



DÜZGÜN DOĞRUSAL ANTEN DİZİLERİNDE EN BÜYÜK OLABİLİRLİK YÖNTEMİ KULLANARAK GELİŞ AÇISI BELİRLENMESİ

*(DIRECTION OF ARRIVAL ESTIMATION USING MAXIMUM
LIKELIHOOD METHOD IN UNIFORM LINEAR ANTENNA ARRAYS)*

Özgür TAMER*, Gülden KÖKTÜRK*, Kemal ÖZMEHMET*

ÖZET/ABSTRACT

Akıllı antenler, gelecekteki uygulamalarda gezgin iletişim sistemlerinin belkemiğini oluşturacak uygulamalardır. Bu antenlerin özelliği, kullanıcı işaret(ler)inin geliş yönünü belirlemesi ve buna göre kendini ayarlamasıdır. İşaretin geliş yönünü algılayan algoritmalar sistem çalışmasında önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada, temel tahmin algoritmalarından biri olan en büyük olabilirlik yöntemi uygulanarak anten dizisine ulaşan geliş açısı belirlenmeye çalışılmıştır. Kullanılan yöntem daha sonra MATLAB programı ile tekli ve çoklu işaretler için uygulanmıştır.

Smart antenna systems will play an important role in next generation communication systems. These antennas estimate the angle of arrival of the user and adapt the antenna radiation pattern to enhance quality of service. Direction of arrival algorithms is one of the most important topics in such cases. In this work, one of the basic estimation methods, maximum likelihood estimation, is used for estimating angle of arrival of the signal. Then, this method is simulated using MATLAB and simulation results are included.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Akıllı antenler, Anten dizileri, Gezgin iletişim, Geliş yönü tahmini
Smart antennas, Antenna arrays, Mobile communications, Direction of arrival estimation

1. GİRİŞ

Gezgin iletişim sistemleri son yıllarda oldukça önem kazanan teknolojilerdir. Her geçen gün biraz daha artan talep karşısında servis sağlayıcı şirketler, mevcut kapasitelerini artırmanın yollarını aramaktadır. Zaman bölmeli ve frekans bölmeli çoklu erişim kullanan sistemler uzun yıllardır kullanılmakta olan ve iyi bilinen yöntemlerdir. Bunun yanı sıra kod bölmeli erişim de yeni sistemlerin belkemiğini oluşturacaktır. Bütün bu sistemlerle aynı anda uygulanabilecek bir başka sistemse konum bölmeli çoklu erişimdir. Yani, bir baz istasyonunu farklı açılarla gören iki kullanıcı diğer özellikleri aynı olan (zaman, frekans) bir kanalı kullanabilecektir. Böylece sistemin kapasitesi, aynı kanalı mümkün olan en fazla kullanıcıya kullandırabildiği ölçüde artacaktır. Konum bölmeli çoklu erişim yönteminin temeli akıllı antenlerin kullanımına dayanmaktadır. Akıllı antenler kullanıcılardan gelen işaretleri inceleyerek aynı kanalı kullanan kullanıcıların birbirlerinin iletişim kalitesini etkilemeyecek şekilde ışına örüntülerini oluşturur. Baz istasyonunda kullanılan her bir akıllı anten, aynı kanalı kullanan sadece bir kullanıcı ile haberleşir, böylece ışına örüntüsünü ilgili kullanıcıya yönlendirip diğer kullanıcılarda sıfırlayarak işaretin diğer kullanıcılara karışmasını engeller. Akıllı antenler ilk olarak dizi elemanlarında gelen işaretleri inceleyerek geliş açılarını tahmine çalışır. Bu işlem sırasında geliş açısı tahmin algoritmaları devreye girer ve sistem performansını en çok etkileyen işlem olarak karşımıza çıkar. Daha sonra ise tahmin edilen açılara göre anten ışına örüntüsü şekillendirilir. Geliş açısı tahmin hızı ve hassasiyeti arttıkça sistem kapasitesi de aynı ölçüde artacaktır. Dolayısıyla geliş açısı kestirimi bir akıllı antenin en önemli işlemidir. Bu çalışmada temel tahmin yöntemlerinden biri olan en büyük olabilirlik yöntemi, geliş açısı kestirimine uygulanmış ve performansı benzetimle denenmiştir.

Daha önceki çalışmalar geniş kapsamda yürütülmüş çalışmalardır. Bunlar, öncelikle gelen işaretin açısal dağılım fonksiyonlarının oluşturulması ve çeşitli yöntemlerle geliş açısının tahmini üzerinedir. Geliş açısının tahmini için zamansal (temporal) ya da uzaysal yöntemler tercih edilmekte, bununla beraber yapay sinir ağları da kullanılabilir. Zamansal yöntemler, belli bir uyumlanma zamanı sonucunda geliş açısını belirler. Bu işlem sırasında kullanıcıdan kısıtlı bir süre için alıcı ve vericiden bilinen bir deneme işareti gelir. Algoritma işareti en iyi hale getirmeye çalışır, daha sonra bu işlem sırasında oluşturulan ışına örüntüsü normal iletişim süreci içinde kullanılır. Kloch ve Liang'ın çalışmasında zamansal algoritmaların performansı hakkında bilgi verilmektedir (Kloch vd., 2001). Konumsal algoritmalar da ise, gelen işaret işlenerek geliş açısı kestirimi yapılır. Bu işlem için çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir ve halen üstünde çalışmalar devam etmektedir. Zamansal algoritmalara göre en önemli avantajı, geliş açısını tahmin etmek için ek bir aşamaya ihtiyaç duymaması, kullanıcı tarafında gönderilen işaretten doğrudan kestirim yapmasıdır. Bu zaten değerli olan ve performansı etkileyen zamanı boşa harcamamak demektir. Bir başka avantajı ise anten örüntüsünün sürekli bir uyumlanma halinde olabilmesidir (Fuhl, 1997). Dinamik bir ortam düşünülürse bu önemli bir parametredir. Jeng ve Okamoto tarafından yapılan deneysel çalışma, konumsal algoritmaların performansı hakkında bilgi vermektedir (Jeng vd., 1998). Yapay sinir ağları kullanılarak geliş yönü algılanması ise henüz yeni oluşan bir yöntemdir (Fuhl, 1997).

2. EN ÇOK BENZERLİK YÖNTEMİ

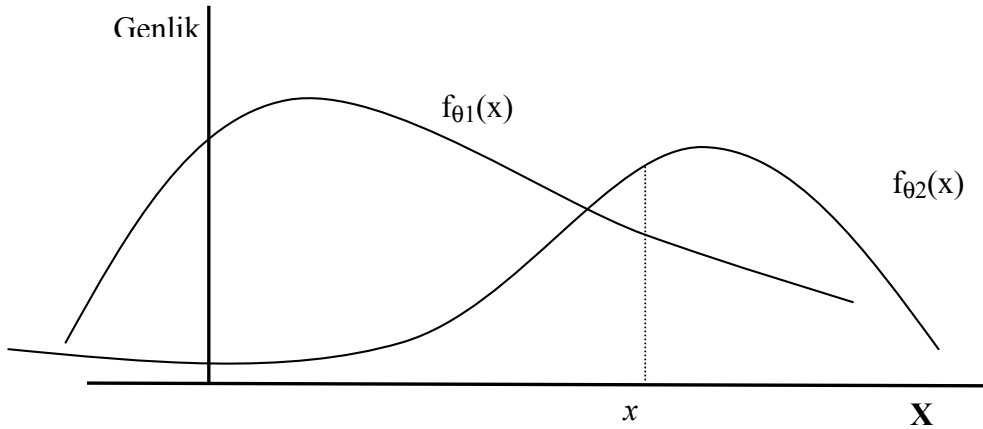
En büyük olabilirlik yöntemi rastlantısal bir değişkenin (ölçülen değişken) bağlı olduğu bir başka değişkene göre olasılık dağılım fonksiyonu tanımlanması temeline dayanır. Olasılık

dağılım fonksiyonu bize ölçülen değişkenin, hangi sıklıkta bağlı bulunduğu değişkeni tekrar ettiğini gösterir (Kay, 1993).

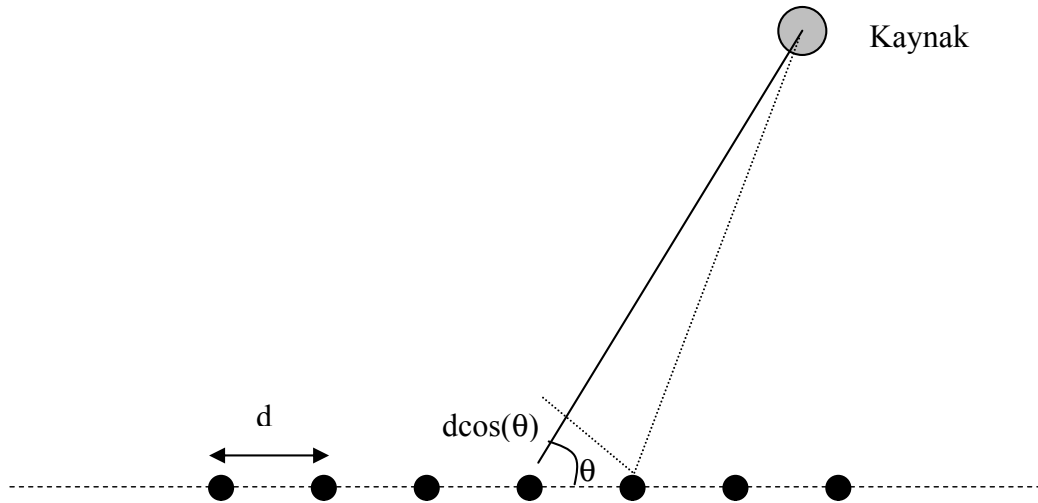
x rastlantısal bir parametre, $f_q(x)$ ise x parametresinin q 'ya bağlı olasılık dağılım fonksiyonu olsun. q_1 ve q_2 , q parametresinin alabileceği iki olası değer olsun. Bu durumda yapılan bir x ölçümü için θ_1 ve θ_2 'ye bağlı olasılık dağılım fonksiyonları birer değer alacaktır. Her x ölçümü için $f_{\theta_1}(x)$ ve $f_{\theta_2}(x)$ farklı değerlere sahip olacaktır. Yapılan bir ölçümün tahmin edilen q değeri, ölçüm sonucu olasılık dağılım fonksiyonlarına uygulandığında, daha büyük değer alan olasılık dağılım fonksiyonunun bağlı bulunduğu q değeri olacaktır. Örnek olarak Şekil 1'de alınan x ölçümü için tahmini q parametresi q_2 'dir. Çünkü, olasılık dağılım fonksiyonu, karşılık gelen x ölçümünde daha büyüktür.

3. AÇISAL YOĞUNLUK FONKSİYONLARI

Geliş açısı kestirimini en büyük olabilirlik yöntemi ile yapılması durumunda geliş açısına parametrik bağlı açısız dağılım fonksiyonları tanımlanmalıdır. Daha sonra alınan her işaret için hangi dağılım fonksiyonunun daha büyük olduğuna bakıp geliş açısı tahmininde bulunulabilir. Geliş açısı fonksiyonlarının sayısı açısız çözünürlükle doğrudan ilgilidir. Ne kadar çok fonksiyon tanımlanırsa o kadar dar aralıklarda kullanıcılar ayrılabilir. Şekil 2'de bu durum görülmektedir.



Şekil 1. Olasılık yoğunluk fonksiyonları ve x ölçümüne göre aldıkları değerler



Şekil 2. Düzgün doğrusal anten dizisi

Doğrusal anten dizilerinin yapısından ötürü tek boyutlu açı tahmini yapılabilmektedir (Şekil 2). Bu durumda 180 derecelik bir bölge içinde 360 adet açısız yoğunluk fonksiyonunun tanımlanması kullanıcıya, 1'er derecelik bir çözünürlük sağlayacaktır ki, bu bir çok uygulama için beklenenden iyi bir durumdur (Jeng vd., 1998).

Açısız olasılık fonksiyonlarını oluştururken dikkat edilecek durum alınan işaretlerin geliş açısına bağlı olarak ifade edilmesidir. Anten dizisindeki elemanların üzerinde, kaynakla arasındaki mesafe farkından ötürü farklı fazlar oluşacaktır (Lee, 1973) (Şekil 2). Her elemanın üzerinde oluşan elektrik alan faz bilgisi, geliş açısına bağlı olarak bu faz bilgisini taşıyan üstel fonksiyon hariç aynıdır.

$$\vec{E} = M_n E_n(\theta, \phi) e^{-jkdn \cos(\theta)} \quad (1)$$

Burada M_n ; n'inci antendeki alan genliğini, E_n ; n'inci antendeki alan örüntüsünü belirtmektedir. Ayrıca, k parametresi dalga numarasını, n anten numarasını, d antenler arasındaki uzaklığı temsil etmektedir. Üstel fonksiyon ise antenler arasında kaynağa olan uzaklıktan ötürü oluşan faz farkıdır. Dolayısıyla üstel fonksiyon, ölçülen parametre olarak tanımlandığında geliş açısını parametre olarak içeren bir fonksiyon bulunur.

$$y = e^{-jkdn \cos(\theta)} \quad (2)$$

Bu adımdan sonra her açı için açısız yoğunluk fonksiyonları oluşturulmalıdır. Bu fonksiyonlar, ölçülen x değerine bağlı olmalıdır ve doğru açıdaki fonksiyonda, x değerini yerine koyduğumuzda genliği diğer açılardakine göre daha büyük olmalıdır.

İletişimde sıkça kullanılan çapraz ilinti fonksiyonu, açısız dağılım fonksiyonu tanımlarken de kullanılabilir. Çapraz ilinti fonksiyonu, iletişim teorisinde alınan işaretin gürültüden arındırılması amacıyla kullanılmaktadır. Burada fonksiyon çıktısının, girilen değerlerin benzerliğinin artmasıyla yükselmesi özelliğinden yararlanır. Alınan işaret gelmesi muhtemel bir işaretle ilintilendirilmekte ve çıktının büyüklüğüne göre alınan işaretin ilintilendirilen işaretle aynı olup olmadığına karar verilmektedir. Bu çalışmada ise, her açı için atanan değerler alınan işaret ile ilintilendirilerek açısız dağılım fonksiyonları tanımlanmıştır. Böylece geliş açısına ait tanımlanan değerle alınan sinyal ilintilendirildiğinde çıkan sonuç diğer değerlere göre daha büyüktür ve geliş açısının tahmin edilebilmesini sağlar.

$$r = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)y(n-l) \quad (3)$$

Burada, ölçüm vektörü anten sayısı ile sınırlı olacağı için, ilinti sonsuzdan sonsuza değil 1'den anten sayısı N 'e kadar alınır. Ölçülen işaretin her bir açısı için oluşturulacak benzeri fonksiyonlarla çapraz ilintisi alındığında, doğru açı değerinde $l=0$ ilintisi tepe değerine ulaşacaktır. Diğer açı değerlerinde ise ilinti değeri düşük kalacaktır. Böylece her bir açı için x 'e bağlı açısız yoğunluk fonksiyonu

$$r = \sum_{n=1}^N x(n)y(n) \quad (4)$$

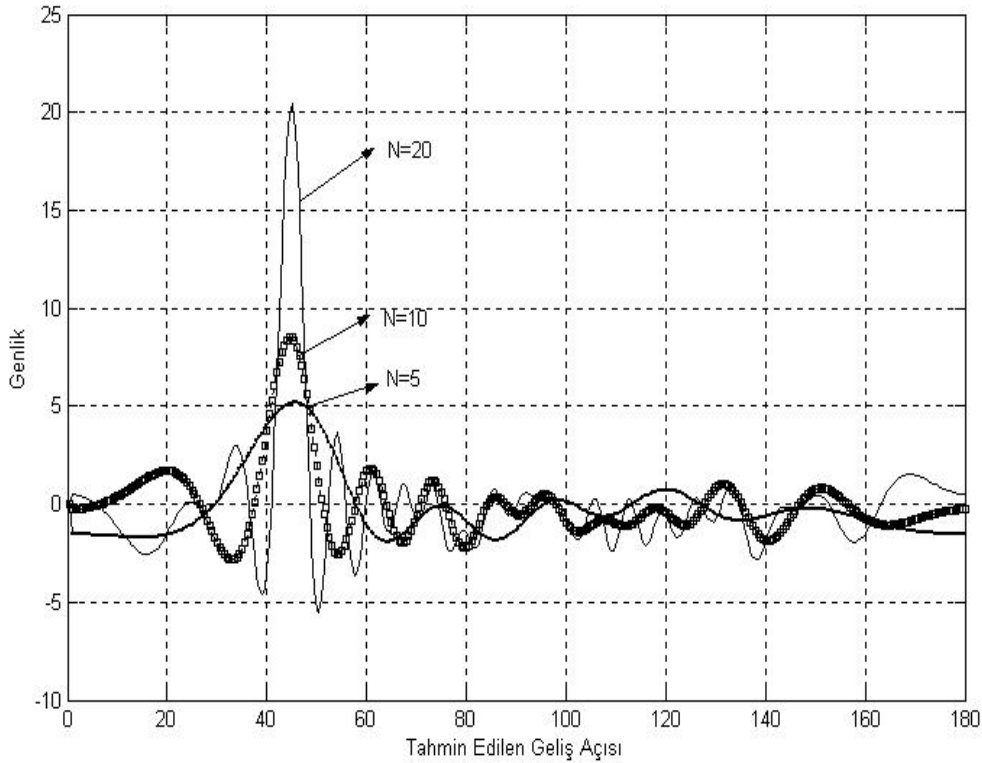
olarak belirlenecektir.

4. BENZETİM

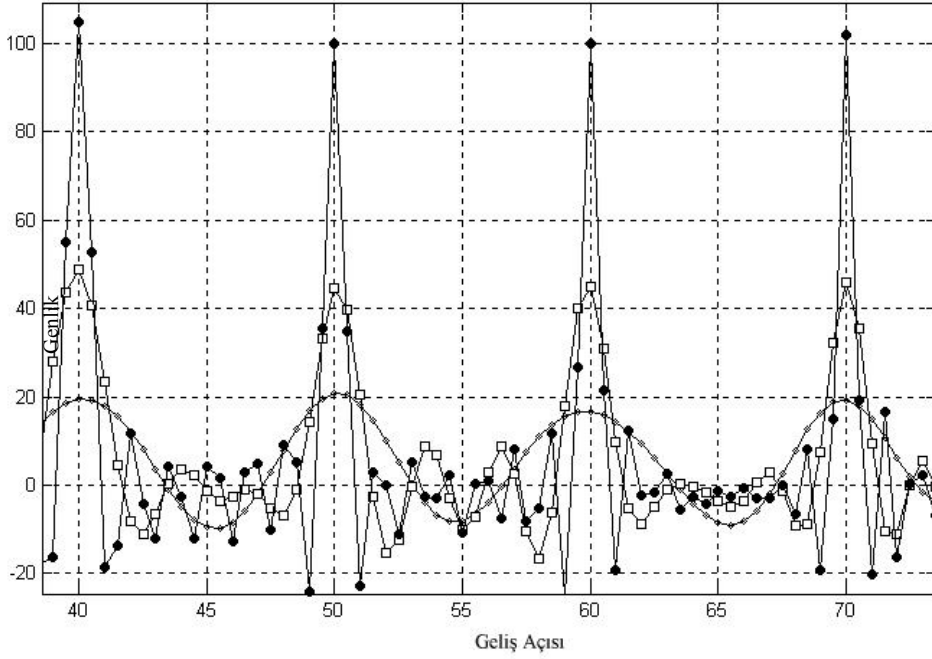
Bölüm 3'te açıklanan yöntemin benzetim işlemi MATLAB programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Benzetim algoritmasında kullanıcı geliş açıları girilmekte, daha sonra yazılım ile dizi elemanlarında oluşan değerler hesaplanarak bir vektör haline getirilmektedir. Bir sonraki adımda bu vektörün her bir yarım açı için elde edilen 360 vektörle çapraz ilintisi hesaplanarak $l=0$ ilinti değeri başka bir vektöre yazılmaktadır. İlinti değerlerinden oluşan vektörün tepe noktaları programın geliş açısı tahminlerini oluşturur.

Şekil 3 ve Şekil 4'te çeşitli durumlar için benzetim programının sonuçları grafik halinde verilmiştir. Grafiğin tepe noktaları bize programın geliş açısı tahminlerini göstermektedir. Şekil 3, tek kullanıcı için değişik anten sayılarında programın performansını gösteren grafiklerdir. Anten sayısı arttıkça işaretin geliş açısı daha belirgin bir hale gelerek komşu değerlerden ayrılmaktadır. Anten sayısının artırılması işlenen vektörlerin boyutunu büyütmekte ve ayrıca işlem zamanını da artırmaktadır.

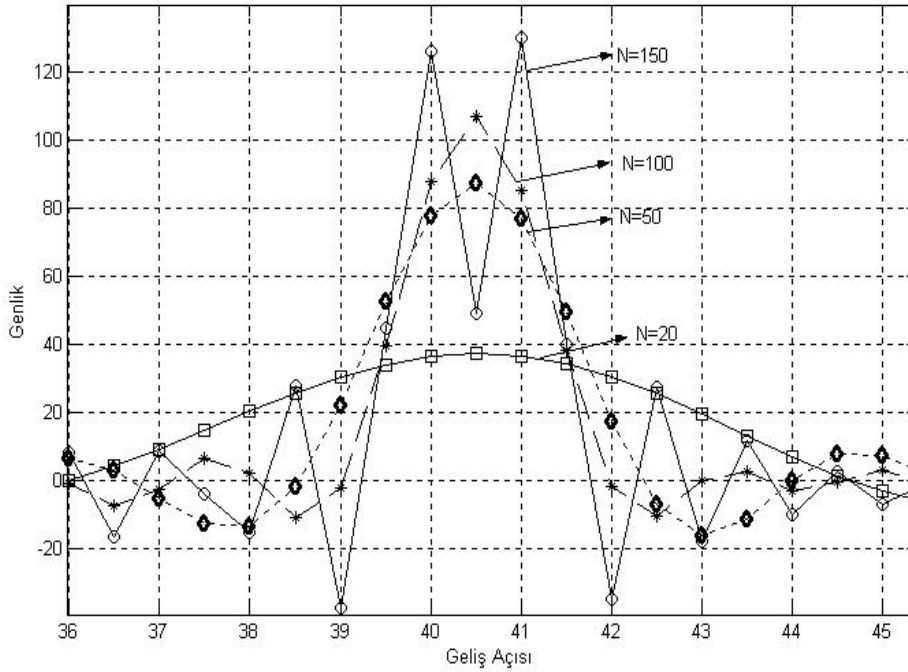
Dört kullanıcı için yapılan benzetim sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi anten sayısı arttıkça geliş açılarını belirten tepe noktaları daha da sivrilmektedir.



Şekil 3. Tek Kullanıcı için 5, 10 ve 20 antenle yapılan benzetim (Antenler yarım dalga boyu aralıktır)



Şekil 4. Kaynak sayısı dört olduğunda 20, 50 ve 100 anten sayılarıyla yapılan modelleme sonuçları (Siyah yuvarlaklı çizgiler 100 anten, kareli çizgiler 50 anten, düz çizgi ise 20 anten ile yapılan benzetimdir)



Şekil 5. İki Kaynak 1 derece aralıklarla yerleştirildikleri zaman 20, 50, 100 ve 150 antenle yapılan benzetim sonuçları

Şekil 5 ise, yöntemin çözünürlüğünü gösteren bir grafikdir. İki kaynak, bir derece aralıklarla konumlandığı zaman düşük anten sayılarında tek bir kullanıcı gibi görünmektedir. Anten sayısı 150 yapıldığında ise iki ayrı geliş açısı seçilebilmektedir.

5. SONUÇ

Doğrusal anten dizilerinde en büyük olabilirlik yöntemi kullanılarak yapılan geliş açısı kestiriminde anten sayısı arttıkça, geliş açısını belirten tepe noktaları belirginleşmektedir (Şekil 3). Bu durum ilinti fonksiyonunun beklenen bir durumudur. Fakat tek kaynaktan geliş açısı tahminlerinde az sayıda antenle de doğru sonuçlar elde etmek mümkündür.

Çok kaynaktan gelen işaretlerin işlenmesinde ise geliş açılarının doğru algılanabilmesi için, tek kaynağa göre daha fazla sayıda antene ihtiyaç vardır. Bu da işlem zamanını dolayısıyla sistem performansını olumsuz yönde etkileyebilecek bir durumdur. Fakat yine de makul sayıda antenle (15-20) bir çok kullanıcının yerini ayırmak mümkündür (Şekil 4).

Yine çok kaynaklı sistemlerde sistem çözünürlüğü anten sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Kaynaklar arasında algılanması istenilen en dar açı azaldıkça daha fazla antene ihtiyaç duyulmaktadır. Bu açı eğer 1 derece ise yaklaşık 150 anten gerekmektedir. Fakat pratikte bu kadar yüksek çözünürlüğe ihtiyaç duyulmamaktadır. Sonuç olarak, 20 antenli bir dizi bize en az altışar derece aralıklarla konumlanmış 15 kullanıcıyı ayırma imkanı verecektir ki bu pratikte bir anten sistemi için yeterli olabilecek bir rakamdır. Bu tip bir algoritma ile kullanıcı geliş açılarına göre sınıflandıran bir akıllı anten sistemi bir baz istasyonuna entegre edildiğinde kullanılan anten dizisi sayısına da bağlı olarak kapasiteyi 10 kat kadar artırmaya imkandır. Sistemi geliştirmek için artan anten sayısı ile birlikte artan işlem zamanını düşürmek gerekmektedir. Bu sayede daha fazla kullanıcı tek bir haberleşme hücresinde aynı iletişim kanalını kullanabilecek ve böylece kapasite artırma potansiyeli de istenen boyuta çıkarılmış olacaktır.

KAYNAKLAR

- Fuhl J. (1997): "Smart Antennas for Second and Third Generation Mobile Communications Systems", Doktora Tezi, Viyana Teknik Üniversitesi.
- Kay S.M. (1993): "Fundamentals of Digital Signal Processing: Estimation Theory", Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall.
- Lee C.Y.W. (1973): "Finding the Approximate Angular Probability Density Function of Wave Arrival by Using a Directional Antenna", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol.11, p. 328-335.
- Kloch C., Liang G., Andersen J.B., Pedersen G.F., Bertoni H.L. (2001): "Comparison of Measured and Predicted Time Dispersion and Direction of Arrival for Multipath in a Small Cell Environment", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 49, no. 9, p. 1254-1263.
- Jeng S.S., Okamoto G.T., Xu G., Lin H.P., Vogel W.J. (1998): "Experimental Evaluation of Smart Antenna System Performance for Wireless Communications", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 46, no. 6, p. 749-757.