

R-MUSIC ve ESPRIT Yöntemlerinin Yankı Çözünürlüğü Açısından Karşılaştırılması

Gaye Yeşim TAFLAN^{1*}, Hülya GÖKALP²

¹Uçak Bakım ve Onarım Bölümü, Samsun Üniversitesi, Samsun, Türkiye

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye

*Corresponding author: gtaflan@omu.edu.tr

[†]Speaker: gtaflan@omu.edu.tr

Presentation/Paper Type: Oral / Full Paper

Özet – Bu çalışmada, frekans çözünürlüğünün (yankı çözünürlüğünün) R-MUSIC (Root-MUSIC, Çoklu Sinyal Sınıflandırma) ve ESPRIT (Rotasyonel Değişmezlik Tekniği ile İşaret Parametrelerinin Kestirimi) yöntemleri kullanılarak nasıl değiştiği incelenmiştir. Bu yöntemler, girişimli kanal verisine uygulanmıştır [1]. Az yankılı ve orta yankılı iki kanal verisi yöntemlerin başarımını incelemek için seçilmiştir. Aynı model değişkenleri için R-MUSIC yönteminin, ESPRIT yöntemine göre daha iyi sonuç verdiği ve 1.5 katlık yankı çözünürlüğü iyileşmesi sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler – çözünürlük, FMCW, girişim, R-MUSIC, ESPRIT, altuzay

Abstract – This paper presents how the frequency resolution (echo resolution) changes with Root MUSIC (Multiple Signal Classification) and ESPRIT (Estimated Signal Parameters via Rotational Invariance Technique) methods. These methods are applied to the FMCW channel data with interference [1]. Two channel data with low and medium echo densities are used for evaluation of method's performance. It has seen that the Root MUSIC algorithm outperformed the ESPRIT algorithm under the same parameters and R-MUSIC algorithm had 1.5 times improvement in frequency resolution.

Keywords – resolution, FMCW, interference, R-MUSIC, ESPRIT, subspace

I. GİRİŞ

Gezgin iletişim sistemlerinin başarımını kestirebilmek amacıyla sistemlerin kullanılacağı farklı bölgeleri temsil eden (bina içi/dışı, şehir içi/dışı, kırsal bölge gibi sınıflandırılan) alanlarda yayınımların ölçümleri yapılır [2]. Toplanan veriler işlenerek kanal değişkenleri (etkin yankı dağılımı, tutarlı bant genişliği vb.) hesaplanır ve değişken değerlerinin istatistiksel dağılımına bakılır.

Sürekli Dalga Frekans Modülasyonu (FMCW) yöntemi düşük güçte verici kullanılmasına olanak sağladığı için birçok uygulamada tercih edilmekle birlikte radyo kanalı yayınımların özelliklerini belirlemek için de kullanılır. Bu ölçümlerde, bant genişliği arttıkça yankı çözünürlüğü iyileşir ve kanal ile ilgili daha ayrıntılı bilgi elde edilir.

FMCW sistemleri için yankı çözünürlüğünü değerlendirmek için frekans ya da menzil çözünürlüğü de incelenebilir. Klasik yöntemlerin (Hızlı Fourier dönüşümü temel alınan yöntemler) olumsuz etkilerinin giderilmesi için sinyal aşağı örnekleme ve sıfır ekleme yöntemlerinin birlikte kullanımı önerilmiştir. [3] FMCW radarlarda, menzil çözünürlüğü eğri uydurma yöntemi kullanılarak 20 kattan fazla artırılmıştır [4]. Hızlı zaman düzlemi kalibrasyon doğrusallaştırma yöntemi (FTDC) kullanılarak, tayfdaki yan yuvarlaklarda 10dB'lik bir azalma gözlenerek menzil çözünürlüğünün iyileştiği belirtilmiştir [5].

Bu çalışmada, birbirine komşu iki frekans noktasının (yankının) ayrıştırılması olarak ifade edilen yankı çözünürlüğünü değerlendirmek amacıyla, iki yöntem kullanılmıştır: R-MUSIC ve ESPRIT. Bu yöntemler alt uzay tabanlı yöntemler olup, sinyal ve gürültü alt uzayı olarak ikiye ayrılması ilkesine dayanır. MUSIC yöntemi gürültü öz vektörü ile işlem yaparken, ESPRIT yöntemi sinyal özvektörünü kullanır.

Son yıllarda MUSIC, R-MUSIC ve ESPRIT yöntemleri varış yönünün hesaplanmasında sıklıkla kullanılmış ve yöntemlerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Yüksek çözünürlük yön bulma algoritmaları olarak MUSIC, R-MUSIC ve ESPRIT yöntemlerinin kullanıldığı bir çalışmada; geniş anten dizilerinde MUSIC algoritmasının, çok sayıda mobil kullanıcının olduğu dar açı ayrıştırma ve düşük işaret gürültü oranlarında (SNR) R-MUSIC algoritmasının tercih edilebileceği benzetim sonuçları ile doğrulanmıştır [6]. Performans iyileştirmenin; MUSIC yönteminin keskin tepeler oluşturması, ESPRIT yönteminin açı belirlemede küçük hatalar göstermesi olarak belirtildiği başka bir çalışmada, ESPRIT yöntemi ile daha çok hata elde edilmiştir [7]. MUSIC yöntemi ESPRIT yöntemine göre daha tutarlı ve doğru sonuçlar vermiştir [7-8]. Bu iki yöntemin, hesaplama zamanı ve varış yönü belirleme açısından değerlendirildiği diğer bir çalışmada, ESPRIT yönteminin daha iyi olduğu belirtilmiştir [9]. SNR değerinin yüksek ve kaynakların ilintisiz olduğu durumda, R-MUSIC yöntemi ESPRIT

yönteminden daha iyidir [10]. Çok sinyalin olduğu bazı durumlarda, MUSIC yöntemi ile belirlenemeyen bazı köklerin R-MUSIC yöntemi ile bulunabileceği belirtilmiştir [11].

Bu çalışmanın içeriği şöyledir: Bölüm II’de R-MUSIC ve ESPRIT yöntemleri hakkında kısa teorik bilgi verilmiştir. Belirtilen yöntemlerin kanal verilerine uygulandığı ve başarımlarının değerlendirildiği Bölüm III’ün devamında sonuçlar (Bölüm IV) kısmı yer almaktadır.

II. R-MUSIC VE ESPRIT YÖNTEMLERİ

Karmaşık değerli sinüs sinyali ile gürültünün toplamından oluşan $y(t)$ sinyali aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$y(t) = x(t) + e(t) = \sum_{k=1}^n \alpha_k e^{i(w_k t + \phi_k)} + e(t) \quad (1)$$

Burada, α_k, w_k ve ϕ_k sırasıyla sinüs sinyalinin genlik, frekans ve fazıdır, $e(t)$ ise eklenen gürültüdür.

$\tilde{y}(t) = A\tilde{x} + \tilde{e}(t)$ kullanılarak $\tilde{y}(t)$ nin kovaryans matrisi

$$R = E\{\tilde{y}(t)\tilde{y}^*(t)\} = APA^* + \sigma^2 I \quad (2)$$

olarak tanımlanır. Burada, $a(w) = [1 e^{-iw} \dots e^{-i(m-1)w}]^T$,

$$A = [a(w_1) \dots a(w_{1n})], \quad P = \begin{bmatrix} \alpha_1^2 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \alpha_n^2 \end{bmatrix} \text{ ve } I \text{ birim}$$

matristir.

A. R-MUSIC Yöntemi

MUSIC yöntemi, kovaryans modeli kullanılarak hesaplanır ((2) denklemi) R 'nin özdeğerleri büyükten küçüğe doğru sıralandığında ($\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m$ ($m > n$)), $\{s_1, \dots, s_n\}$ $\{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$ işaret özdeğerlerine karşılık gelen ortonormal özvektörleri, $\{g_1, \dots, g_n\}$ $\{\lambda_{n+1}, \dots, \lambda_m\}$ gürültü özdeğerlerine karşılık gelen ortonormal özvektörlerdir. Bu tanım ile R 'nin özdeğerleri iki alt uzaya (işaret ve gürültü alt-uzayları) karşılık gelecek şekilde ayrılmış olur.

R-MUSIC algoritması için aşağıdaki adımlar gerçekleşir [12]:

1. Kovaryans matrisi hesaplanır ve öz ayrıştırma yapılır.
2. Aşağıdaki eşitliğin n kökünün (birim çembere en yakın) açısasal konumu kullanılarak frekans kestirimi yapılır:

$$a^T(z^{-1})\hat{G}\hat{G}^*a(z) = 0$$

Burada, $a(z)$, $a(w)$ vektöründe e^{iw} yerine z yazılması ile elde edilir ve $a(z)=[1, z^{-1}, \dots, z^{-(m-1)}]^T$ dir.

B. ESPRIT Yöntemi

$$S_1 = [I_{m-1} \ 0]S \quad (3)$$

$$S_2 = [0 \ I_{m-1}]S \quad (4)$$

ve

$$D = \begin{bmatrix} e^{-iw_1} & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & e^{-iw_n} \end{bmatrix} \quad (5)$$

iken

$$S_2 = S_1 D \quad (6)$$

dönüşümü bir rotasyondur ve ESPRIT yöntemi bu rotasyonel dönüşüme dayanır. Burada, $S = AC, C = PA^*S\Delta^{-1}$ ve

$$\Delta = \begin{bmatrix} \lambda_1 - \sigma^2 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \lambda_n - \sigma^2 \end{bmatrix} \text{ dir.}$$

ESPRIT yöntemi, aşağıda verilen ϕ matrisinin özdeğerleri olan $\{\hat{V}_k\}$ kullanılarak, $-arg(\hat{V}_k)$ den frekansları belirler:

$$\hat{\phi} = (\hat{S}_1^* \hat{S}_1)^{-1} \hat{S}_1^* \hat{S}_2 \quad (7)$$

ESPRIT algoritması için aşağıdaki adımlar gerçekleşir [12]:

1. Matris hesaplanır ve öz ayrıştırma yapılır.
2. $\hat{\phi} = (\hat{S}_1^* \hat{S}_1)^{-1} \hat{S}_1^* \hat{S}_2$ matrisi kullanılarak özdeğerler hesaplanır ve $-arg(\hat{V}_k)$ ile frekans kestirimi yapılır.

III. YÖNTEMLERİN BAŞARIMLARININ İNCELENMESİ

Bu çalışmada, Sürekli dalga frekans modülasyonu sistemi ile elde edilen veriler kullanılmıştır. Bu sistemde, frekans zamanla doğrusal olarak değişir. Vericiden iletilen sinyal, çok yollu yayınımdan dolayı farklı yollardan alıcıya zayıflamış, gecikmiş olarak gelir. Alıcıda, alınan sinyal ile vericiden iletilen sinyal çarpılır ve alçak geçiren süzgeçten geçirilir. Algılayıcı çıkışı, farklı frekansta sinüslerin toplamı biçimindedir. Bu sinüslerin frekansları, yankı gecikmelerini, genlikleri ise yankı genliklerini ifade eder.

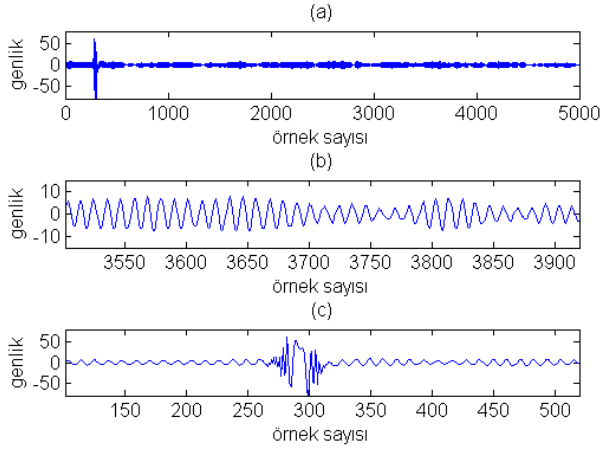
R-MUSIC ve ESPRIT yöntemlerinin yankı çözünürlüğündeki başarımlarının incelenmesi aşağıda verilen adımlar gerçekleştirilmiştir:

1. Kanal verisi için yaklaşık 1.5 kat bant genişliği olan veri aralığına FFT yöntemi uygulanır.
2. MUSIC ve ESPRIT yöntemleri için giriş değişkenleri (m ve n) belirlenir.
3. Belirlenen giriş değişkenleri, m ve n , ile her iki yöntemde yankı bileşenleri hesaplanır.
4. Ana yankıların olduğu yankı gecikme aralığı sınırlandırılır; bu aralıktaki yankı gecikme değerleri belirlenir ve bir tabloya aktarılır.

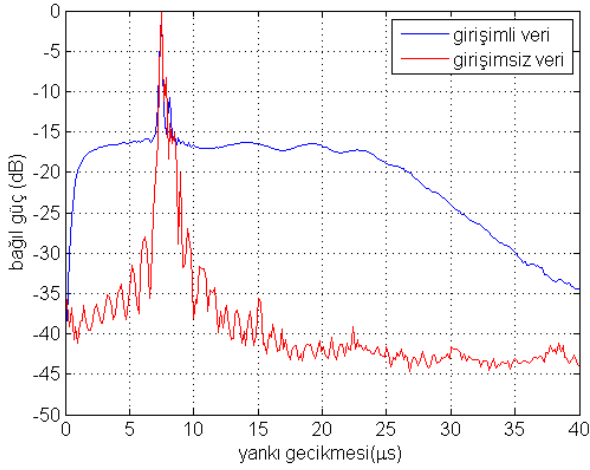
Bu çalışmada iki kanal verisi kullanılmıştır. Bu verilerden ilki az yankılı kanal özelliği gösteren kanal-1 verisi; ikincisi ise orta yankılı kanal özelliği gösteren kanal-2 verisidir. Her iki veride bant içi girişim mevcuttur.

A. Az Yankılı Kanal (Kanal-1) Verisi

Kanal-1 verisinin, her taraması 5000 örnekten oluşur, örnekleme frekansı 0.5 MHz'dir ve tarama sıklığı 100 Hz'dir. Bu kanal verisi için, 5 MHz'lik RF bandına karşılık gelen veri (420 örnek) kullanılmıştır. Bant içi girişimin olduğu örnek aralığı 101-520 ve girişimin olmadığı örnek aralığı 3501-3920 olarak belirlenmiştir. Şekil 1.a'da kanal-1 verisinin tek bir taramasının zamanla değişimi, Şekil 1.b'de bu taramanın 3501-3920 örnek aralığı, Şekil 1.c'de ise 101-520 örnek aralığı verilmiştir. Girişimin olmadığı durumda genlik seviyesi yaklaşık 10 iken, girişim sinyalinin eklenmesi ile bu seviye 70 olmuştur ve sinyalde ani genlik değişimleri görülmüştür. Girişimin olduğu/olmadığı durum için ortalama yankı profilleri Şekil 2'de verilmiştir. Ortalama yankı profili 5MHz'lik RF bandına karşılık gelen veri kullanılarak, her taramanın hızlı Fourier dönüşümünün genliğinin karesi hesaplanıp ortalaması alınarak belirlenir. Girişimin etkisi ile gürültü tabanı ~22 dB yükselmiştir.

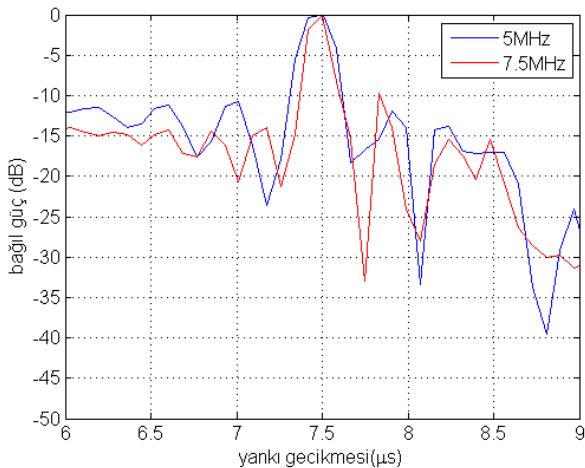


Şekil 1. Kanal-1 verisinin tek tarama için zamanla değişimi



Şekil 2. Kanal-1 verisinin bant içi girişimin olduğu/olmadığı veri aralıkları için ortalama yankı profili

Kanal-1 verisi incelemesinde, MUSIC ve ESPRIT yöntemleri için 420 örnek, FFT yöntemi için bunun 1.5 kat band genişliğine karşılık gelen aynı merkezli 620 örnek seçilmiştir; veri aralığı merkezde kalmak üzere her iki taraftan 100er örnek ilave edilmiştir. Tek bir tarama için Şekil 3'teki yankı profili elde edilmiştir. Ortalama yankı profili referans alınarak, tek taramanın yankı profili 6-9µs zaman aralığına sınırlanmıştır.



Şekil 3. Kanal-1 verisinin 7.5 MHz'lik bant genişliğinde yankı profili

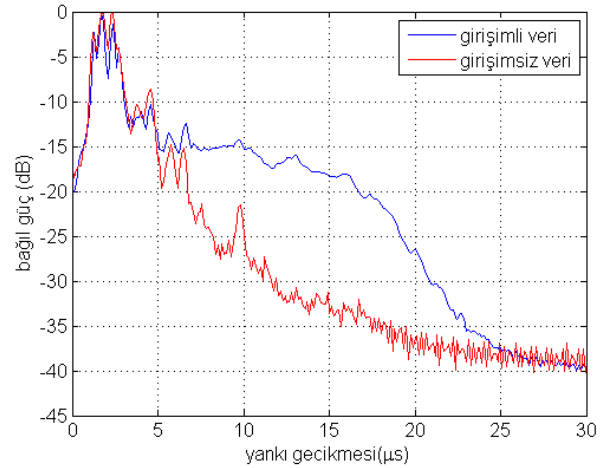
Bu verinin FFT (620 veri noktası), MUSIC (420 veri noktası) ve ESPRIT (420 veri noktası) yöntemleri ile elde edilen yankı tepe noktaları 6-9µs aralığı Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'den MUSIC yönteminin yankıları belirleme anlamında daha iyi sonuçlar ürettiği; ESPRIT yönteminin ise belirlenen yankıları daha az hata ile elde ettiği görülmüştür.

Tablo 1. 6-9µs aralığındaki yankı bileşenleri

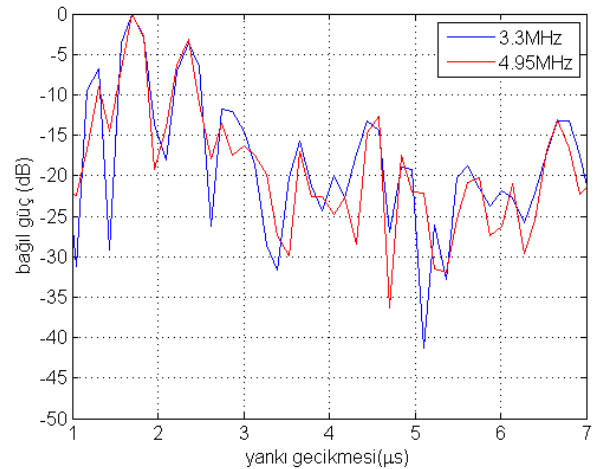
FFT	6.0345	6.279	6.605	6.8498	7.176
		7.5022	7.8284	8.2361	8.4808
ESPRIT	6.2153	6.6860	7.5282	7.8240	8.3440
R-MUSIC	6.2255	6.5267	6.8020	7.1114	7.4518
MUSIC	7.8062	8.1263	8.4355	8.7592	

B. Orta Yankılı Kanal (Kanal-2) Verisi

Kanal-2 verisinin her taraması 4000 örnekten oluşur. Örnekleme frekansı 1 MHz'dir ve tarama sıklığı 250 Hz'dir. Bu kanal verisi için, 3.3 MHz'lik RF bandına karşılık gelen veri kullanılmıştır, yani seçilen örnek aralıkları 220 örnekten oluşturulmuştur. Girişimin olduğu/olmadığı durum için ortalama yankı profilleri Şekil 4'te verilmiştir. Girişim sonucunda gürültü tabanı ~20 dB yükselmiştir.



Şekil 4. Kanal-2 verisinin bant içi girişimin olduğu/olmadığı veri aralıkları için ortalama yankı profili



Şekil 5. Kanal-2 verisinin 4.95 MHz'lik bant genişliğinde yankı profili

Bu verinin FFT (330 veri noktası), MUSIC (220 veri noktası) ve ESPRIT (220 veri noktası) yöntemleri ile elde edilen yankı tepe noktalarının 1-7µs aralığı Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'den MUSIC yönteminin yankıları

belirleme anlamında daha iyi sonuçlar ürettiği, ESPRIT yönteminin ise güçlü yankılardan birini (2.3 μ s) belirleyemediği görülmüştür.

Tablo 2. 1-7 μ sn aralığındaki yankı bileşenleri

FFT	1.3071	1.6992	2.3527	2.7448	3.0062
	3.6598	3.9212	4.1826	4.5747	4.8361
	5.751	6.143	6.666		
ESPRIT	1.4494	1.6893	2.8904	3.4776	4.1645
	5.7636	6.1824	6.9799		
R-MUSIC	1.2939	1.7203	2.4291	2.8171	3.1878
	3.5285	3.8644	4.1665	4.5469	5.6886
	6.9576				

IV. SONUÇLAR

Bu çalışmada, MUSIC ve ESPRIT yöntemleri bant içi girişimli iki kanal verisi için yankı çözünürlüğü açısından değerlendirilmiştir. Bu yöntemlerin çözünürlükte 1.5 kat iyileşme değerlendirmesinde referans olarak 1.5 kat verinin (band genişliğinin) Hızlı Fourier Dönüşümü kullanılmıştır. Yankı çözünürlüğünde 1.5 kat iyileşme değerlendirmesinde, MUSIC yönteminin ESPRIT yöntemine göre çok daha iyi olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] S. Salous, H. Gokalp, "Medium- and large-scale characterization of UMTS-allocated frequency division duplex channels", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 56, pp. 2831-2843, 2007.
- [2] T.S. Rappaport, *Wireless Communications Principles and Practice*, Prentice Hall PTR, 1996.
- [3] A. Macaveiu, "Discrete spectra frequency resolution improvement", *10th International Symposium on Electronics and Telecommunications*, 2012.
- [4] H.-H. Ko, K.-W. Cheng, H.-J. Su, "Range resolution improvement for FMCW radars", *European Radar Conference*, 2008.
- [5] J. Yongqi, H. Guoyu, X. Yongbin, F. Hui, "A FTDC technique to improve the range resolution of short range FMCW radar", *3rd International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology*, 2002.
- [6] U. Hamid, S. A. Abbas, "Application of high resolution direction finding algorithms in mobile communications", *International Conference on Intelligent Systems Engineering*, 2016.
- [7] T. B. Lavate, V. K. Kokate, A. M. Sapkal, "Performance analysis of MUSIC and ESPRIT DOA estimation algorithms for adaptive array smart antenna in mobile communication", *Second International Conference on Computer and Network Technology*, 2010.
- [8] O. A. Oumar, M. F. Siyau, T. P. Satta, "Comparison between MUSIC and ESPRIT direction of arrival estimation algorithms for wireless communication systems", *The First International Conference on Future Generation Communication Technologies*, 2012.
- [9] B. Vikas, D. Vakula, "Performance comparison of MUSIC and ESPRIT algorithms in presence of coherent signals for DoA estimation", *International Conference of Electronics, Communication and Aerospace Technology*, 2017.
- [10] A. Patwari, G.R. Reddy, "1D direction of arrival estimation using root-MUSIC and ESPRIT for dense uniform linear arrays", *2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology*, 2017.
- [11] C.C. Teague, "Root-MUSIC direction finding applied to multifrequency coastal radar", *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 2002.
- [12] P. Stoica, R. Moses, *Introduction to Spectral Analysis*, Prentice Hall, 1997.