

İletken Küresel Hedeflerin Sınıflanmasında Zaman Bölgesi Saçılım Sinyallerinin Yapısal Özelliklerinin Kullanılması

M. Alper SELVER, E. Yeşim ZORAL, Suat DORAK

Dokuz Üniversitesi

Elektronik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

İzmir

alper.selver@deu.edu.tr, yesim.zoral@deu.edu.tr, suat.dorak@ogr.deu.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, elektromanyetik saçılım elektrik alan verilerinin doğal rezonanslarla ilişkili geç-zaman bölgesi sinyallerinden elde edilen yapısal özneliklerin, küresel hedeflerin sınıflanmasındaki etkinliği araştırılmıştır. Öznelik seçiminde, farklı yarıçaplardaki hedeflerin zaman bölgesi saçılım sinyallerinin açı değişikliklerine ve gürültü seviyelerine olan duyarlılıkları düşük olan ayırıcı yapısal özelliklerinin belirlenerek çıkarılması hedeflenmiştir. Çıkarılan özneliklerin etkinliği hem ana bileşen analizi gibi boyut indirgeme yöntemleri ile hem de farklı sınıflayıcılar ile yapılan benzetimler kullanılarak araştırılmıştır. Düşük örnek sayısı nedeniyle benzetimlerde çapraz-sağlama tabanlı eğitim tekniklerinden faydalanılmıştır. İletken küreler için gerçekleştirilen benzetimler farklı durumlar için tekrarlanmış ve çıkarılan özneliklerin gürbüzlüğü değerlendirilmiştir.

1. Giriş

Saçılım sinyallerinden radar hedeflerini tanıma problemi sivil ve askeri alanlarda aktif olarak çalışılmakta olan önemli bir uygulama alanıdır [1]. Hedef tarafından saçılan elektromanyetik dalgalar hedefe ait karakteristik bilgileri içerir ve bu bilgiler uygun şekilde çıkarılarak işlendiğinde hedef saptamada kullanılabilir. Ancak hedef tanınma; gürültü, farklı hedeflerden saçılan dalga karakteristiklerinin örtüşmesi gibi nedenlerle zor bir problemdir.

Elektromanyetik hedef sınıflandırıcı tasarımında en önemli basamaklardan biri hedeflerin ayırıcı karakteristik bilgilerini ortaya çıkaracak özneliklerin elde edilmesidir. Sınıflanması istenen hedeflerin pozisyonları ve görüş açıları bilinemeyeceğinden, çıkartılacak olan öznelikler bu parametrelerden bağımsız olarak hedefi tanımlayabilmelidir [2]. Ayrıca, çıkartılacak öznelikler hedefi özellikle gürültü gibi ortam kaynaklı zorluklar altında da ayırıcı düzeyde temsil edebilmelidir [3].

Dürtü uyarımı ile oluşan saçılım sinyalleri, erken-zaman ve geç-zaman olarak iki bölgeye ayrılabilir. Erken zaman sinyalleri hem güdümlü yanıtı (forced-response) hem de doğal yanıtı (natural response) içerirken, güdümlü yanıt sinyalleri belirli bir süre sonra yok olur. Erken-zaman sinyalleri, küresel hedeflerde küre yarıçapı gibi özneliklerin çıkarılarak sınıflama yapılmasında kullanılabilir ancak sonuçların simetrik geometrilere sahip olmayan hedeflere genişletilmesi mümkün değildir. Geç-zaman sinyallerinde ise, erken zamanda sönümlenen güdümlü yanıt yer almaz ve yalnızca zamanla üstel olarak sönümlenen doğal yanıt bulunur.

Geç zaman sinyalleri zaman bölgesi, frekans bölgesi ya da zaman-frekans bölgesinde işlenerek hedef saptamada kullanılabilir. Frekans bölgesi ile ilgili yazın incelendiğinde, sistem kutuplarının, görüş açısı ve polarizasyondan bağımsız olmaları nedeniyle sınıflandırma amacıyla kullanılacak öznelikler oldukları görülmektedir [4]. Ancak, elektromanyetik hedef tanıma uygulamalarındaki hedefe ait geç-zaman saçılım sinyalleri gibi çok sayıda sönümlenen sinüs bileşeni içeren sinyallerde hedef sistem kutuplarının tespiti zorlaşmaktadır. Bu nedenle farklı kutup çıkartım teknikleri ya da kutup bilgilerini dolaylı olarak kullanan öznelik çıkartım teknikleri önerilmiştir [5].

Bu çalışmada ise zaman bölgesindeki geç-zaman sinyallerinden doğrudan çıkarılan yapısal özneliklerin hedef sınıflamada kullanılabilirliği üzerine bir ön çalışma gerçekleştirilmiştir. Farklı yarıçaptaki kürelerin doğru olarak saptanabilmesi için, öznelik olarak çıkarılacak yapısal özelliklerin, küre yarıçapının neden olduğu yapısal değişimleri temsil etmesi gerekmektedir. Bununla beraber, çıkarılacak özneliklerin gözlem noktası ile hedef arasındaki açıdan kaynaklanan yapısal değişikliklere karşı duyarsız olması amaçlanmaktadır.

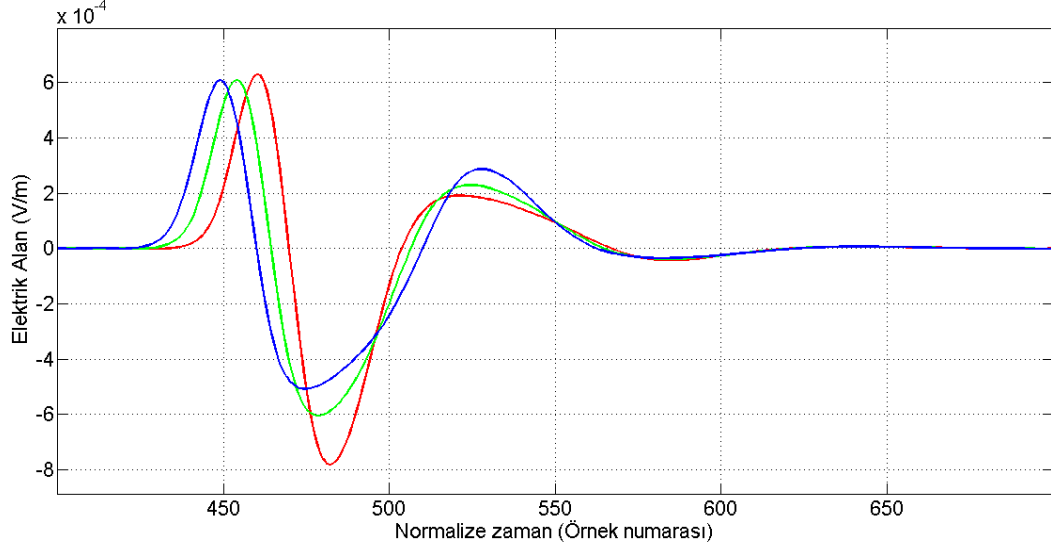
2. Saçılım Sinyalleri

Bu bildiride örnek hedef olarak iletken küreler kullanılmıştır. Küresel hedeflerden saçılan elektromanyetik dalgalar, r yarıçaplı iletken küreye gelen elektromanyetik dalgaların saçılımının bir gözlem noktasından elde edilmesi düzeneğinin Matlab ortamında benzetimi ile elde edilmiştir. Bu benzetim için saçılan dalgaların Hertz ve Debye potansiyelleri cinsinden elde edilen analitik ifadelerinden faydalanılmıştır.

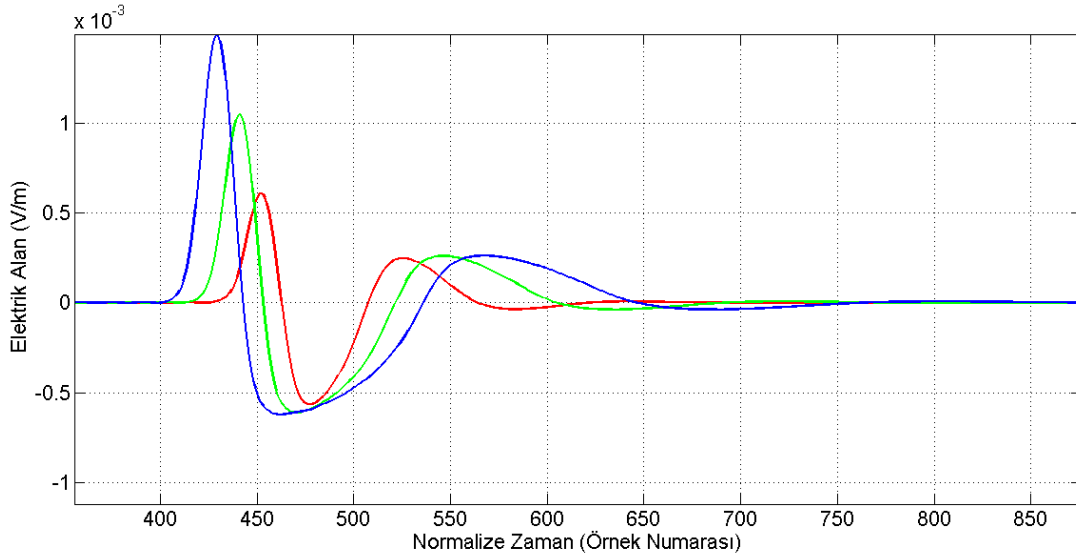
Geç zaman sinyalleri frekans uzayında, 0-12 GHz bant genişliğinde, 13.75 MHz frekans çözünürlüğünde 873 örnekten oluşturulmuştur. Bu belirtiler deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesine uygunlukları nedeniyle seçilmiştir. Sinyaller ayrıca $\phi=\pi/2$ düzleminde ve küre merkezlerinden 72 cm uzaklıkta, $\theta = 180 - \text{bistatik en-boy açısı}$ (Bistatic Aspect Angle - BAA) olacak şekilde 18 BAA ($\theta_B=10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, \dots, 170^\circ, 180^\circ$) için elde edilmiştir.

Frekans uzayındaki verilerin eldesinin ardından, çeşitli sinyal işleme teknikleri (Gauss pencereleme, ters Fourier ve sıfır dolgulama) kullanılarak 5ps çözünürlükte zaman uzayındaki saçılım sinyalleri elde edilmiştir. Elde edilen zaman sinyalleri 1024 örnekten oluşmakta olup, 5.115ns süreye sahiptirler.

Küre yarıçapları 0.2cm'den 10cm'ye kadar olacak şekilde 50 farklı küre ve 18 BAA değeri için elde edilen geç zaman sinyallerinin örnekleri Şekil 1 ve 2'de yer almaktadır. Şekil 1'de 2.4cm yarıçapındaki küreden üç farklı BAA değeri (60°, 90° ve 120°) için saçılan geç zaman sinyalleri görülmektedir. Şekil 2'de ise üç farklı yarıçaptaki (2.4cm, 3.6cm, 4.8cm) küreden aynı BAA değeri (100°) için saçılan geç zaman sinyalleri görülmektedir.



Şekil 1. Üç farklı BAA değeri (60° (kırmızı), 90° (yeşil) ve 120° (mavi)) için 2.4cm yarıçapındaki küreden saçılan geç zaman sinyalleri.



Şekil 2. Farklı yarıçaplardaki, (2.4cm (kırmızı), 3.6cm (yeşil), 4.8cm (mavi)), kürelerden aynı BAA değeri (100°) için saçılan geç zaman sinyalleri

Şekil 1 ve Şekil 2 incelendiğinde, aynı yarıçaptaki küreden farklı BAA açıları için elde edilen geç zaman sinyallerindeki değişimin, farklı yarıçaptaki kürelerden saçılan geç zaman sinyallerinden değişik yapısal özellikler gösterdiği gözlenmektedir. Farklı yarıçaptaki kürelerin, BAA açısından bağımsız olarak sınıflaması için Şekil 1'deki değişimlerden etkilenmeyen ancak Şekil 2'deki değişimlere hassas öznelilikler kullanılmalıdır.

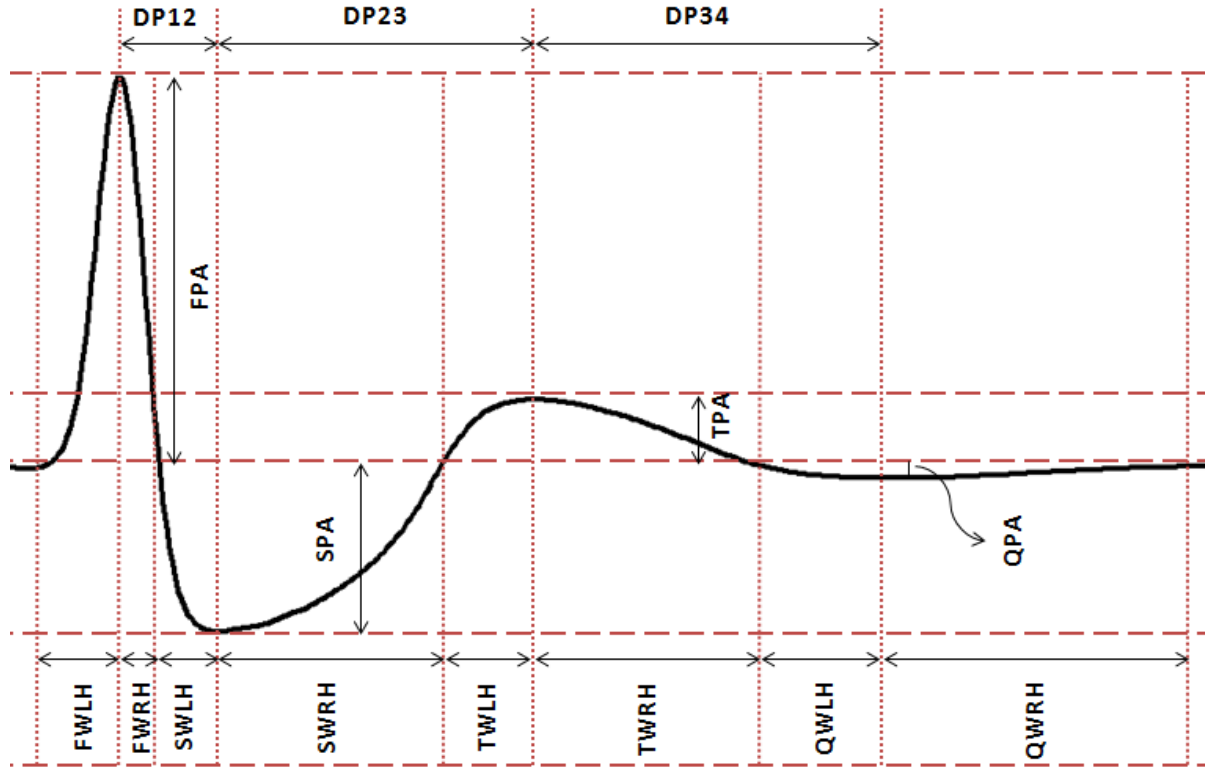
3. Özneliliklerin Çıkarılması

Sınıflama için çıkarılacak özneliliklerin, geç zaman sinyalinde küre yarıçapından kaynaklanan değişimlere karşı duyarlı olması gerekir. Farklı yarıçaptaki kürelerin, BAA açısından bağımsız olarak sınıflaması için Şekil 1'deki değişimlerden etkilenmeyen ancak Şekil 2'deki değişimlere hassas öznelilikler kullanılmalıdır. Bu doğrultuda en

etkin özniteliklerin belirlenmesi amacıyla, geç zaman sinyallerinin yapısal özellikleri kullanılarak farklı öznitelikler çıkarılmıştır.

Şekil 3'te küresel hedeften saçılan tipik bir geç zaman sinyali görülmektedir ve bu sinyalde dört tane dalga bulunmaktadır. Bu dört dalganın başlangıç, bitiş ve genlik değerleri yapısal özelliklerin temelini oluşturmaktadır. Birinci dalganın en yüksek değeri FPA (First Peak Amplitude) olarak isimlendirilmiştir. FPA'dan önceki ilk sıfır geçişi ve FPA arasındaki mesafe FWLH (First Wave Left Half) olarak isimlendirilirken, FPA'dan sonraki ilk sıfır geçişi FWRH (First Wave Right Half) olarak isimlendirilmiştir. Benzer şekilde ikinci dalga en yüksek değeri SPA (Second Peak Amplitude), SPA'dan önceki ilk sıfır geçişi ve SPA arasındaki mesafe SWLH (Second Wave Left Half), SPA'dan sonraki ilk sıfır geçişi SWRH (Second Wave Right Half); üçüncü dalga en yüksek değeri TPA (Third Peak Amplitude), TPA'dan önceki ilk sıfır geçişi ve TPA arasındaki mesafe TWLH (Third Wave Left Half), TPA'dan sonraki ilk sıfır geçişi TWRH (Third Wave Right Half); dördüncü dalga en yüksek değeri QPA (Quartus Peak Amplitude), QPA'dan önceki ilk sıfır geçişi ve QPA (Quartus Peak Amplitude) arasındaki mesafe QWLH (Quartus Wave Left Half), QPA'dan sonraki ilk sıfır geçişi QWRH (Quartus Wave Right Half) olarak isimlendirilmiştir. Bu özniteliklere ilave olarak birinci dalga ve ikinci dalganın en yüksek değerleri arasındaki zaman DP12 (Distance between peaks 1-2), ikinci dalga ve üçüncü dalganın en yüksek değerleri arasındaki zaman DP23 (Distance between peaks 2-3); üçüncü dalga ve dördüncü dalganın en yüksek değerleri arasındaki zaman DP34 (Distance between peaks 3-4) olarak isimlendirilmiştir.

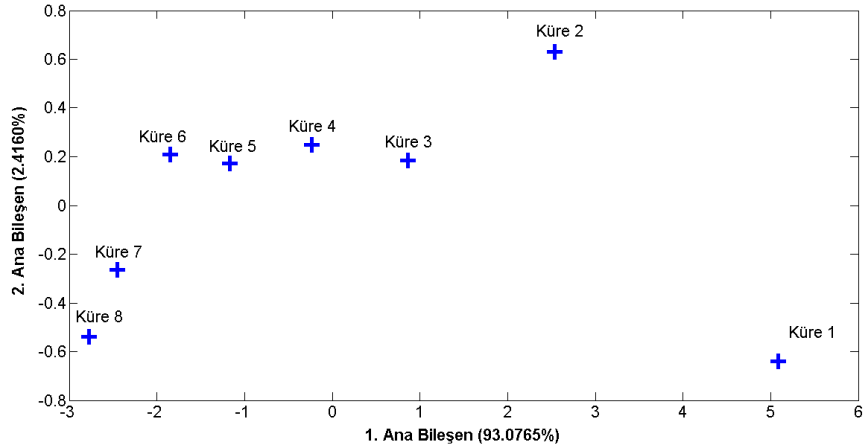
Sinyalin yapısal özellikleri kullanılarak doğrudan çıkarılan yapısal özniteliklere ilave olarak, dalga eğimleri üzerine bilgi içeren (sıfır geçişinden en yüksek değere çıkma hızı ya da en yüksek değerden sıfır değerine inme hızı) FWLS=FPA/FWLH (First Wave Left Slope), FWRS=FPA/FWRH (First Wave Right Slope); SWLS=SPA/SWLH (Second Wave Left Slope), SWRS=SPA/SWRH (Second Wave Right Slope); TWLS=TPA/TWLH (Third Wave Left Slope), TWRs=TPA/TWRH (Third Wave Right Slope); QWLS=QPA/QWLH (Quartus Wave Left Slope), QWRS=QPA/QWRH (Quartus Wave Right Slope) öznitelikleri çıkarılmıştır.



Şekil 3. Örnek bir geç zaman sinyali ve çıkarılan yapısal öznitelikler.

4. Sınıflama

Önceki bölümde açıklanan 23 tane özniteliğin 18 BAA açısı için çıkarılması ile her küre için $23 \times 18 = 414$ adet öznitelik elde edilmiştir. Çıkarılan özniteliklerin, küre yarıçapına bağlı ve BAA açısından bağımsız olup olmadıklarını kontrol etmek amacıyla Ana Bileşen Analizi (ABA) tekniği uygulanmıştır [8]. Boyut-indirgemeci çok değişkenli analiz tekniklerinden olan ABA'da temel amaç X_1, X_2, \dots, X_p rastlantı değişkenlerinin maksimum varyansı veren doğrusal bileşenlerini aramaktır. Uygulama sonucunda ana bileşenlerin veriyi sırasıyla 93.0765%, 2.42%, 1.74%, 1.08%, 0.82%, 0.58%, 0.28% oranlarında temsil ettiği görülmüştür. ABA uygulamasından elde edilen en önemli bilgi 1. Ana bileşenin küreleri yarıçaplarına bağlı olarak temsil etmesidir (Şekil 4.).



Şekil 4. İlk iki ana bileşen kullanılarak oluşturulmuş öz nitelik uzayı (1. Ana bileşen ekseninde kürelerin BAA'dan bağımsız olarak yalnızca yarıçaplarına göre ayrılabilirlikleri gözlemlenmektedir).

Bu çalışmada 3 ve 4 kürenin sınıflanması üzerine benzetimler yapılmıştır. Küre başına 18 BAA açısının her biri için elde edilmiş öz nitelik vektörleri, 3 küre sınıflama için toplam 54 örnek, 4 küre sınıflama için 72 örnek oluşturmaktadır. Düşük örnek sayısına sahip bir veri setinde K-kat çapraz sağlama yöntemi kullanılarak [6] çeşitli miktarda ve büyüklükte veri setleri oluşturulabilmektedir. Böylece, mevcut veri kümesinden mümkün olabildiğince fazla miktarda bilgi alınabilmektedir. Çalışmada farklı sayıdaki katlarda çapraz onaylama ile benzetimler yapılmıştır ancak bu bildiride 9 kat için elde edilen sonuçlar sunulmuştur (Tablo 1 ve 2).

Sınıflama için çok katmanlı ileri beslemeli ve geri yayımlı yapay sinir ağı [7] Levenberg-Marquardt [9] eğitim algoritması ile birlikte kullanılmıştır. 30 deneyin ortalaması alınarak elde edilen Doğru Sınıflama Oranı (Correct Classification-CC), Seçicilik (Selectivity-SE) ve Özgüllük (Specificity-SP) değerleri aşağıda sunulmuştur.

Küre	3 Küre, 9-Kat, 30 Deney (%)		
	CC	SE	SP
1 (r=1.8cm)	99.1358	99.0741	99.1667
2 (r=2.4cm)	97.4074	95.9259	98.1481
3 (r=3.0 cm)	97.4074	95.9259	98.1481

Tablo 1. İlk iki ana bileşen kullanılarak

Küre	4 Küre, 9-Kat, 30 Deney (%)		
	CC	SE	SP
1 (r=1.8cm)	99.9074	99.6296	100
2 (r=2.4cm)	99.3056	98.8889	99.4444
3 (r=3.0 cm)	98.2870	95.9259	99.0741
4 (r=3.6 cm)	98.8889	98.3333	99.0741

Tablo 2. İlk iki ana bileşen kullanılarak

5. Sonuç

Benzetim sonuçları ileten kürelerin önerilen öz nitelik kümesi ile çok yüksek başarımla sınıflanabildiğini göstermektedir. Sonuçları sunulan benzetimlerde katlar sıralı açılardan elde edilen sinyaller ile gerçekleştirilmiştir (örneğin sınıflama amacıyla 3 küreden de 10°'de saçılan sinyaller kullanılmıştır). Veri kümesi karıştırılarak eğitim ve sınıflama yapılması durumunda başarımın hem 3 hem 4 küre problemi için %100 olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar önerilen öz nitelik kümesinin ileten küreler için BAA'dan bağımsız sınıflama yapılmasına olanak sağladığını göstermektedir. İlerleyen çalışmalarda benzetimlerin gürültülü ortamlar ve dielektrik kürelerin sınıflanması çalışmalarıyla genişletilmesi planlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Zhou D., Liu G., Wang J., "Spatio-temporal target identification method of high-range resolution radar", Pattern Recognition, vol. 33, s. 1-7, 2000.
- [2] Chen S., Radar Target Identification with Relative Amplitudes and Unknown Target Aspect Angles, IEEE, 1990, IEEE Aerospace and Electronics Conference, Vol.1, 1990
- [3] Turhan-Sayan, G., "Real Time Electromagnetic Target Classification Using a Novel Feature Extraction Technique with PCA-Based Fusion," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.53, No.2, pp.766-776, February 2005.
- [4] Turhan-Sayan, G., "Natural resonance-based feature extraction with reduced aspect sensitivity for electromagnetic target classification", Pattern Recognition, vol. 36., no. 7, p. 1449-1466, July 2003.
- [5] Secmen, M., Turhan-Sayan, G., "Radar target classification method with reduced aspect dependency and improved noise performance using multiple signal classification algorithm," IET Radar, Sonar and Navig., 3(6), 583-595, 2009.
- [6] S. J. Raudys, A. K. Jain, "Small sample size effects in statistical pattern recognition: Recommendations for practitioners," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 13, no. 3, pp. 252-264, Mar. 1991.
- [7] S. Haykin, Neural Networks: A Comprehensive Foundation, Prentice Hall, 2nd edition, 1998.
- [8] K. Fukunaga, "Statistical pattern recognition," in Hand. of Pat. Recog. Image Pro., T.Y. Young, Eds., NY, 1986, 3-32.
- [9] Reed, R., Marks, R. J.: Neural Smoothing: Supervised Learning in Feed forward Artificial Neural Networks, MIT Press, 1999.