

MUSIC ALGORİTMASI VE ÖZNETELİK KAYNAŞTIRMA TEKNİKLERİ KULLANILARAK AÇI DEĞİŞİMLERİNE VE GÜRÜLTÜYE DUYARLILIĞI AZALTILMIŞ YENİ BİR ELEKTROMANYETİK HEDEF SINIFLANDIRICI

Mustafa Seçmen, Gönül Turhan-Sayan
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Elektronik Mühendisliği Bölümü
Balgat, Ankara

msecmen@metu.edu.tr, gtsayan@metu.edu.tr,

Özet: *Bu bildiri, elektromanyetik saçınım alan verilerinin doğal rezonanslarla ilişkili geç-zaman bölgesi kullanılarak öznetelik çıkartmaya dayalı, yeni bir hedef sınıflandırma yöntemi tanıtılmaktadır. Öznetelik çıkartma aşamasında çoklu sinyal sınıflandırma (MUSIC) algoritmasının basit ama etkili bir öznetelik kaynaştırma yöntemi ile birlikte kullanılması, önerilen hedef sınıflandırma yönteminin hem test verilerindeki öngörülemez açığı azaltmış, hem de verilerin SNR (sinyalin gürültüye oranı) seviyelerine olan duyarlılığını önemli ölçüde azaltmıştır. Bu yöntemin diğer önemli üstünlükleri, hedef sınıflandırıcı tasarımında sadece birkaç değişik referans açısında veri kullanımını gerektirmesi ve aktif sınıflandırma aşamasındaki hesaplama yükünün çok az olması nedeniyle gerçek zamanlı hedef tanıma uygulamalarını mümkün kılmasıdır.*

1. Giriş

Elektromanyetik hedef sınıflandırıcı tasarımında en kritik basamak hedeflerin öznetelik bilgilerinden oluşan referans veri tabanının hazırlanmasıdır. Bu öznetelik bilgileri, işlevsel frekans bandında her türlü görüş açısı ve polarizasyonda verilen bir hedefi yeteri kadar iyi tanımlayabilmeli, bu hedefi diğerlerinden ayırabilecek hedefe özgü nitelikleri içermelidir. Bir hedefin sistem kutupları, görüş açısı ve polarizasyondan bağımsız olmaları nedeniyle hedef sınıflandırma amacıyla kullanılabilir ideal bir öznetelik kümesi oluştururlar. Bu kutuplar, tekil açılım metodunda (SEM) belirtildiği üzere hedefin geç-zaman saçınım sinyallerini oluşturan sönümlü sinüs dalgası formundaki rezonans bileşenleri ile bire bir ilişkilidir [1].

MUSIC algoritması, Gauss gürültülü ortamlardaki sinyallerden sönümlü veya sönümlenmeyen sinüs tipi sinyal bileşenlerinin parametrelerini elde etmek amacıyla kullanılan bilindik bir işaret işleme aracıdır [2]-[3]. Ancak, elektromanyetik hedef tanıma uygulamalarındaki hedefe ait geç-zaman saçınım sinyalleri gibi çok sayıda sönümlenen sinüs bileşeni içeren sinyallerde gürültü seviyesi arttıkça, standart MUSIC algoritmasını kullanarak saçınım verilerinden hedef sistem kutuplarının ve de özellikle kutupların gerçel kısımlarının yeterli doğrulukla tesbiti zorlaşmaktadır. Diğer kutup çıkarım tekniklerinde de görülen bu zorluktan dolayı, bu bildiriye sınıflandırıcı yöntemi hedefe ait kutup bilgilerini doğrudan çıkarmak yerine kutup bilgilerini dolaylı olarak kullanan ikincil bir hedef öznetelik bilgilerinin çıkarımını esas almaktadır. Önerilen yeni yöntemde, tasarımın yapılacağı frekans bandında ve kullanılacak her bir referans açısında, MUSIC tayf matrisi (MTM) adı verilen bir öznetelik matrisi hesaplanır. Kompleks frekans düzlemi üzerinde tanımlanan bu matrisler, referans açılarındaki hedefin diğerlerine göre daha baskın kutup değerlerini tahmin edebilmek için, saçınım sinyalinin içindeki sönümlü rezonans bileşenlerinin kuvvetlerini göreceli olarak belirlerler. Ayrıca, hedef kutupları genelde farklı görüş açılarındaki farklı şiddetlerde uyarıldıkları için [1] bir açıda yeterli kuvvette gözlenemeyen bir kutup etkisinin başka bir referans açısında yakalanabilme olasılığı birden fazla açıda MTM hesaplayarak artırılmaktadır. Sınıflandırıcı tasarımında her bir aday hedef için hesaplanmış referans MTM'lerin hepsinin toplanması ile elde edilen kaynaştırılmış MUSIC tayf matrisi (KMTM) o aday hedefi sınıflandırıcı veri tabanında ayırtılabilmek için kullanılan ana özneteliktir. Gerçek zamanlı tanıma safhasında, rastgele bir görüş açısında test hedefi algılandığında, test verilerinden hesaplanmış MTM her aday hedefe ait KMTM ile kıyaslanır. Bu aşamada hesaplanmış en yüksek ilinti (korelasyon) katsayısı, test hedefinin hangi hedef olduğunu belirler.

2. MUSIC Tayf Matrisi ve Sınıflandırıcı Tasarımı

Bu bildiriye asıl hedef özneteliği olarak kullanılan MUSIC tayf matrisi, $P(u,v)$, kısaca şöyle tanımlanır.

$$y(n) = \sum_{i=1}^L d_i e^{s_i n} + w(n) \quad , \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

belli bir görüş açısı ve polarizasyondaki hedefe ait saçınım sinyalinin geç-zaman bölgesine ait $s_i = \alpha_i + j\omega_i$ sistem kutuplarını içeren Gauss gürültülü bir sinyal olsun. $L < m < N$ koşulunu sağlayan ve genellikle $N/2$ seçilen her m tamsayısı için, $y(n)$ vektörü ve ilinti matrisi IR şöyle ifade edilir.

$$\underline{y}(n) = [y(n) \quad y(n-1) \quad \dots \quad y(n-m+1)]^T; IR = E\{y(n) y^H(n)\} = AE\{cc^H\}A^H + \sigma^2 I = ACA^H + \sigma^2 I \quad (2)$$

$$A = [a(s_1) \quad a(s_2) \quad \dots \quad a(s_L)]; a(s) = [1 \quad e^{-s} \quad \dots \quad e^{-s(m-1)}]^T; c = [d_1 e^{s_1 n} \quad d_2 e^{s_2 n} \quad \dots \quad d_L e^{s_L n}]^T \quad (3)$$

olarak tanımlanır. $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m$ ilinti matrisinin özdeğerleri ve bunlara karşılık gelen özvektör kümesi de $\{e_1 \ e_2 \dots e_L \ e_{L+1} \dots e_m\}$ olsun. ACA^H matrisi $m \times m$ boyutlarında bir matris ve kertesisi (rankı) L olduğundan [2] geri kalan $m-L$ tane özdeğer sıfırdır. Böylece IR matrisinin $i = L+1, \dots, m$ indeksleri için olan özdeğerleri $\lambda_i = \sigma^2$ olur. Bu özdeğerlere karşılık gelen özvektör matrisi G olarak adlandırıldığında, $a^H(s)GG^H a(s) = 0$ ($m > L$) denkleminin çözümü MUSIC algoritmasında hedefin sistem kutup değerlerini (s_i) verir. Bu denklemden yola çıkılarak MUSIC tayf matrisi şöyle ifade edilir.

$$P(u, v) = \frac{1}{a^H(\alpha_u + j\omega_v) GG^H a(\alpha_u + j\omega_v)} \quad (4)$$

Denklem (4)'ten de görüldüğü üzere $P(u, v)$ matrisi, $s = s_i$ değerlerinde tepe değerlerine ulaşır ve böylece ait olduğu hedef için bir kutup öznitelik haritası olma özelliği taşır.

Sınıflandırıcı tasarımının ilk aşaması, hedeflere ait saçınım zaman sinyallerinden en uygun geç-zaman aralığının seçilmesidir. Bu amaçla önceden seçilmiş çeşitli referans görüş açılarına ait saçınım zaman sinyalleri birtakım alt aralıklara bölünür ve her aralık için normalize MTM'ler çıkartılır. Hedef kutup genliklerinin açıya bağımlı olmasından ve gürültüden dolayı, hedef kutupları çeşitli açılarda farklı şiddetlerle uyarılır. Bu nedenle MTM'ler açıya göre değişir. Her bir hedef için, farklı referans açılarında elde edilmiş MTM'lerinin toplanıp, normalize edilmesiyle kaynaştırılmış MUSIC tayf matrisleri (KMTM) oluşturulur. Böylece her hedef için kutup bilgisi artırılmış ve büyük oranda açı bağımlılığı azaltılmış bir öznitelik matrisi oluşturulur. Tasarımda kullanılacak uygun zaman aralığı bulunurken her açıda elde edilmiş bu KMTM ve MTM'ler kullanılır. Bir hedefe ait belli bir açıda elde edilmiş geç-zaman bölgesine ait MTM ile aynı hedefe ait aynı zaman aralığından elde edilen KMTM birbirine benzemeli bir başka deyişle aralarındaki ilinti yüksek olmalıdır. Aynı yaklaşımla aynı MTM ile başka bir hedefe ait aynı zaman aralığına ait KMTM arasındaki ilinti düşük olmalıdır. Bu yaklaşımla en uygun zaman aralığı bulunurken uyuşan hedef gruplarına ait tayf matrisleri arasındaki ilinti katsayılarının toplamının maksimum, uyuşmayan hedef gruplarına ait tayf matrisleri arasındaki ilinti katsayılarının toplamının minimum olması amacı güdülür. Geç-zaman aralığının bulunması aşamasında geç-zamanın başlangıç anı, m değeri, zaman çözünürlüğü Δt (buna bağlı olarak aralığın süresi) önemli tasarım parametreleridir. Gerçek zamanda, bilinmeyen bir test hedefin tanınması aşamasında ise hedefe ait zaman tepkisinin tasarım aşamasında kullanılan aynı geç-zaman aralığına ait MTM'i elde edilir ve sınıflandırma bu matris ile aday hedeflere ait KMTM'ler arasındaki en yüksek ilinti katsayısına göre yapılır.

3. Uygulamalar ve Sonuçlar

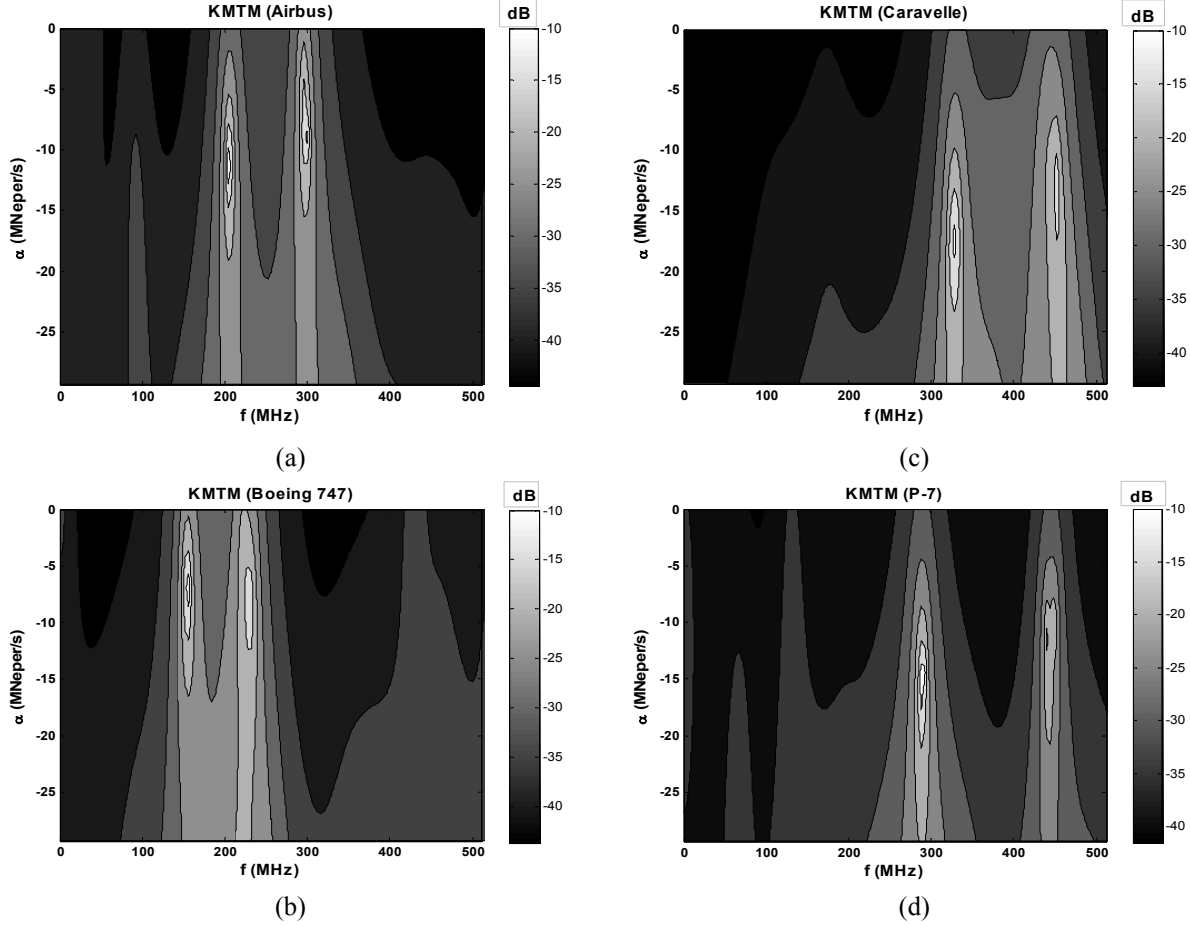
Önerilen yeni sınıflandırma yönteminin performansı, 1/100 ile ölçeklenmiş ve mükemmel iletken düz ince teller ile modellenmiş boyutları Tablo 1'de verilmiş dört tane uçak içeren bir hedef kümesi için test edilmiştir. Bu hedef kümesinin kullanılmasındaki amaç, aynı kümenin Adaptif Gauss Dağılımı, Temel Bileşenleri Analizi ve Sinir Ağları gibi algoritmalar ve her hedef için 46 referans açısı kullanan başka bir sınıflandırıcıda [4] kullanılmış olması ve bu bildiride önerilen yöntemle çok daha az referans açısı, bellek hacmi ve hesaplama zamanı ile çok daha başarılı sonuçlar elde edilebileceğini göstermektir.

Tablo 1. Test edilen uçakların boyutları.

	Uçak 1 (Airbus)	Uçak 2 (Boeing 747)	Uçak 3 (Caravelle)	Uçak 4 (P-7)
Gövde uzunluğu (m)	0.5408	0.7066	0.3200	0.3435
Kanat uzunluğu (m)	0.4484	0.5964	0.3440	0.3250
Kuyruk uzunluğu (m)	0.1626	0.2217	0.1092	0.1573

Uçak modelleri xy düzleminde ve burun kısmı $+y$ doğrultusunda olacak şekilde geri saçınım verileri $\theta=60$ derecede tutularak $\phi=5, 10, 15, 22.5, 30, 37.5, 45, 52.5, 60, 67.5, 75$ ve 82.5 derece görüş açılarında ve 4 MHz basamaklarla sıfırdan 1024 MHz'e kadar olan frekans bandı üzerinde sayısal olarak kaynak [5] de oluşturulmuştur. Bu çalışmada ise, zaman uzayındaki hedef saçınım verileri %1 Gauss penceresi ve IFFT kullanılarak 15, 10, 5, 0 ve -5 dB SNR seviyelerinde sentezlendi. Sınıflandırıcının öznitelik veri tabanı beş referans açısında ($\phi=5, 15, 30, 45$ ve 75 derece) oluşturulmuş, referans açıları dahil bütün açılarda 10 Monte-Carlo simülasyonu ile hedef sınıflandırma

testleri yapılmıştır. Bu amaçla referans sinyaller $N=128$ örnek sayısı içeren alt aralıklara bölündü. Çeşitli SNR seviyeleri için, en uygun geç-zaman aralığı, $m=64$ ve $L=32$ alınarak MTM'lerin oluşturulması ve bu MTM'leri kullanarak alt aralıklardan en yüksek ilinti katsayı toplamına sahip olanının bulunmasıyla elde edildi. Bu aşamadan sonra belirlenen geç-zaman aralığına ait KMTM'ler oluşturuldu. Şekil 1 de SNR=10 dB durumu için hedeflerin KMTM çevrit çizimleri görülmektedir. Özellikle uçak 3 ve 4 ün model boyutları yakın olmasına rağmen şekillerden de görüldüğü üzere hedeflerin kutup konumları kolayca ayırtedilebilecek şekilde birbirlerinden farklıdır.



Şekil 1. SNR= 10 dB durumu için uçak hedeflerine ait KMTM'ler.

Bu aşamalardan sonra ise test edilen hedefe ait MTM'ler ile Şekil 1 deki KMTM'ler arasındaki en yüksek ilinti katsayısına dayanan bir sınıflandırma yapıldı. Test edilen hedef kümesinin bu bildiriye önerilen yöntem ve kaynak [4] de verilen yöntem için elde edilmiş doğru sınıflandırma oranları Tablo 2 de verilmiştir. Görüldüğü gibi, önerdiğimiz yöntemle aşırı gürültülü durumlarda bile [4] de verilen hedef sınıflandırıcı tasarımına göre yaklaşık % 10-15 daha yüksek doğruluk oranlarına ulaşmıştır.

Tablo 2. Çeşitli SNR değerleri için doğru sınıflandırma oranları.

Sinyal-Gürültü Oranı	15 dB	10 dB	5 dB	0 dB	-5 dB
Doğru Tanıma Oranı (Önerilen yöntem) (%)	100	99	94	89	85
Doğru Tanıma Oranı ([4]'teki yöntem) (%)	91	85	78	74	-

Kaynaklar

- [1]. Baum C. E., Rothwell E. J. ve Chen K. M., "The singularity expansion method and its application to target identification," Proceedings IEEE vol. 79, No. 10, s.1481-1492, 1991.
- [2]. Stoica P., Moses R., Introduction to Spectral Analysis. Prentice Hall, s.155-168, 1997.
- [3]. Tian Z., "Iterative MUSIC: coherent signal estimation, performance analysis," IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, ICASSP '02, vol. 3, s.3041-3044, Mayıs 2002.
- [4]. Kim K.-T., Choi I.-S. ve Kim H.-T., "Efficient radar target classification using adaptive joint time-frequency processing," IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. 48, No. 12, s.1789-1801, Aralık 2000.
- [5]. Ersoy M. O. ve Turhan-Sayan G., "Electromagnetic Target Classification of Small-Scale Aircraft Modeled by Conducting Wire Structures Using a Natural Resonance Based Feature Extraction Technique," 2005 IEEE APS/URSI Symposium, Washington D.C., ABD, 3-8 Temmuz, 2005.