

Zaman Bölüşümlü Çift Yönlü Akıllı Anten Sistemleri İçin Uyarlamalı Doğrusal Tahmin Tabanlı Hüzme Şekillendirme

Halil YİĞİT, Adnan KAVAK*
Kocaeli Üniversitesi
Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü
İzmit, Kocaeli
halilyigit@kou.edu.tr

* Kocaeli Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
İzmit, Kocaeli
akavak@kou.edu.tr

Özet: Zaman bölüşümlü çift yönlü (Time Division Duplex-TDD) kablosuz haberleşmede bir akıllı anten sisteminin (Smart Antenna System-SAS) aşağı bağlantı hüzme şekillendirme performansı yayılım ortamında bağıl bir hızın olduğu senaryolarda özellikle uzaysal imza vektörlerinin değişiminden dolayı bozulabilir. Bu bozulmayı azaltmak için uyarlanabilir tahmin tabanlı hüzme şekillendirme uygulanabilir. Bu çalışmada aşağı bağlantı ağırlık vektörü olarak uyarlamalı tahmin edilen uzaysal imzaların kullanılmasının geçerliliği gösterilmiştir. Çoklu yollardaki frekans kaymalarının birinci çoklu yoldaki frekans kaymasının tamsayı katı olduğu durumda, tahmin filtresinin artan mobil hızı (V) ve filtre derecesi (P) ile birlikte mobil terminalden alınan sinyalde daha iyi SNR iyileştirmesi başardığı gözlenmiştir.

1. Giriş

Akıllı anten sistemleri (Smart Antenna System-SAS) kablosuz haberleşme sistemlerinde önemli derecede kapasite artırımı ve performans gelişimi sağlamaktadır [1]-[3]. Uzaysal imza vektörü bir SAS'nin anten dizisinde bulunan mevcut sinyallerin yayılım karakteristiklerini tanımlar. Kanal karakteristiklerinin ardışık zaman aralıkları arasında aynı kalması şartıyla, zaman bölüşümlü çift yönlü (Time Division Duplex-TDD) sistemde çalışan akıllı anten sisteminde, aşağı-bağlantı ağırlık vektörü olarak yukarı-bağlantı aralığında en son bilinen uzaysal imza vektörü kullanılır [4]. Ancak, yüksek hızın olduğu durumda, uzaysal imza vektörleri her bir çoklu yoldaki frekans kaymasının neden olduğu hızlı sönmüleme etkisinden dolayı hızlı bir şekilde değişebilir. Bu koşullar altında, yeni mobil konumu için aşağı bağlantı ağırlık vektörü olarak yukarı bağlantı aralığındaki uzaysal imzayı kullanmak, performans ve sinyal gücünde bozulmaya neden olabilir. Bu bozulma aşağı bağlantı aralığında uzaysal imzaların tahmin edilmesi ve hüzme şekillendirme sürecinde bir önceki uzaysal imzaların yerine tahmin edilen değerlerinin kullanılması ile en aza indirilebilir.

Bu çalışmada, aşağı bağlantı ağırlık vektörü olarak özbağlanımlı (Autoregressive-AR) modelleme ile güncellenmiş uzaysal imza vektörlerini kullanan uyarlamalı tahmine dayalı aşağı-bağlantı hüzme şekillendirme performansı incelenmiştir. Doğrusal tahmin filtresinin performansı, değişen mobil hızı (V) ve tahmin filtresi derecesi (P) ile aşağı-bağlantı SNR iyileştirmesi (Δ_{SNR}) ve bağıl hata iyileştirmesi ($\Delta\epsilon$) cinsinden istatistiksel olarak incelenmiştir. Simülasyon sonuçları, uyarlanabilir doğrusal tahmin tabanlı aşağı-bağlantı performansının V, P'deki değişimden önemli derecede etkilendiğini göstermektedir.

2. Uzaysal İmza Vektörü Modeli ve Uyarlanabilir Doğrusal Tahmin

Baz istasyonunda M elemanlı anten dizisi tarafından alınan sinyal,

$$x(t) = s(t)\mathbf{a}(t) + \mathbf{I}(t) + \mathbf{n}(t) \quad (1)$$

ile ifade edilir. Bu eşitlikte $s(t)$ mobil tarafından iletilen temel bant sinyali, $\mathbf{a}(t)$ mobil kullanıcıya karşılık gelen uzaysal imza vektörü, $\mathbf{I}(t)$ parazit sinyali ve $\mathbf{n}(t)$ gürültü vektörüdür. Mobil kullanıcıdan anten dizisine olan yukarı-bağlantı iletimleri, bir doğrultu vektörü oluşturan her biri birer geliş açısı ile ilişkili çoklu yollarla gerçekleşir. Uzaysal imza vektörü $\mathbf{a}(t)$ bu doğrultu vektörlerinin ağırlıklı toplamı olarak ifade edilebilir [4],

$$\mathbf{a}(t) = \sum_{i=1}^L r_i \alpha_i e^{j\varphi_i(t)} \mathbf{v}(\theta_i) \quad (2)$$

Burada, L çoklu yolların sayısını, r_i yayılım yol kaybını, α_i yerel dağıtıcılardan yansıyan yolların neden olduğu kompleks zayıflamayı, $\varphi_i(t)$ mobil hareketinden dolayı (Doppler etkisi) değişen yol uzunluklarının sebep olduğu faz kaymasını, $\mathbf{v}(\theta_i)$ bir θ_i açısından gelen i . inci çoklu yol bileşeni için doğrultu vektörünü göstermektedir. TDD sistemde, akıllı anten sistemi aşağı-bağlantı iletimi için geçerli zaman diliminde geleneksel olarak ağırlık vektörü $\mathbf{w}(t)$ olarak bir önceki yukarı bağlantı zaman dilimi sırasında elde edilen uzaysal imza vektörünü $\mathbf{a}(t-1)$ kullanır,

$$\mathbf{w}(t) = \mathbf{a}(t-1) \quad (3)$$

Hızlı değişen mobil ortamlarında, aşağı-bağlantı ağırlık vektörü olarak (3) eşitliğini kullanmak eski mobil konumuna doğru hatalı hüzmeye şekillendirmesine ve bu yüzden mobil terminalde alınan sinyalde (Signal to Noise Ratio) SNR bozulmasına neden olabilir. Bu problem yeni mobil konumu için aşağı-bağlantı ağırlık vektörünün güncellenmesiyle giderilebilir. Bunun gerçekleştirilebilmesi için, SAS yukarı-bağlantı zaman diliminde uzaysal imza örneklerini gözlemlemelidir. Daha sonra bu örnekler için bir model oluşturmalıdır ve sonra geçerli zaman aralığında aşağı-bağlantı ağırlık vektörü olarak kullanılacak uzaysal imza vektörünü uyarlamalı olarak tahmin etmelidir. Bu şekilde, sinyal gücü minimum kayıp ve istenilen doğrultuda istenilen mobil kullanıcıya iletilir.

Mobil kullanıcının hareketi sırasında Doppler kaymasından dolayı, çoklu yol bileşenlerinin bağıl fazı değişir. Uzaysal imza vektörlerinin elemanları sinüslerin toplamı şeklinde ifade edilebildiğinden dolayı, bu vektörün her bir elemanı zamanla değişen AR proses olarak modellenebilir [5]-[6],

$$a_k(t) = -\sum_{j=1}^P b_{k,j}^* a_{k,j}(t-j) \quad k=1, 2, \dots, M \quad (4)$$

Burada, P model yada tahmin filtresinin derecesi ve $b_{k,j}$ filtre katsayılarıdır. Filtre katsayılarının hesaplanması Yule-Walker eşitliklerinin çözümü ile gerçekleştirilmiştir [6].

3. Simülasyon Sonuçları

Simülasyonlarda uzaysal imza vektörleri verilen mobil hızı (V), açısal yayılım ($\Delta\theta$) ve baz istasyonunda $M=7$ elemanlı düzgün doğrusal anten dizisine (Uniform Linear Array-ULA) gelen çoklu yolların sayısı (L) ve geliş açıları (θ) için üretilmiştir. Örnekleme zamanı $T_s=10/15$ ms olan UTRA-TDD çerçeve yapısı kullanılmıştır [7]. Uzaysal imza vektörünün her bir elemanı için yukarı bağlantı aralığında kaydedilen uzaysal imza örneklerinden P dereceli bir AR model oluşturulur ve sonra her yeni gelen uzaysal imza örneği için model katsayıları güncellenir. Aşağı bağlantı aralığında, sonraki uzaysal imza vektörleri güncellenen AR model katsayıları kullanılarak tahmin edilir. İstatistiksel sonuçlar elde etmek simülasyon 500 defa koşurulmuştur. Her bir simülasyon koşurması için aşağı-bağlantıda elde edilen SNR ve bağıl hata performans değerlerinin ortalaması alınarak, 500 farklı değer ve bu değerlerin kümülatif dağılımları elde edilmiştir. Taşıyıcı frekansı 1.8 GHz ve çoklu yollardaki Doppler kaymaları birinci çoklu yoldaki Doppler kaymasının tamsayı katı olarak alınmıştır.

Aşağı-bağlantı iletiminde uzaysal imzaların tahminlerinin doğruluğunu ölçmek için iki farklı ölçüt kullanılmıştır. Birincisi, (3) de verilen geleneksel uzaysal imzanın yerine, tahmin edilen uzaysal imzanın kullanılmasıyla mobil kullanıcı tarafından alınan güçte oluşan iyileşmeyi gösteren sinyal-gürültü oranı (SNR) gelişimi (Δ_{SNR}) ölçütü,

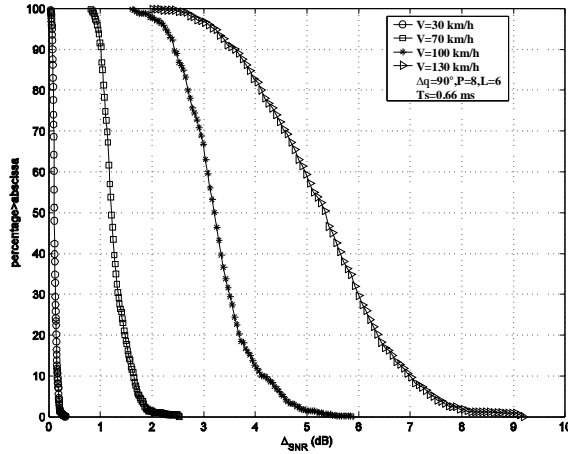
$$\Delta_{SNR}(dB) = 20 \log_{10} \left(\frac{\left| \mathbf{a}_{pred}^H \cdot \mathbf{a}_{actual} \right| \left\| \mathbf{a}_{conv}^H \right\|}{\left\| \mathbf{a}_{pred}^H \right\| \left| \mathbf{a}_{conv}^H \cdot \mathbf{a}_{actual} \right|} \right) \quad (5)$$

İkincisi ise tahmin edilen uzaysal imza vektörünün genlik cinsinden geleneksel uzaysal imzaya göre gerçek uzaysal imzaya olan yakınlığını gösteren bağıl hata gelişimi ($\Delta\epsilon$) ölçütü,

$$\Delta\epsilon(dB) = 20 \log_{10} \frac{\left\| \boldsymbol{\epsilon}_{conv} \right\|}{\left\| \boldsymbol{\epsilon}_{pred} \right\|} = 20 \log_{10} \frac{\left\| \mathbf{a}_{actual} - \mathbf{a}_{conv} \right\|}{\left\| \mathbf{a}_{actual} - \mathbf{a}_{pred} \right\|} \quad (6)$$

Burada, \mathbf{a}_{actual} aşağı-bağlantı aralığında gerçek mobil konumu için olması gereken uzaysal imza vektörünü, \mathbf{a}_{pred} aşağı-bağlantı aralığında tahmin edilen uzaysal imza vektörünü, ve \mathbf{a}_{conv} bir önceki zaman dilimindeki (yukarı-bağlantı aralığındaki) uzaysal imza vektörünü göstermektedir.

Farklı mobil hızları (V) ve tahmin filtresi dereceleri (P) için simülasyonlar tekrarlanmıştır. Şekil 1 ve Tablo 1'den görüldüğü gibi doğrusal tahmin filtresinin performansı mobil hızındaki değişimden oldukça etkilenmektedir. Mobil hızı 30 km/h' den 130km/h' e değiştiği zaman yüksek mobil hızlarında daha büyük Δ_{SNR} değerleri elde edildiği gözlenmiştir. Diğer bir deyişle, ardışık aşağı bağlantı ve yukarı bağlantı zaman aralıklarındaki uzaysal imza vektörleri yüksek hızlarda daha az korelasyona sahip oldukları için tahmin filtresinin anten dizisinin aşağı bağlantı iletimindeki SNR kaybını gidermesi daha da belirginleşmektedir. Tahmin edilen uzaysal imza vektörü gerçek değerine bir önceki zaman slotundaki uzaysal imza vektörüne göre açı cinsinden daha yakın olmaktadır. Aynı eğilim $\Delta\epsilon$ performansında gözlenmemesine rağmen, mobil hızındaki değişim ortalama olarak yaklaşık olarak 7.3dB-9.8dB aralığında değişim göstermektedir. Tablo 1 değişen tahmin filtresi derecesi (P)'nin anten dizisinin aşağı-bağlantı ışın şekillendirme performansına etkisini göstermektedir. Tablodan görüldüğü gibi, P arttırıldığında daha iyi Δ_{SNR} ve $\Delta\epsilon$ elde edilmektedir. Yüksek dereceli tahmin filtresi kullanımı, tahmin edilen uzaysal imzaların gerçek değerine genlik cinsinden daha iyi yaklaşmasını sağlar.



Şekil 1. Değişen mobil hızları için SNR gelişiminin kümülatif dağılımı

Tablo 1. Farklı mobil hızları (V) ve tahmin filtresi dereceleri (P) için aşağı bağlantı iletimi sırasında elde edilen Δ_{SNR} ve $\Delta\epsilon$ 'nin ortalama değerleri.

		Δ_{SNR} (dB)	$\Delta\epsilon$ (dB)
V (km/h) ($P=8, L=6,$ ve $\Delta\theta=90^\circ$)	30	0.13	7.28
	70	1.29	9.57
	100	3.28	9.79
	130	5.35	8.47
P ($V=100$ km/h, $L=6,$ ve $\Delta\theta=90^\circ$)	2	0.87	5.44
	3	1.96	6.81
	5	2.79	8.23
	8	3.28	9.79

4. Sonuçlar

Akıllı anten sistemlerinde uzaysal imza vektörleri kablosuz bir sistemde Doppler kaymasından dolayı değiştiği zaman, bu vektörlerin yukarı-bağlantı aralığında AR modellemesi ile aşağı-bağlantı aralığında tahmin edilen değerleri, anten dizisinin mobil doğru bir şekilde izlemesini sağlar ve TDD sistemde aşağı-bağlantı hüzmeye şekillendirme performansını iyileştirir. Uyarlamalı tahmin tabanlı aşağı-bağlantı performansı farklı mobil hızı ve tahmin filtresi derecesi koşullarında incelenmiştir. Yüksek mobil hızı koşullarında, bir önceki yukarı bağlantı zaman slotundaki uzaysal imzayı kullanan klasik hüzmeye şekillendirme metoduna göre, uyarlamalı tahmin edilen uzaysal imza vektörünü kullanan hüzmeye şekillendirme metodu daha iyi SNR performansı sağlamaktadır. Daha iyi SNR iyileştirmesi ve bağıl hata iyileştirmesi daha yüksek dereceli tahmin filtresi kullanılarak elde edilebilir.

Kaynaklar

- [1]. L.C. Godara, "Applications of antenna arrays to mobile communications, part I: performance improvement, feasibility, and system considerations," IEEE Proceedings, 85(7), s.1031-1060, Temmuz 1997.
- [2]. A. Kavak, "Adaptive antenna arrays for downlink capacity increase in third generation wireless CDMA," in Proc. IEEE Radio and Wireless Conf., s. 77-80, 2001.
- [3]. J.H. Winters, "Smart antennas for wireless systems," IEEE Personal Comm. Mag., 5(1), s.23-27, Şubat 1998.
- [4]. A. Kavak, W. Yang, G. Xu, ve W.J. Vogel, "Characteristics of vector propagation channels in dynamic mobile scenarios," IEEE Trans. on Ant. Prop., 39(12), s.1695-1702, Aralık 2001.
- [5]. A. Duel-Hallen, S. Hu, ve H. Hallen, "Long-range prediction of fading signals," IEEE Signal Proc. Mag., 17(3), s.62-75, Mayıs 2000.
- [6]. S. Haykin, "Adaptive filter theory," Prentice Hall, NJ, 1996.
- [7]. M. Haardt, et al, "The TD-CDMA based UTRA TDD mode", IEEE J. Sel. Areas in Commun., 18(8), s. 1375-1385, Ağustos 2000.