

Hızlı Bozunum Propogasyon Ortamındaki Düzgün Dairesel Dizili Smart Antenlerin Uzay ve Zaman Korrelasyon Karakteristiği

Adnan Kavak

Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğt.Fak. Elektronik-Bilgisayar Böl.

Anıtpark Yanı 41100 İzmit

Tel: (262) 324-9910/202, Fax: (262) 331-3909

E-mail: adnankavak@yahoo.com, akavak@kou.edu.tr

Özet: Bu makalede, 1800 MHz frekans bandında çalışan smart anten sistemin, düzgün dairesel anten dizisinden sinyallerin zaman ve uzaysal korrelasyonu deneysel sonuçlara dayalı olarak incelenmiştir. Deneyler, The University of Texas at Austinde geliştirilen Smart Anten deney düzeneği kullanılarak Austin (Texas, USA) şehir merkezinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar görüş yolu açık (LOS) ve görüş yolu kapalı (NLOS) propogasyon koşullar için, kümülatif dağılım fonksiyonu (CDF) olarak karşılaştırılmıştır. Her iki ortamdaki zaman korelasyonu ortalama olarak aynı olurken, antenler arasındaki korrelasyon NLOS ortamında LOS ortamına göre daha düşüktür.

1. Giriş

Gezgin haberleşme sistemlerindeki baz istasyonlarında, anten dizileri ve ileri düzeyde işaret işleme tekniklerinin uygulanmasından oluşan Smart Anten Sistemleri (SAS), farklı konumlardaki gezgin kullanıcıdan gelen işaretleri uzaysal-filtreleme yaparak, aynı frekans ve zamandaki işaret etkileşimlerini bastırır [1]. Böylece, SAS gezgin haberleşme sistemlerindeki kapasiteyi artırır, kapsama alanını genişletir, spektral verimliliği artırarak hızlı veri transferine olanak sağlar. Smart anten sistemleri, anten dizisinden gelen temel bant işaretlerin içerdiği kanal propogasyon bilgilerine göre özel anten ışınım patternleri oluşturarak yönsel olarak haberleşme sağlar. Smart anten sistemler için adaptif beamforming algoritması geliştirmede ve performans analizinde, anten dizisindeki işaretlerin uzay ve zaman kanal propogasyonu karakteristikleri (vektör kanal) olarak adlandırılır.) çok önemlidir. Vektör kanalların uzay-zaman korrelasyonu, herbir anten elemanındaki işaretin zamana göre ve diğer bir anten elemanındaki işarete göre değişimi hakkında bilgi içerir. Bu yüzden, uzay-zaman korrelasyon matrisi smart antenler için kanal propogasyonun tam bir karakterizasyonunu sağlar. M elemanlı bir anten dizisi tarafından alınan $M \times 1$ boyutlu X işareti için, uzay-zaman korrelasyon matrisi

$$R_x(\tau) = X(t)X(t+\tau)^* \quad (1)$$

olarak tanımlanır [2]. Örneğin, X işareti içindeki k 'nci gezgin kullanıcıdan gelen $S_k(t)$ işaretini elde etmek için, hata karesinin ortalamasının minimum (MMSE) çözümünü veren kompleks beamforming katsayı vektörü

$$W_k = R_x^{-1} E \left\{ X^*(t) S_k(t) \right\} \quad (2)$$

olarak bulunur. Burada R_x matrisinin yapısı çokyollu (multipath) propogasyon ortamı koşullarına göre değişir ve algoritma sonucunda bulacağımız optimum katsayı vektörünü etkiler. Ortamda bulunan çokyollu dalgaların açısal dağılımı (angle spread) küçük olması durumunda, anten dizisindeki işaretler birbirleriyle yüksek seviyede korelasyona sahip olur ve yaklaşık aynı seviyede bozunuma uğrar. Bu durumda R_x matrisinin eigen dağılımı (eigen spread) yaklaşık "0" olur [3].

Bu çalışmada düzgün dairesel anten dizisinin uzay ve zaman korrelasyon karakteristiğini, hızlı bozunum propogasyon ortamı için Austin, Texas (USA)'ta elde edilen deney verilerine dayanarak inceliyoruz. Deneyler, baz istasyonu kısmında 10cm yarıçapındaki 7 elemanlı düzgün dairesel diziden oluşan The University of Texas at Austin'de geliştirilen smart anten prototipi kullanılarak gerçekleştirilmiştir [4].

2. Smart Anten Sistemi ve Vektör Kanal Kavramı

Smart anten sistemin çalışmasını anlamak için, sinyal model denklemlerini göz önüne alalım. Gezgin kullanıcının, bant genişliği B , frekansı f_c , kompleks temel bant sinyali $s(t)$ olan, lineer modüle edilmiş

$$r(t) = s(t)e^{j2\pi f_c t} \quad (3)$$

sinyalini transmit ettiğini varsayalım. Burada $s(t)$,deki değişim taşıyıcı frekansına göre çok azdır ($B \ll f_c$). Bu sinyal, herbiri varış açısı (direction-of-arrival –DOA) θ_l olan L çokyollu (multipath) baz istasyonundaki M elemanlı anten dizisine ulaşır. Gezgin kullanıcının baz istasyonunun, uzak alanında (far field) ve aynı düzlemde olduğunu varsayalım. Ayrıca anten dizisindeki anten elemanları birbirinin aynısı ve isotropic olduğunu varsayalım. Buna göre, anten dizisi tarafından alınan temel banttaki $M \times 1$ sinyal vektörünün

$$X(t) = \sum_{l=1}^L \eta_l \alpha_l e^{j\phi_l} \mathbf{a}(\theta_l) s(t - \Delta_l) \quad (4)$$

olduğu gösterilebilir [5]. Burada, η_l mesafe kaybı (path loss), yer yansımaları (ground reflection) gibi geniş skala propogasyon etkilerini içerir, α_l ve ϕ_l çokyollu (multipath) propogasyondan ve Doppler kaymasından dolayı olan dar skaladaki sinyalin genlik ve fazındaki değişimi temsil eder, $\mathbf{a}(\theta_l)$ anten dizisinin θ_l açısından gelen referans dalga düzlemine göre olan cevabını içeren $M \times 1$ 'lik 'steering vektör' dür. Δ_l ise zaman domeninde, $s(t)$ temel bant sinyalindeki l 'inci çoklu yoldaki yol (mesafe) gecikmesidir. Anten dizisindeki sinyali lineer zamanla değişmeyen bir sistemin çıkışı olarak

$$X(t) = \int \mathbf{a}(t, \tau) s(t - \tau) d\tau + n(t) \quad (5)$$

ifade edilebilir. Bu sistemin darbe cevabı vektörel bir nicelik olduğundan 'vektör kanal darbe cevabı' (VKDC) olarak adlandırılır ve

$$h(t, \tau) = \sum_{l=1}^L \eta_l \alpha_l e^{j\phi_l} \mathbf{a}(\theta_l) \delta(t - \Delta_l) \quad (6)$$

şeklinde yazılır. Yol gecikmeleri sinyalin bant genişliğinin tersine göre büyük olduğu için ($\Delta_l > B^{-1}$), $h(t, \tau)$ 'genişbant vektör kanal' olarak da adlandırılır. Radyo haberleşme sistemlerinde çoğunlukla Δ_l ihmal edilebilecek kadar küçüktür, ve (6)'daki vektör kanal

$$h(t) = \sum_{l=1}^L \eta_l \alpha_l e^{j\phi_l} \mathbf{a}(\theta_l) \quad (7)$$

şekline indirgenir. Burada (7) ifade edilen $h(t)$ ise 'darbant vektör kanal' ya da kısaca 'vektör kanal' olarak adlandırılır.

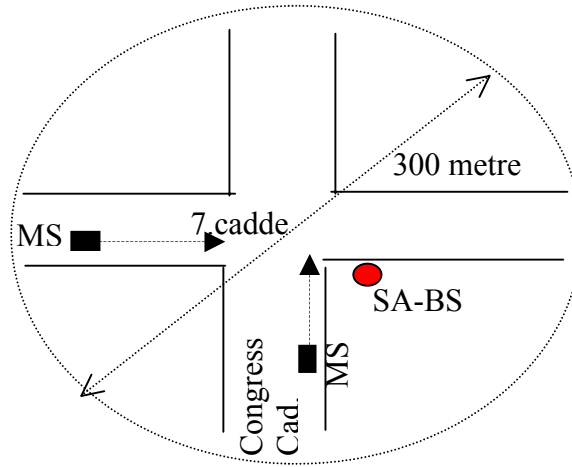
Vektör kanalların propogasyon ortamına göre değişimleri smart anten sistemlerin tasarım ve performansını önemli ölçüde etkiler. Örneğin, uplink sırasında çokyollu sinyallerin uzaysal domendeki açısal dağılımı büyükse, smart anten sistemi istenen kullanıcı sinyalini diğer eşkanallı sinyallerden ayırt etmekte güçlük çekebilir. Downlink sırasında, smart anten sistemi etkileşim sinyalini bastırmaya çalışıyorsa vektör kanal'daki hızlı değişimleri yeterli şekilde takip edebilmeli.

3. Vektör Kanal Propogasyon Ölçümleri

Vektör kanaldaki değişimleri incelemek ve bir kanal modeline ulaşabilmek için, propogasyon ölçümleri The University of Texas at Austin'de geliştirilen smart anten deney düzeneği kullanılarak, Austin (Texas, USA) şehir merkezinde gerçekleştirilmiştir. Propogasyon ortamında düzenli caddeler üzerindeki çok yüksek binalar bulunmaktadır. Ölçüm sistemi, dipol antenli gezgin kullanıcı terminali (mobile station -MS) ve smart anten (SA) sistemli baz istasyonundan (base station –BS) oluşur. Uplink kanal propogasyon karakteristiğini elde etmek için, ölçümlerde MS verici BS alıcı olarak kullanılmıştır. BS'in yeri Şekil 1'de gösterildiği gibi iki ana caddenin (7.cadde ve Congress) kesişimi seçilmiştir. Congress caddesi üzerinde, MS'ten BS'e olan direk propogasyon hattı çoğunlukla bloke olmuş durumdadır (non-line of sight –NLOS) ve sinyaller yansıma ve bükülme yoluyla BS'e ulaşır. 7. cadde üzerinde ise çoğunlukla direk propogasyon hattı (line of sight –LOS) mevcuttur. MS, herbir

cadde üzerinde 50 km/saat sabit hızla yaklaşık 300 metre mesafe hareket etmektedir. Herbir cadde için 4 test sürüşü yapılmıştır.

Baz istasyonundaki smart anten sistemi (SAS), 7- kolineer dipol elemanından oluşan, 10-cm yarıçaplı düzgün dairesel dizi (uniform circular array –UCA) anten ile 8 kanallı transceiver'dan oluşmaktadır. UCA, 20 metre uzunluğundaki teleskop kule ucuna monte edilmiştir. Transceiver ile kontrol bilgisayarı minivan'ın içerisine yerleştirilmiştir. SAS çalışma frekansları: merkez frekansı $f_c = 1880.25 \text{ MHz}$ ve örnekleme frekansı $f_s = 3.072 \text{ MHz}$ 'dir. Test sürüşü sırasında, SA-BS ile toplam 5 sinyal snapshot (herbir snapshot 3.125 ms süreli) vektörü toplanabilmiştir. MS tarafından transmit edilen test sinyali, 1880.35 MHz frekanstaki saf sinüs dalga taşıyıcısıdır. BS'te alınan sinyaller temel bant seviyesine indirgenerek kontrol bilgisayarında kaydedilmiştir.



Şekil 1. Vektör Kanal Propogasyon Ölçüm Ortamı

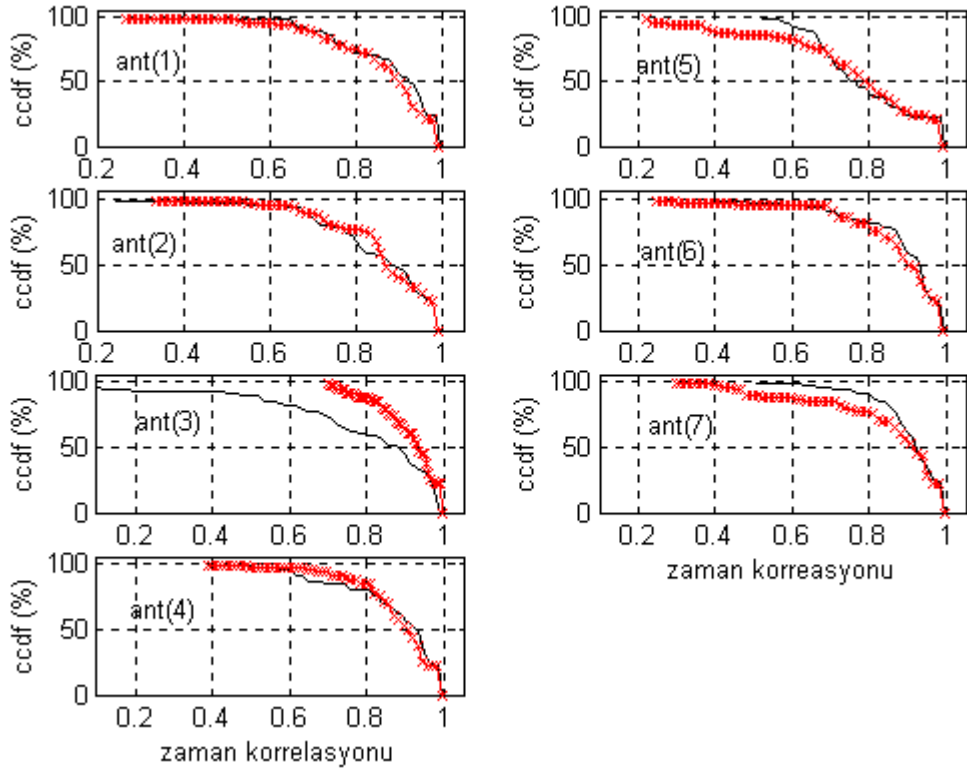
4. Deneysel Analiz ve Sonuçlar

Deneysel verilerin analizinde, herbir sinyal snapshot 30 alt çerçeveye bölünerek incelenmiştir. Böylece bir test sürüşü sırasında 150 korrelasyon matrisi elde edilmiştir. Her propogasyon senaryosu için (LOS veya NLOS rotaları) aynı sürüş 4 kez tekrarlandığı için toplam 600 korrelasyon matrisi oluşturulmuştur. Aracın hareket noktaları aynı olmadığından, istatistiksel olarak aynı caddede değişik noktalardan (aynı doğru üzerinde) ölçüm alınmıştır. Sonuçta elde edilen uzay ve zaman korrelasyon grafikleri Şekil 2 ve 3'te görülmektedir. Zaman korrelasyonu elde edilirken, herbir antendeki sinyalin değişimi 1.antendeki sinyalin t=0 anı referans alınmıştır. Uzaysal korrelasyonda ise 2,3,4,5,6, ve 7. antenlerdeki sinyallerin aynı zaman anındaki 1.antendeki sinyale göre değişimi incelenmiştir.

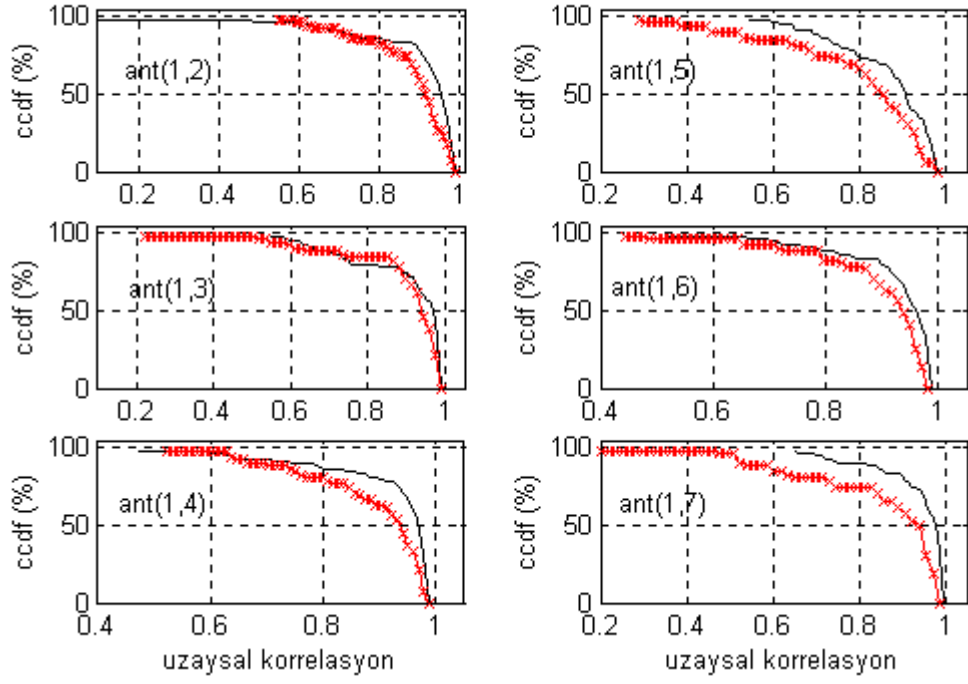
Zaman korrelasyon grafiğini (Şekil 2) incelediğimizde, 3.anten hariç diğer antenlerdeki sinyallerin ortalama korrelasyon değerleri LOS ve NLOS için yaklaşık aynıdır. Uzaysal korrelasyonda ise (Şekil 3), ortalama korrelasyon değerleri LOS ve NLOS ortamları için biraz farklıdır. Bu sonuçlar bize şunu açıklamaktadır: 10 cm çaplı düzgün dairesel antendeki sinyallerin zamana göre değişimi (bozunumu) LOS ve NLOS propogasyon koşullarında yaklaşık olarak ortalamada aynıdır. Ama, anten dizisindeki sinyallerin birbirine göre değişimleri (anten 1-1, 1-3, vs.) LOS ve NLOS ortamlarıyla değişiklik göstermektedir. NLOS ortamındaki uzaysal korrelasyon LOS'a göre daha düşüktür.

5. Referanslar

- [1] J.H Winters, "Smart antennas for wireless systems," IEEE Personal Communications Magazine, vol. 5, no. 1, pp. 23-27, Feb. 1998.
- [2] A.F. Naguib, "Adaptive antennas for CDMA wireless networks," Ph.D. dissertation, Stanford University, 1996.
- [3] J.C. Liberti and B.C. Koshy, "Spatial channel measurements and modeling for smart antenna systems," COST 259/260 Joint Workshop on Spatial Channel Models and Adaptive Antennas, 1999, Vienna, Austria, pp. 35-45.
- [4] A. Kavak, W. Yang, G. Xu, W.J. Vogel, "Characteristics of Vector Propagation Channels in Dynamic Mobile Scenarios," IEEE Transactions on Antennas and Prop., vol. 49, no. 12, Dec. 2001.
- [5] A.Kavak, "Vector Propagation Channel Studies for Smart Antenna Wireless Communication Systems," Ph.D dissertation, The University of Texas at Austin, Austin, TX, USA, 2000.



Şekil 2. 7 Elemanlı 10 cm Çaplı Düzgün Dairesel Anten Dizisindeki Sinyallerin Zaman Korrelasyonu Değişimi. +++: NLOS (Congress caddesi), -----: LOS (7.cadde).



Şekil 3. 7 Elemanlı 10 cm Çaplı Düzgün Dairesel Anten Dizisindeki Sinyallerin Uzaysal Korrelasyonu (Birbirlerine Göre) Değişimi. +++: NLOS (Congress caddesi), -----: LOS rotası (7.cadde)