi,

$$\hat{P}_{MUSIC}(\phi) = \frac{a^H(\phi) a(\phi)}{a^H(\phi) V_n V_n^H a(\phi)}, \; V_n = \begin{bmatrix} q_D & q_{D+1} & \cdots & q_{M-1} \end{bmatrix}$$

şeklinde hesaplanır ve $\hat{P}_{MUSIC}(\phi)$ ifadesini içerisinde $\hat{D}$ tane tepe değer bulunarak, işaretlere ait DOA değerleri hesaplanmış olur. [4]

3.3. ESPRIT (Estimation of signal parameters via rotational invariance techniques)

ESPRIT algoritması MUSIC gibi işaretlerin geliş doğrultularını hesaplamak için kullanılan altuzay tabanlı bir tekniktir.

ESPRIT Algoritmasında, dizi girişlerinden alınan u'lar için $\hat{R}_{uu}$ ifadesi hesaplanır. Ardından, $\hat{R}_{uu}$ ifadesine (8)'de gösterilen şekilde özdeğer ayrışımı uygulanır.

$$\hat{R}_{uu} = V\Lambda V \qquad (9)$$

Burada, $\Lambda = \text{diag}\left\{\lambda_0, \lambda_1, ..., \lambda_{M-1}\right\}$ özdeğerleri ve $V = \begin{bmatrix} q_0 & q_1 & ... & q_{M-1} \end{bmatrix}$ özvektörleri göstermektedir. Alınan K tane örnek içerisinden en küçük özdeğerlere sahip $\hat{D}$ işaret sayısı, $\hat{D} = M - K$ şeklinde bulunur. İşaret altuzay kestirimi ile $\hat{V}_s = \left[\hat{V}_0, ..., \hat{V}_{\hat{D}-1}\right]$ ifadesi hesaplanır ve alt matrislere ayrışımı yapılarak,

$$\hat{V}_s = \begin{bmatrix} \hat{V}_0 \\ \hat{V}_1 \end{bmatrix} \qquad (10)$$

ifadesi yazılır. Özdeğer ayrışımı hesaplanarak $(\lambda_0 > ... > \lambda_{2\hat{D}})$,

$$\hat{V}_{01}^H \hat{V}_{01} = \begin{bmatrix} \hat{V}_0^H \\ \hat{V}_1^H \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{V}_0 & \hat{V}_1 \end{bmatrix} = V\Lambda V^H \qquad (11)$$

bulunur ve $\hat{D} \times \hat{D}$ boyutunda alt matrislere bölünerek,

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} \\ V_{21} & V_{22} \end{bmatrix} \qquad (12)$$

formunda yazılır. $\Psi = -V_{12} V_{22}^{-1}$ ifadesinin özdeğerleri

$$\hat{\Phi}_k = \text{özdeğerler}\left(-V_{12} V_{22}^{-1}\right), \forall k = 0, ..., \hat{D} - 1 \qquad (13)$$

bulunur. DOA açıları,

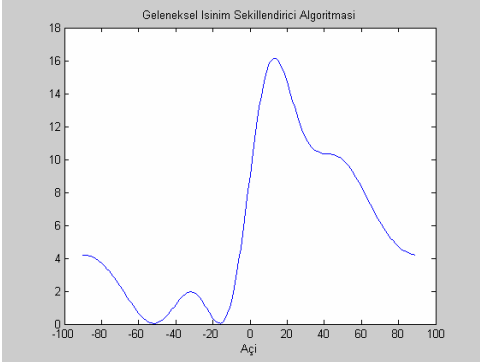
$$\hat{\Phi}_k = \cos^{-1}\left[c \frac{(\arg(\hat{\Phi}_k))}{\beta \Delta x}\right] \qquad (14)$$

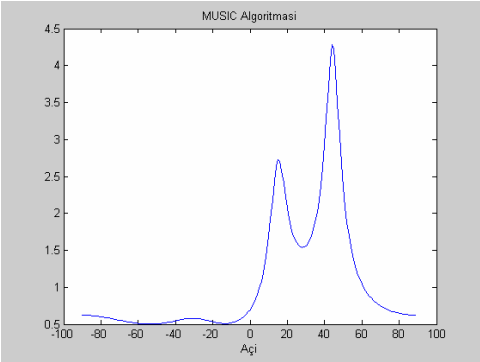
ifadesi hesaplanarak bulunur.

4. UYGULAMA BULGULARI

Bu bölümde, yukarıda bahsedilen Geleneksel Işınım Şekillendirici, MUSIC ve ESPRIT yöntemleri için hesaplanan sonuçlar verilecektir. Hesaplamalar dört ve sekiz elemanlı doğrusal eşit aralıklı anten dizisi için yapılmıştır. Anten elemanlarına 13 ve 45. derecelerden işaretler geldiği varsayılmıştır.

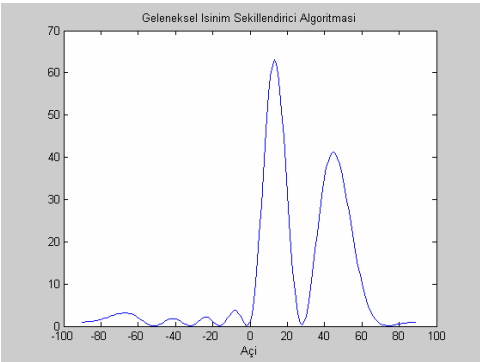
Dört ve sekiz elemanlı anten dizisi için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

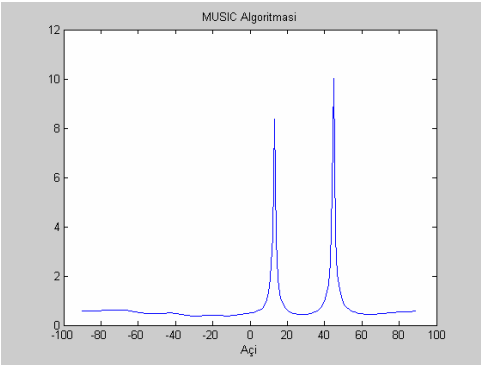




ESPRIT ile Hesaplanan DOA Sonucu

Şekil 5. Dört elemanlı bir dizi için, Geleneksel Işınım Şekillendirici, MUSIC ve ESPRIT yöntemleriyle hesaplanan DOA açı sonuçları





ESPRIT ile Hesaplanan DOA Sonucu

Şekil 6. Sekiz elemanlı bir dizi için, Geleneksel Işınım Şekillendirici, MUSIC ve ESPRIT yöntemleriyle hesaplanan DOA açı sonuçları

5. SONUÇLAR

Geleneksel Işınım Şekillendirici Algoritması düşük çözünürlüklü algoritmalar sınıfında yer almaktadır. Çözünürlük düşük olduğu için birden fazla işaret alınmak istendiğinde, işaretlere ait ışınımlar biribine girmektedir. Algoritmanın çözünülüğü artırılarak bu durumun önüne geçilebilmektedir. Çözünürlüğünü artırmak için, dizi anten eleman sayısı artırılabilir.

MUSIC ve ESPRIT algoritmaları yüksek çözünürlüklü alt uzay tabanlı algoritmalardır. Anten sayısı arttıkça daha az hata ile geliş açılarını bulabilmektedirler. Bu durum, Şekil 5 ve Şekil 6'da verilen şekillerden görülebilmektedir.

Şekil 5 ve Şekil 6'da verilen sonuçlar incelendiği zaman, anten dizilerinde kullanılan eleman sayısının, kullanılan algoritmaların çözünürlüğünü çok önemli ölçüde etkilediği açıkça görülebilmektedir. Eleman sayısı arttıkça kullanılan algoritmaların çözünürlüğü de artmaktadır. Bu sayede, gelen işaret açıları daha az hata ile hesaplanabilmektedir.

6. KAYNAKLAR

[1]. Vu, T.B., Handbook of Antennas in Wireless Communications, CRC Pres, New South Wales

[2]. M. Torlak, "Spatial Array Processing" Signal and Image Processing Seminar, The Univeristy of Texas at Austin

[3]. P.V.Rooyen, M. Lötter, D.V.Wyk, Space-Time Processing For CDMA Mobile Communication

[4]. J.C.Liberti, T.S.Rappaport, "smart Antennas for Wireless Communications, IS-95 and Third Generation CDMA Applications", P. Hall PTR