

Lineer Çoklu-Anten Dizinlerinin Düzgün-Dağılımlı Rastgele Dalga-Gelim-Yönlerine Bağlı Averaj Maksimum-SIR Uzaysal-Filtreleme Bastırımı

Özgür Ertuğ
Gazi Üniversitesi
Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Maltepe, Ankara

Özet: Bu makalede maksimum-SIR ışın-oluşturucu olarak kullanılan lineer anten dizinlerinin düzgün-dağılımlı rastgele dalga-gelim-yönlerine (DOA) bağlı averaj uzaysal filtreleme bastırımlarını incelemekteyiz. Uzaysal enterferans bastırımı için türetilen kapalı-durum formül hem teorik analiz hem de pratik dizayn uygulamaları için yeni kullanım ve öngörüler içermektedir.

1. Giriş

Işın-oluşturma birçok haberleşme ve sinyal işleme sisteminde kullanılan ve istenen sinyallerin gücünü uzaysal filtreleme/enterferans bastırımı ilkesine dayalı olarak arttıran bir sinyal işleme tekniğidir. Işın-oluşturmada çoklu anten dizinleri kullanılarak değişik yönlerden gelen dalga yüzleri farklı biçimde ağırlıklandırılarak istenen sinyaller ya enterferans yaratici sinyallerden ya da öz-enterferansdan ayrıştırılırlar. Bu yöntem özellikle kablosuz haberleşme ve radar sinyal işleme sistemlerinde istenen kullanıcının sinyallerinin diğer yönlerden gelen diğer kullanıcıların sinyallerinden ayrıştırılmasında veya çoklu-gönderim-yollu sönümlemeli kanallar üzerinden iletişim veya gönderimden kaynaklanan öz-enterferansdan ayrıştırılmasında geniş kullanım alanları bulur.

Kullanılan optimizasyon metriklerine ve dalga-gelim-yönleri bilgisine bağlı olarak çeşitli ışın-oluşturma algoritmaları mevcuttur [1]. Biz bu çalışmada temel olarak düzgün-indüklenmiş lineer çoklu anten dizinleriyle maksimum-SIR ışın-oluşturma yönteminin [1] düzgün-dağılımlı DOAler altında averaj uzaysal filtreleme bastırımını matematiksel kapalı-durum bir formül türeterek analitik olarak incelemekteyiz. Bu konu aslında daha önce literatürde incelenmiş olmasına karşın [2] genellikle analitik zorluk ileri sürülerek bilgisayar simülasyonları ile sadece nümerik sonuçlar elde edilmiştir.

Makale şu şekilde organize edilmiştir. 2. Bölüm'de öncelikle sistem modelini belirleyerek averaj uzaysal-filtreleme bastırımı için türettiğimiz analitik kapalı-durum formülünü sunmaktayız. Türetilen sonuç üzerinden elde edilen nümerik sonuçlar ve bunların tartışılması Bölüm 3.'de verilmiştir. Bölüm 4. ise sonuçları ihtiva etmektedir.

2. Averaj Uzaysal-Filtreleme Bastırımı

Çoklu anten dizinleri ile maksimum-SIR ışın-oluşturma – *uzaysal uyumlu-filtreleme* - yönteminde anten dizini normaline göre θ dalga-gelim yönündeki bir sinyale anten dizinin uzaysal tepkisi şu şekilde verilmektedir:

$$F(\theta) = \sum_{i=0}^{M-1} w_i \exp\left(j \frac{2\pi}{\lambda_c} i d_m \sin(\theta)\right) = \mathbf{w}^H \mathbf{a}(\theta) \quad (1)$$

Burada, $\mathbf{w}$ ışın-oluşturma ağırlık vektörüdür ve katsayıları $w_i = C_i \exp(ji\alpha)$ şeklindedir, $\mathbf{a}(\theta)$ dalga-gelim-yönüne bağlı anten dizini manifoldu olarak adlandırılmaktadır ve genel formu $\mathbf{a}(\theta) = [1 \exp(j\theta) \exp(j2\theta) \dots \exp(j(M-1)\theta)]^T$ idir, M anten sayısıdır, λ_c taşıyıcı sinyal frekansı idir ve d_m anten dizinindeki elemenlar arası uzaklıktır. Bu yüzden, eğer parametreler C_i ve α ,

$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda_c} d_m \sin(\theta_0)$ ve $C_i = \frac{1}{M}$ şeklinde set edilirse, 0-dB maksimum normalize edilmiş dizin tepkisi θ_0 yönüne çevrilmiş olur ve diğer yönlerden gelen sinyaller dizin tepkisinin o açılardaki değerine göre bastırılır.

Bugüne kadar literatürde maksimum-SIR ışın-oluşturma için averaj uzaysal-filtreleme bastırımı incelenmeye çalışılmış ve kullanılmıştır, ama bu çalışmalarda analitik zorluk ileri sürülerek daha çok bilgisayar simülasyonları ile nümerik sonuçlar elde edilmiştir [2]. Biz aşağıdaki takip eden öneride, düzgün-indüklenmiş lineer anten dizinlerinin maksimum-SIR ışın-oluşturma yöntemiyle düzgün dağılımlı DOAler altında averaj uzaysal-filtreleme bastırımı için yer darlığı nedeniyle ispatına girmeden analitik bir kapalı-durum formül sunmaktayız.

Öneri 1: Düzgün-aralıklanmış M elemanlı bir lineer anten dizininde, elemanlar arası uzaklık $d_m = \rho \times \lambda_c$ ise ve ρ eleman uzaklığı ile dalga boyu arasındaki *uzaysal örnekleme oranı* iken, DOA θ_j üzerindeki enterferans yaratıcı bir sinyale DOA θ_i açısına yönlendirilmiş statik normalize edilmiş maksimum-SIR ışın-oluşturucu tarafından oluşturulan beklenen averaj enterferans yaratıcı sinyal bastırımı olarak tanımlanan averaj uzaysal-filtreleme bastırımı $S(M, \rho)$, DOAler istatistiki olarak düzgün-dağılımlı şekilde $[-\pi, \pi]$ arasında iken eleman sayısı M ve uzaysal örnekleme oranı ρ cinsinden aşağıdaki şekilde verilmektedir:

$$S(M, \rho) = E \left\{ \mathbf{w}^H(\theta_i) \mathbf{a}(\theta_j) \right\}^2 = \frac{1}{2M^2} \sum_{m=1}^{3M-2} C_M(m) \cdot J_0^2(2\pi\rho(m-M)) \quad (2)$$

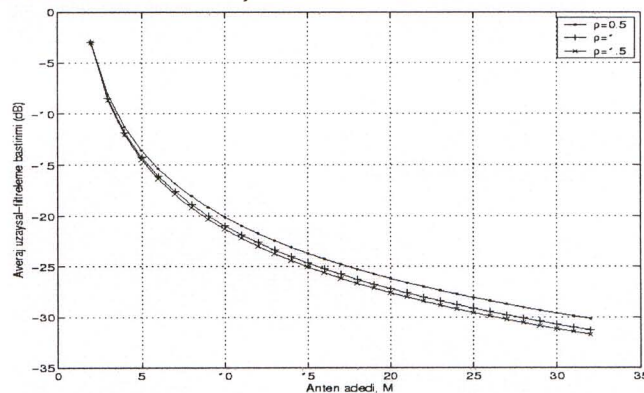
ki burada $J_0(x)$ 0.-derece 1.-çeşit modifiye-edilmiş Bessel fonksiyonu olup simetrik ağırlık katsayıları $C_M(m)$ aşağıdaki şekildedir:

$$\{C_M(m)\}_{m=1}^{3M-2} = \{1, 2, \dots, M-1, M+1, M+1, \dots, M+1, M-1, M-2, \dots, 2, 1\} \quad (3)$$

ve simetrik ağırlık katsayıları dizinin ortasındaki $M+1$ sayısı M idir. $\diamond$

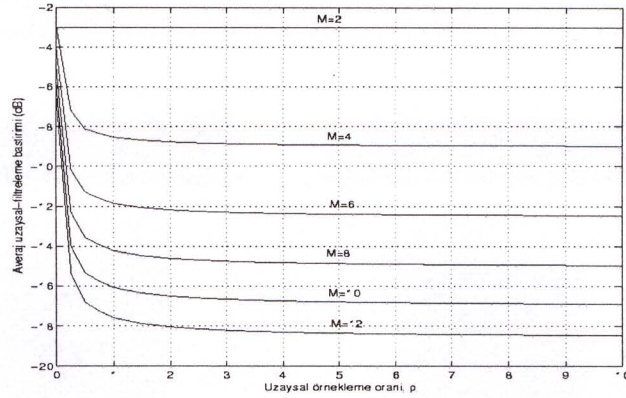
3. Nümerik Sonuçlar ve Tartışma

Şekil 1.'de averaj uzaysal-filtreleme bastırımını anten sayısına karşılık olarak uzaysal örnekleme oranı ile parametrize edilmiş şekilde ($\rho = 0.5, 1, 1.5$) sunmaktayız. Averaj uzaysal-filtreleme bastırımı ışın-oluşturma antenlerinin sayısı ile daimi olarak artmaktadır, ama buna karşın diferansiyel bastırım artışı anten sayısının artışı ile azalmaktadır. Bu yüzden, çok yüksek sayıda ışın-oluşturma anteni kullanılması, özellikle normal uzaysal düzlemin örneklenmesi uzaysal örnekleme oranı aracılığı ile anten boyutunun mobil terminal cihazları için ufak tutulması açısından yüksek tutulduğunda, çok mantıklı değildir; çünkü diferansiyel averaj uzaysal-filtreleme bastırımındaki artış uzaysal örnekleme oranı artışı ile de azalmaktadır.

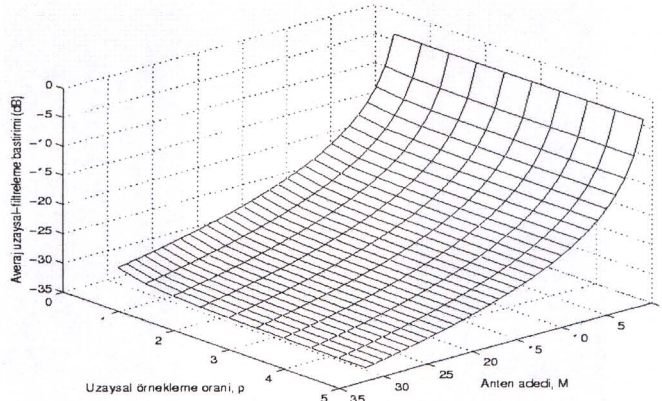


Şekil 1. Anten adedi M 'e karşılık uzaysal örnekleme oranı ρ ile parametrize edilmiş averaj uzaysal-filtreleme bastırımı (dB)

Bunun ötesinde Şekil 2.'de ise averaj uzaysal-filtreleme bastırımını uzaysal örnekleme oranına karşılık anten sayısı ile parametrize edilmiş şekilde sunmaktayız. Anten sayısına karşılık olan analizde olduğu gibi, averaj uzaysal-filtreleme bastırımı uzaysal örnekleme oranı artışı ile de daimi artmaktadır, buna karşın diferansiyel bastırım artışı uzaysal örnekleme oranı artışı ile azalmaktadır. Ayrıca, uzaysal-filtreleme bastırımı Bessel fonksiyonunun içindeki argümanı π 'nin tam katı yapan en küçük değer olan 0.5'den sonra çok keskin bir doyuma ulaşmaktadır. Bunun nedeni de 0.5 uzaysal örnekleme oranından sonra zamansal örnekleme sistemlerinde olduğu gibi anten dizini normal düzlemdeki sinyalleri dalga boylarına göre tekil olarak örnekleyememekte ve örneklemede uzaysal örtüşüm başlamaktadır. Şekil 3.'de de anten adedi M ve uzaysal örnekleme oranı ρ 'ya karşılık averaj uzaysal-filtreleme bastırımı performans yüzeyini sunmaktayız.



Şekil 2. Uzaysal örnekleme oranı ρ 'ya karşılık anten sayısı M ile parametrize averaj uzaysal-filtreleme bastırımı (dB)



Şekil 3. Uzaysal örnekleme oranı ρ 'ya ve anten sayısı M 'e karşılık averaj uzaysal-filtreleme bastırımı (dB)

4. Sonuçlar

Bu çalışmada uzaysal enterferans bastırımı ve sinyal ayrıştırımı için kullanılan çoklu anten dizinleriyle maksimum-SIR ışın-oluşturma yönteminin averaj uzaysal-filtreleme bastırımını incelemiş bulunmaktayız. Averaj uzaysal-filtreleme bastırımı için düzgün-dağılımlı DOAler altında türetilen ışın-oluşturucu anten sayısı ve uzaysal örnekleme oranına bağlı analitik kapalı-durum formülü kablosuz haberleşme sistemleri veya radar sinyal işleme gibi ışın-oluşturmanın yaygın olarak kullanıldığı alanlarda hem teorik performans analizi hem de dizayn metodolojisi ve kriterleri belirlenmesi açısından yeni kullanım ve öngörüler içermektedir.

Kaynaklar:

- [1] J. Litva and T. K. Lo, Digital Beamforming in Wireless Communications. Artech Yayınevi, 1996.
- [2] G. W. K. Colman ve S. D. Bolstein. "Improved Power and Capacity Predictions of a CDMA System with Base Station Antenna Arrays and Digital Beamforming," Proceedings 19th Biennial Symposium on Communications, Kingston, June 1998, s. 280-284.