

GSM Sistemi Akıllı Antenlerinde LMS Algoritmasının Kullanılması

Evrım Tamer, Cevdet Işık
İstanbul Teknik Üniversitesi
Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Maslak, İstanbul
evrimtamer@yahoo.com, isikcev@ehb.itu.edu.tr

Özet: *Günümüz mobil haberleşme sistemlerinde, yüksek bant genişliği gerektiren hizmetler ve bu hizmetleri kullanan abonelerin sayısı hızla artmaktadır. Bu da beraberinde kapasite problemini getirmektedir. Kapasite problemini çözmek için yeni frekans bantları tahsisi ya da hücre sayısının artırılması çözüm olarak önerilebilir, ancak bunlar pahalı ve zaman alıcı yöntemlerdir. Bunun dışında mobil sistemlerde karşılaşılan bir diğer problem çok yollu zayıflama etkisidir. Bu problemlerin üstesinden gelmek için önerilen yol baz istasyonlarında akıllı antenlerin kullanılmasıdır. Akıllı antenler iki çeşide ayrılarak incelenebilir. Bunlar, “Anahtarlama Demet Sistemleri” ve “Uyarlamalı Dizi Sistemleri”dir.*

Uyarlamalı Dizi Sistemleri uyarlamalı algoritmalar kullanarak ağırlık katsayılarını değiştirir, istenilen işaret yönünde demet kazancını maksimum yapar ve anten sıfırlarını karıştırıcı ve gürültü işaretler doğrultularına yaklaştırarak SNR ve SIR değerlerinin uygun sınırlarda kalmasını sağlar. Bu çalışmada, LMS algoritmasının ortamda karıştırıcı ve gürültü işaretleri olması durumunda farklı işaret geliş açıları, farklı sektör sayıları ve eleman aralıklarında, SNR ve SIR değerleri bakımından performansı incelenmiş, çeşitli karşılaştırmalar yapılmıştır.

1. Giriş

Günümüz mobil haberleşme sistemlerinde, yüksek bant genişliği gerektiren hizmetler ve bu hizmetleri kullanan abonelerin sayısı hızla artmaktadır. Bu da beraberinde kapasite problemini getirmektedir. Bunun dışında mobil sistemlerde karşılaşılan bir diğer problem çok yollu zayıflama etkisidir. Bu problemlerin üstesinden gelmek için, baz istasyonlarında akıllı antenler kullanılabilmektedir [1].

Uyarlamalı Akıllı Antenlerde, eşit aralıklarla yerleştirilmiş dizi elemanlarından oluşan doğrusal anten dizileri kullanılmaktadır. Akıllı antenler, istenilen işaret yönünde demet kazancını maksimum yaparak işareti kuvvetlendirirken, anten sıfırlarını karıştırıcı ve gürültü işaretler doğrultularına yaklaştırarak zayıflatmakta ve sonuç olarak SNR ve SIR değerlerini büyötmektedir. Burada, dizinin ışıma diyagramına bu uygun şekli vermek için, her bir dizi elemanından gelen işaretlerin fazı ve genliği, bir işaret işleme devresinde, uygun bir algoritma kullanarak belirlenen ağırlık katsayıları ile çarpılarak değiştirilir [2]. Bu demet oluşturma probleminde kullanılabilecek algoritmalarından biri, amaç fonksiyonu olarak minimum ortalama karesel hatayı kullanan LMS algoritmasıdır [3].

2. Uyarlamalı Dizi Sistemleri ve Demet Oluşturma

Uyarlamalı Dizi Sistemlerinde, eşit aralıklarla yerleştirilmiş dizi elemanlarından oluşan doğrusal anten dizileri kullanılmaktadır. M elemanlı düzgün aralıklı doğrusal bir anten dizisinde, bir i . dizi elemanından alınan işaret,

$$x_i(t) = x_1(t) \exp\left\{-j\left(\frac{2\pi}{\lambda}(i-1)d \sin \xi\right)\right\}, i = 1, 2, \dots, M \quad (1)$$

$$x_1(t) = u(t) \exp\{j(\gamma(t) + \beta)\} \quad (2)$$

ifadeleri ile verilir [4]. Burada, $u(t)$ işaretin genliğini, $\gamma(t)$ enformasyon taşıyan bileşeni ve β ise rastgele faz değerlerini, d dizi elemanları arasındaki aralığı, ξ işaretin diziye geliş açısını ve λ dalga boyunu göstermektedir. Dizi elemanlarından alınan her bir işaret, örnekleme ve bir ağırlık katsayısı ile çarpılma işlemlerinden geçirilerek toplanır ve anten dizisinin bir ξ doğrultusundan gelen işarete cevabı $y(k) = \mathbf{w}^H(k)\mathbf{x}(k)$ bulunmaktadır. Burada, k örnekleme anı, $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_M]^T$ işaret vektörü, $\mathbf{w} = [w_1, w_2, \dots, w_M]^T$ ağırlık vektörüdür [4].

3. Demet Modeli

ULA ve FIR arasında benzerlik vardır. FIR filtredeki f ve T_s 'nin yerine $\sin\zeta$ ve d/λ koyabiliriz. Bu durumda elde edilen yeni formül, bize “Demet Oluşturucu Cevabı (Beamformer Response)”nı ya da “Dizi Cevabı (Array Response)”nı verir. $g(\zeta)$, geliş açısı ζ olan bir işarete dizinin verdiği cevabı olarak adlandırılır. Buna göre farklı açılardan gelen birçok işaret varsa ve ζ_i yönünden gelen işaretin alınması isteniyorsa, ζ_i yönünde dizi cevabı kazancının diğer yönlerden daha yüksek olmasını sağlamak için, ağırlık katsayılarının buna göre ayarlanması gerekir. Dizi cevabı $g(\zeta)$ vektörel olarak da ifade edilebilir:

$$g(\zeta) = \sum_{i=1}^M w_i^* e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}(i-1)d \sin \zeta}, \quad g(\zeta) = \mathbf{w}^H \mathbf{a}(\zeta) \quad (3)$$

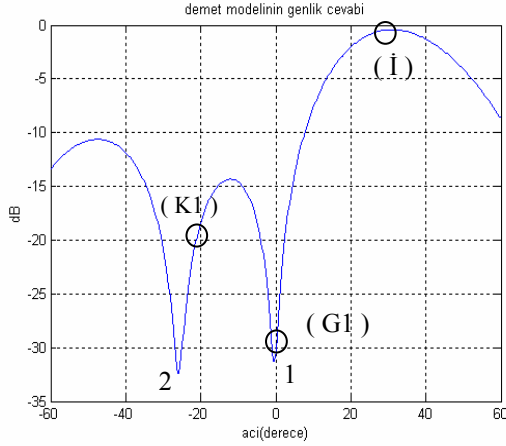
Dizi cevabı ayrıca, dizide düzlemsel bir dalga varken demet oluşturucu çıkışı ile referans elemandaki işaret arasındaki oran olarak da tanımlanabilir. “Demet Modeli (Beampattern)” ise $g(\zeta)$ ’nın genliğidir ve $G(\zeta)$ ile gösterilir [4].

Bir demet oluşturucunun uzaysal ayırım (spatial discrimination) yeteneği, dizinin uzaysal açıklık (spatial aperture) büyüklüğüne bağlıdır [4]. Açıklık arttıkça, ayırım yeteneği de gelişir. Aslında mutlak açıklık büyüklüğü önemli değildir, burada önemli olan parametre bu büyüklüğün dalga boyu cinsinden değeridir.

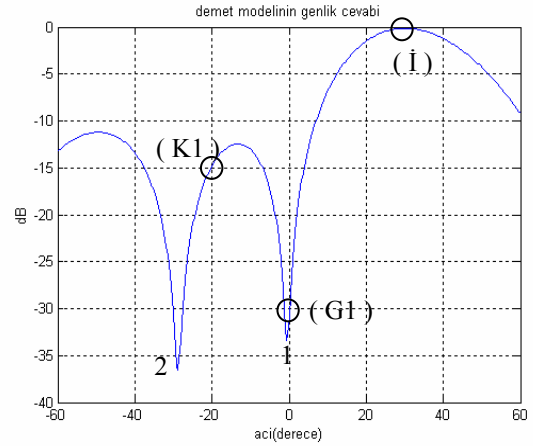
3. LMS Algoritmasının Kullanılması

Ağırlık katsayılarının LMS algoritması ile yenilenmesi şu şekilde tanımlanmaktadır: $y(k) = \mathbf{w}^H(k)\mathbf{x}(k)$, $e(k) = d(k) - y(k)$, $\mathbf{w}(k+1) = \mathbf{w}(k) + \mu \mathbf{x}(k) e^*(k)$, $k = 1, 2, \dots, K$. Burada, k örnek alma anı indis değerlerini ve LMS iterasyon adımı, K ise iterasyonun son adımı, μ iterasyonun yakınsama hızını kontrol eden bir sabiti, $d(k)$ algoritmanın referans işaretini ve $e(k)$ hatayı göstermektedir [5]. Bu çalışmada, LMS algoritmasının akıllı anten uygulamalarına ilişkin olarak, literatürde verilmeyen çeşitli değerlendirmeler elde edilmiştir. Bunun için MATLAB™ ortamında bir yazılım oluşturularak, bir işaret ile birlikte çeşitli doğrultulardan gelen gürültü ve karıştırıcı durumlarında, karıştırıcı sayısı ve doğrultuları, gürültü sayısı ve doğrultuları anten dizisi eleman sayısı, dizi elemanı aralığı ve dizi sektör genişliği parametrelerine göre LMS algoritması ile bir uyarlamalı akıllı anten çıkışında sağlanabilecek SIR ve/veya SNR değerleri bulunmuştur. Bulunan bu oransal değerlerin, GSM haberleşme sistemi bakımından uygunluğu, bu değerlere göre belirlenmiştir. Ayrıca LMS algoritmasının yakınsama hızları, yakınsanan değerler bakımından durumları da, bu arada, elde edilmiştir. Aksi söylenmedikçe anten dizi elemanları arasındaki mesafe 0.5λ olarak alınmıştır. Yakınsama kriteri olarak, $|\mathbf{w}(k+1) - \mathbf{w}(k)| < 0.005|\mathbf{w}(k)|$, $k = 0, 1, 2, \dots, K$ bağıntısı kullanılmıştır. K , yinelemenin son değerini göstermektedir. Yakınsaklık kriterini sağlamak için adım büyüklüğü parametresi $\mu = 0.01$ olarak seçilmiştir. Program içerisinde anlık korelasyon matrisleri hesaplandığından bu değer ortalama yakınsaklık kriterini sağladığı görülmüştür. Ayrıca ısı gürültü olan sistem gürültüsü de işarete eklenmiştir; sistem gürültüsü ortalamasının $\mu_n = 0$, varyansının $\sigma_g^2 = 0.1$ değerleri pratik birer değer olarak alınmıştır [6]. Sistem gürültüsü ve programda kullanılan gürültü işaretlerinin genliklerinin normal dağılımlı, fazlarının ise kullanılan sektör içerisinde düzgün dağılımlı olduğu varsayılmıştır. Ağırlık katsayı vektörünün başlangıç değeri rastgele istendiği gibi seçilmiştir. MATLAB™ ortamında yapılan benzetimlerde gürültü işaretlerinin rastlantısal değerler alması nedeniyle, programın farklı zamanlarda çalıştırılması ile yinelemeler sonucunda elde edilen ağırlık katsayıları her seferinde farklı bir optimum sonuca yakınsamıştır. Burada örnek olarak olarak karıştırıcı ve gürültü işaretlerinin birlikte bulunduğu durumlarda LMS algoritmasının performansı incelenecektir. Karıştırıcı işaret istenilen işaret ile aynı özelliklere sahip GMSK modülasyonlu bir işarettir. Gürültü işareti ise ortalaması ve varyansı bilinen Beyaz Gauss Gürültüsü’dür. İşaretlerin anten dizisine geliş açıları istenilen işaretin geliş açısı $\zeta_x = 30^\circ$, gürültü işaretinin geliş açısı $\zeta_{g1} = 0^\circ$, karıştırıcı işaretin geliş açısı $\zeta_{k1} = -20^\circ$, kullanılan anten elemanı sayısı $M = 4$, sektör genişliği $= 120^\circ$, ağırlık katsayı vektörünün başlangıç değeri olarak istenilen işaretin yönünde olan kompleks bir ağırlık vektörü seçilmiştir. Bu geliş açılarıyla program birkaç defa çalıştırıldığında elde edilen sonuçlardan ikisi Şekil 2 ve 3 ile, şekillerden okunan SIR ve SNR değerleri sırasıyla Şekil 2 için 17 ve 28dB; Şekil 3 için ise 15 ve 30 dB’dir. GSM sisteminde hata düzeltme olmadan statik bir kanal için gereken bit hata

oranı (BER) 10^{-4} 'tür. Bu BER değerine ilişkin SNR 9-12 dB'dir [7]. Sonuçlardan görüldüğü üzere SNR ve SIR değerleri bu koşulu gerçeklemektedir.



Şekil 2. Demet modelinin genlik cevabı, yineleme sayısı $K = 13$, sektör sayısı = 3, $\xi_x = 30^\circ$, $\xi_{g1} = 0^\circ$, $\xi_{k1} = -20^\circ$, $M = 4$, $d = 0.5\lambda$



Şekil 7.3 Demet modelinin genlik cevabı, yineleme sayısı $K = 8$, sektör sayısı = 3, $\xi_x = 30^\circ$, $\xi_{g1} = 0^\circ$, $\xi_{k1} = -20^\circ$, $M = 4$, $d = 0.5\lambda$

5. Sonuçlar

Demet oluşturma probleminde istenilen işaretle aynı sektör içerisinde bulunan karıştırıcı ve gürültü işaretlerinin olması halinde LMS algoritmasının seçilen bir yakınsama kriterine göre SIR ve SNR değerleri bakımından performansı incelenmesi için yapılan farklı benzetimler sonucunda sektör sayısını değiştirmenin algoritmanın performansı üzerinde etkisi olmadığı, buna karşın her farklı işaret durumu için anten elemanı sayısının artması ile anten seçiciliğinin, dolayısıyla SIR/SNR değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Ortamda istenilen, karıştırıcı işaretlerin ve gürültü işaretlerinin arasında uzaysal ayrımın bulunmadığı yani işaretlerin tümünün aynı doğrultudan geldiği durumda algoritmanın bir demet modeline yakınsamadığı görülmüştür. Bu da uyarlamalı algoritmaların çalışabilmesi için işaretler arası uzaysal ayrım olmasının gerekliliğini göstermektedir. Ortamda gürültü işaretleri varken farklı dizi elemanı aralıkları için de benzetimler yapılmıştır. Dizi eleman aralıklarının azalması ile sıfır doğrultuları ana demetten uzaklaşmaktadır. Bunun sonucu olarak da kullanıcı işaretine yakın doğrultulardan gelen gürültü işaretlerinin SNR değerlerinin eleman aralığı küçüldükçe azaldığı görülmüştür. Gürültü ve karıştırıcı işaretlerin birlikte bulunduğu durumlar için de LMS algoritmasının performansı incelenmiştir. Keyfi olarak istenilen işaret doğrultusuna yakın bir açıyla gelen karıştırıcı işaretler için algoritmanın SIR değeri bakımından uygun sonuç vermediği görülmüştür. Bu nedenle algoritmanın uygun SIR değerini sağladığı kritik geliş açısını bulmak için benzetimler yapılmıştır. Ayrıca yapılan benzetimlerde yakınsama kriterindeki hata değeri azaltıldığında yineleme sayısının arttığı fakat, kritik geliş açısının kullanıcı işaret doğrultusuna yaklaştığı sonucu bulunmuştur.

Kaynaklar

- [1] Chryssomallrs, M., 2000. Smart Antennas, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol.42,No.3, 129-136.
- [2] Bellofiore, S., Balanis, C.A., Foutz, J. and Spanias, A.S., 2002. Smart Antenna Systems for Mobile Communication Networks Part1: Overview and Antenna Design, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol.44, No.3, 145-154.
- [3] Rappaport,T.S. and Liberty, J.C., 1999. Smart Antennas for Wireless communications: IS-95 and Third Generation CDMA Applications, Prentice Hall, NewJersey.
- [4] Rong, Z., 1996. Simulation of Adaptive Array Algorithms for CDMA Systems, *M.Sc. Thesis*, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, USA.
- [5] Haykin, S., 1996. Adaptive Filter Theory, Prentice-Hall, NewJersey.
- [6] Taco, K., 2001. Development of a test-bed for smart antennas, using digital beamforming, *M.Sc. Thesis*, University of Twente, Enschede, The Netherlands.
- [7] www.hut.fi/~mstahlbe/papers/jamming_paper.pdf