

İSTENMEYEN YANKILARI GİDERME METOTLARININ GERÇEK SAR GÖRÜNTÜLERİNE UYGULANMASI

Sevket DEMİRCİ¹ Adnan KAVAK² Caner ÖZDEMİR³
^{1,3}Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, ²Bilgisayar Müh. Böl.
Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Fak.
Mersin Üniversitesi, Çiftlikköy 33343, Mersin Kocaeli Üniversitesi

¹e-posta: sdemirci@mersin.edu.tr ²e-posta: akavak@kou.edu.tr
³e-posta: cozdemir@mersin.edu.tr

Anahtar Sözcükler: İstenmeyen yankı, SAR görüntü, CFAR algılama

ÖZET

Bu çalışmada, SAR görüntülerindeki istenmeyen yankıların giderilmesinde kullanılan bazı metotlar gerçek SAR verilerine uygulanmıştır. Direkt eşikleme ve olasılık yoğunluk fonksiyon çarpıklığı (skewness) kullanımı gibi model tabanlı olmayan metotlar ile uyarlı dalgacık paket dönüşümüne (Adaptive Wavelet Packet Transform (AWPT)) ve istatistiksel modellemeye dayalı istenmeyen yankıları giderme metotları denenmiş ve performansları karşılaştırılmıştır. Pratik uygulama olarak halka açık MSTAR SAR görüntüleri kullanılmış ve hedef algılama için MSTAR hedef görüntülerine bu metotlar uygulanmıştır. Hedef özelliklerini koruma ve istenmeyen yankıların giderilmesi performansı açısından, istatistiksel modellemeye dayalı metodun diğer metotlardan daha iyi sonuç verdiği bu çalışma sonunda görülmüştür.

I. GİRİŞ

Otomatik Hedef Tanıma (OHT) uygulamalarında karşılaşılan temel problemlerden biri, Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar (SAR)) görüntülerinde istenmeyen yankılar (clutter) ortamındaki askeri hedeflerin algılanmasıdır. İstenmeyen yankı sinyalleri asıl hedef özellikleri ile karıştırdığından dolayı OHT işleminden önce giderilmelidir. Literatürde, istenmeyen yankıların modellenmesi ve SAR görüntülerinden giderilmesi için birçok çalışma yapılmıştır. En basit teknik, belirli bir piksel değerinin üstündeki değerleri hedef olarak kabul eden direkt eşikleme metodudur [1-2]. SAR istenmeyen yankıları giderme teknikleri çoğunlukla istenmeyen yankıların istatistiksel modellenmesine dayanır [3-12]. İstenmeyen yankı sinyalleri ile hedef sinyalleri arasındaki ayırt edici istatistiksel farklılığı kullanan “olasılık yoğunluk fonksiyon çarpıklığına dayalı giderme” [13] metodu ile ilinti farklılığını kullanan “dalgacık analizine dayalı giderme” [14-15] metotları da önerilmiştir. Bu çalışmada istenmeyen yankı sinyallerinin giderilmesinde kullanılan metotlar MSTAR [16] SAR görüntülerine hedef algılama için uygulanmış ve metotların performansları

karşılaştırılmıştır. İstenmeyen yankıları giderirken hedef özelliklerini korumada en iyi sonucu istatistiksel modele dayalı metod vermiştir. Hedefler etkili bir şekilde istenmeyen yankılardan ayırt edilmişlerdir. II. bölümde, istenmeyen yankıların giderilmesi ve modellenmesinde uygulanan metotlar ve yapılan çalışmalar anlatılmıştır. III. bölümde bu metotlar MSTAR SAR görüntülerine uygulanmıştır. IV. bölümde uygulanan metotların etkinliği karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

II. İSTENMEYEN YANKILARIN GİDERİLMESİ

İstenmeyen yankıları gidermede geleneksel yöntem, global bir eşik belirlemek ve bunu SAR görüntüsüne direkt olarak uygulamaktır [1-2]. Ancak bu yaklaşım hedef sinyalinin istenmeyen yankı sinyaline oranının (SCR), hedef görüntüsünden çok az özellik gidecek şekilde büyük olduğu varsayımına dayanır. Bu varsayım doğru olmadığında ya hedef özellik kaybı ya da büyük istenmeyen yankı sinyalleri oluşur.

Fogler [13], SAR görüntülerinde istenmeyen yankıların giderilmesi için, istenmeyen yankı yer sinyallerinin olasılık yoğunluk fonksiyonundaki asimetriden faydalanan bir teknik kullanmıştır. Log-geçerlilik düzleminde, doğal istenmeyen yankıların ve insan-yapımı nesnelere kaynaklanan yankıların olasılık yoğunlukları ters çarpıklık gösterirler. İnsan-yapımı nesnelere pozitif çarpıklık (sağa doğru uzun kuyruk), istenmeyen yankılar negatif çarpıklık (sola doğru uzun kuyruk) gösterirler. Bu çarpıklık ölçüsünü kullanarak istenmeyen yankılar, hedef sinyallerinden ayırt edilerek giderirler.

2.1 Dalgacık Analizinin İstenmeyen Yankı Giderilmesine Uygulanması

Dalgacık analizi, hedeflerin istenmeyen yankı görüntülerinden algılanması için uygulanmışlardır [14-15]. Bu metod istenmeyen yankıların hedef sinyallerinden önemli bir ayırt edici özelliği olan, istenmeyen yankıların ilintisiz (veya zayıf ilintili) olma özelliğini kullanır. Diğer yandan hedef sinyalleri kendisine ilintilidir. Dalgacık paket temellerini

kullanarak, hedef özellikleri daha etkin gösterilir ve dalgacık düzleminde daha yüksek sinyalin istenmeyen yankı sinyaline oranı (SCR) elde edilir. Böylece, istenmeyen yankılar, orijinal SAR düzlemindekine oranla dönüştürme düzleminde, hedef özelliklerinden daha iyi ayrıştırılırlar.

2.2 İstatistiksel Modellemeye Dayalı Metotlar

Yer istenmeyen yankıların dağılımına ilişkin birçok makale yayınlanmıştır. İstenmeyen yankı istatistiklerini ifade etmekte en çok kabul edilen modeller *Rayleigh*, *Log-normal*, *Weibull* ve *K* dağılımlarıdır. Bu dağılımların karakteristikleri önemli ölçüde çalışılmış ve rapor edilmiştir [3-12].

İstenmeyen yankı genliğinin merkezi limit teoreminin sonucu olarak genellikle *Rayleigh* dağılımlı olduğu kabul edilir. Ancak, küçük görüş açıları ve/veya yüksek çözünürlüklü radarlar için, deneysel verilerden hesaplanan deneysel veri dağılımı *Rayleigh* istatistiklerinden önemli sapmalar gösterir. *Rayleigh*'e alternatif olarak önerilen istenmeyen yankı genlik dağılımları *Log-normal* [7], *Weibull* [5] ve *K* [6] dağılımlarını içerir. Yüksek-çözünürlüklü radar istenmeyen yankı genlik dağılımlarının genellikle iki sınır uç olan *Rayleigh* ve *Log-normal* dağılımları arasında olduğu görülmüştür. *Weibull* dağılımı hem homojen istenmeyen yankıların hem de uzun kuyruğa sahip yüksek çözünürlüklü yer istenmeyen yankıların modellenmesi için çok uygundur. *K* modeli, deniz istenmeyen yankı dağılımı ve şehirsiz alanlar için daha iyi uyum sağlar ve ayrıca fiziksel yansıma mekanizmasını da içerir.

İstenmeyen yankı dağılımı için istatistiksel modeller aşağıda sıralanmıştır:

Rayleigh dağılımı:

$$p(x) = \frac{2x}{\beta} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{\beta}\right) \quad (1)$$

Log-normal dağılımı:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma x}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2)$$

Weibull dağılımı:

$$p(x) = \frac{v}{\beta} \cdot \left(\frac{x}{\beta}\right)^{v-1} \cdot \exp\left(-\left(\frac{x}{\beta}\right)^v\right) \quad (3)$$

K dağılımı:

$$p(x) = \frac{2b}{\Gamma(v)} \cdot \left(\frac{bx}{2}\right)^v \cdot K_{v-1}(bx) \quad (4)$$

III. METOTLARIN MSTAR SAR GÖRÜNTÜLERİNE UYGULANMASI

3.1 SAR Verileri

Bu çalışmada, önceki bölümlerde anlatılan metotları uygulamak için, halka açık MSTAR karışık hedefler veri kümeleri [16] kullanılmıştır. Veriler *Sandia*

National Laboratory (SNL) SAR sensor platformu ile elde edilmiştir. Veri toplanması DARPA ve *Air Force Research Laboratory* tarafından “hareketli ve durağan hedeflerin toplanması ve tanınması” (MSTAR) programı çerçevesinde desteklenmiştir. SNL 1-foot çözünürlüklü X-bant SAR sensörü kullanmıştır.

3.2 Direkt Eşikleme

İstenmeyen yankı sinyallerinin histogramında kuyruk kısmında uygun bir eşik değeri belirlenmiş ve bu değerden büyük sinyaller hedef sinyalleri olarak algılanmıştır.

3.3 Olasılık Yoğunluk Çarpıklığı

SAR görüntüsü boyunca kayan bir pencere içinde olasılık yoğunluk çarpıklığını ölçerek ve pozitif çarpıklıklı bölgelere oranla negatif çarpıklığa sahip bölgeleri yok ederek, istenmeyen yankıların giderilmesi gerçekleştirilmiştir. Çarpıklık ölçütü Pearson'ın çarpıklığın ikinci katsayısının biraz değiştirilmiş şekli olan (5) ile hesaplanmıştır:

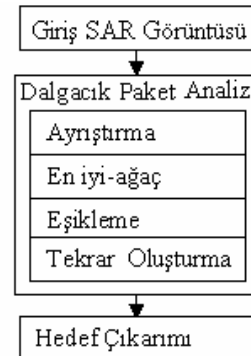
$$s(x) = \frac{(\bar{X} - \max(M_d, M_{min}))}{\bar{\sigma}} \quad (5)$$

burada \bar{X} ve $\bar{\sigma}$ her bir piksel x 'i çevreleyen küçük bölgeden kestirilen sırasıyla örnek ortalama değeri ve standart sapması, M_d aynı bölgenin ortanca değeri ve M_{min} gölge bölgelerinin ortanca değerinden büyük fakat bitkisel bölgenin ortanca değerinden küçük bir sabittir. İnsan-yapımı nesnelere belirli bir sabit eşik değeri T , (6)'ya göre aşıldığı durumda algılanmıştır.

$$y = \begin{cases} 1, & s(x) \geq T \\ 0, & \text{aksihalde} \end{cases} \quad (6)$$

3.4 Uyarlı Dalgacık Paket Dönüşümü (AWPT)

Şekil.1'de özetlenen algoritma SAR hedef görüntülerine uygulanmıştır. Ayırıştırma dalgacık filtresi olarak 6. dereceden *Daubechies* filtresi, en iyi-ağaç hesaplanmasında değer fonksiyonu olarak P enerji yoğunlaşma fonksiyonu kullanılmıştır. Dönüşüm düzleminde ölçek (frekans) bağımlı eşikleme ile istenmeyen yankılar giderilmiştir.



Şekil.1. Dalgacık paket analizine dayalı istenmeyen yankı giderimi.

3.5 İstatistiksel Modelleme

MSTAR hedef görüntülerinin arka plan istenmeyen yankı sinyalleri istatistiksel olarak analiz edilmiştir. İstenmeyen yankı sinyalleri bitkisel arazi yansımından gelmektedir. Yüksek-dereceli istatistikler kombinasyonu (Higher Order Statistics Combination (HOSC)) [17] yaklaşımını kullanarak *Rayleigh*, *Log-normal*, *Weibull* ve *K* dört mümkün dağılım arasından istenmeyen yankı sınıfı belirlenmiştir. *Rayleigh*, *Log-normal* ve *Weibull* dağılımlarının parametreleri en büyük olabilirlik (ML) metodu ile kestirilmiştir. *K* dağılımı biçim parametresinin kestirilmesinde yüksek-dereceli ve kesirli momentler [18] kullanılmıştır. Örnek verilerin momentlerini kullanarak *K* dağılımının biçim parametresi “ v ” ve ölçek parametresi “ a ” (7) ve (8) ile kestirilir.

$$v = \frac{(p + 2/\frac{1}{2})^2 - \beta_p}{\beta_p - (p + 2/\frac{1}{2})}, \beta_p = \frac{\mu_{p+2}}{\mu_p \mu_2}, p > 0 \quad (7)$$

$$\mu_k = \frac{\Gamma(0.5k + 1)\Gamma(v + 1 + 0.5k)}{\Gamma(v + 1)} (2a)^k \quad (8)$$

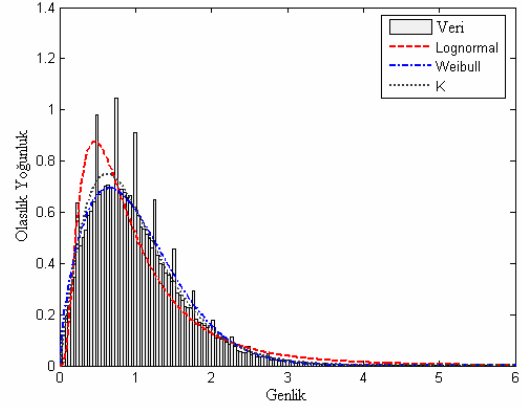
$$\hat{\mu}_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^k, k \geq 0 \quad (9)$$

Dört teoriksel dağılımın (*Rayleigh*, *Log-normal*, *Weibull*, ve *K*) her biri için uyum derecesi, model dağılımların ve örnek verilerin yüksek dereceden momentleri hesaplanarak incelenmiştir. Bu dağılımlardan *Weibull* dağılımının MSTAR SAR hedef görüntülerindeki arka plan istenmeyen yankı verilerinin dağılımına en iyi şekilde uyduğu görülmüştür. Kolmogorov-Smirnov testi ile de istenmeyen yankı verilerinin *Weibull* dağılımını 0.05 güvenlik aralığında sağladığı görülmüştür. İstenmeyen yankı verilerinin yoğunluk histogramına ve deneysel kümülatif dağılım fonksiyonuna uyum edilen dağılımlar Şekil.2’de görülmektedir. Arka plan istenmeyen yankı verilerinin *Weibull* modeli ile (10)’daki uyarılı CFAR (constant false alarm rate) algılayıcı hedef görüntülerine uygulanmıştır.

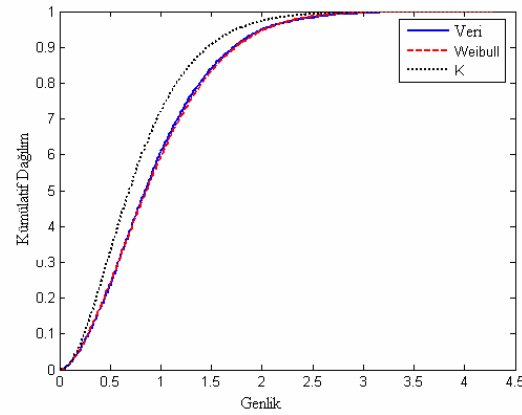
$$\frac{\hat{X}_t - \hat{X}_c}{\hat{\sigma}} \underset{\text{istenmeyenyankı}}{\overset{\text{hedef}}{>}} T_{CFAR} \quad (10)$$

Belirli bir yanlış alarm olasılığı P_{FA} için eşik değeri (11)’den hesaplanmış ve algılayıcıda kullanılacak T_{CFAR} değeri hesaplanmıştır.

$$P_{FA} = 1 - \int_{-\infty}^T f_X(x) dx = \int_T^{\infty} f_X(x) dx \quad (11)$$



(a)

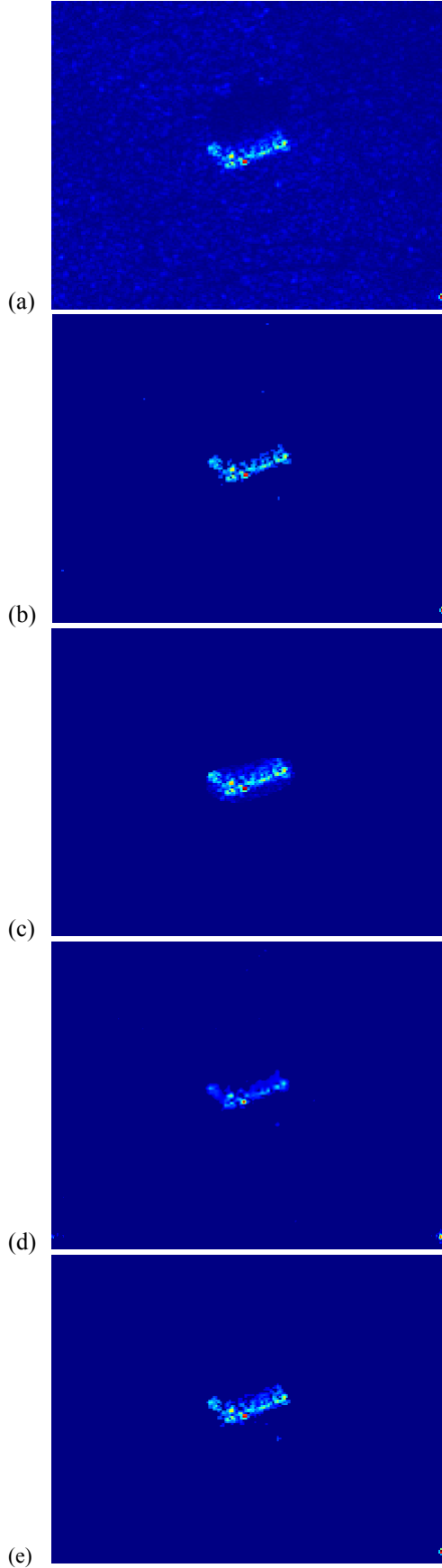


(b)

Şekil.2. İstenmeyen yankı verilerinin (a) yoğunluk histogramına ve (b) deneysel kümülatif dağılım fonksiyonuna (cdf) uyum edilen dağılımlar.

IV. SONUÇ

Metotların istenmeyen yankıları giderme ve hedef özelliklerini koruma sonuçları Şekil.3’de görülmektedir. Direkt eşikleme metodu, birçok istenmeyen yankıyı gidermesine rağmen hedef özelliklerden de oldukça büyük kayıplar vermiştir. Olasılık yoğunluk çarpıklığını kullanan metodun dezavantajı, hedef sınırlarını iyi bir şekilde ayırt edememesidir. Dalgacık paket analizi metodunda da dalgacık düzlemindeki eşiklemede hedef özelliklerinden kayıplar olmuştur. İstatistiksel modellemeye dayalı metod ile hedefler, diğer metotlara nazaran daha iyi arka plan istenmeyen yankılardan ayırt edilmişlerdir. Bu çalışma ayrıca, literatürdeki istenmeyen yankıların istatistiksel modellerinin, gerçek veriler üzerinde bir uygulanmasını ve karşılaştırılmasını da gerçekleştirmiştir. İstenmeyen yankıların uzamsal dağılımı karışıktır ve uygulamadan uygulamaya değişmektedir. Rasgele saçılımlardan başka; radar çözünürlüğü, aydınlatma geometrisi, radar frekansı ve polarizasyonu gibi birçok etkene bağlı olduğundan, bu çalışma ile MSTAR hedef görüntülerindeki arka plan istenmeyen yankıların *Weibull* ve *K* dağılımlarına uyduğu belirlenmiş ve hedefler etkin bir şekilde algılanmıştır.



Şekil.3. (a) Orijinal SAR görüntüsü, (b) direkt eşikleme ile giderme, (c) Dağılım çarpıklığına dayalı giderme, (d) Dalgacık paket analizine dayalı giderme, (e) İstatistiksel modellere dayalı giderme.

KAYNAKLAR

- [1] D. H. Pham, A. Ezekel, M. T. Campbell, and M. J. T. Smith, "A New End-to-End SAR ATR System", Proceedings of SPIE: Algorithms SAR Imagery VI, Vol. 3721, 292–301, Orlando, Florida, April 1999.
- [2] D. Luo, "Pattern Recognition and Image Processing", Horwood Publishing Limited, Chichester, England, 1998.
- [3] J.W. Goodman, "Some Fundamental Properties of Speckle", Journal of the Optical Society of America, 66(11): 1145–1150, 1976.
- [4] M.I. Skolnik, "Introduction to Radar Systems", 2nd edition, McGraw-Hill, New York.
- [5] D.C. Schleher, "Radar Detection in Weibull Clutter", IEEE Trans. On Aerospace and Electronic Systems, AES-12(6): 736–743, 1976.
- [6] E. Jakeman and P.N. Pusey, "A Model for Non-Rayleigh Sea Echo", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, AP-24(6): 806–814, 1976.
- [7] G.B. Goldstein, "False Alarm Regulation in Log-normal and Weibull Clutter", IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, AES-9(1): 84–92, 1973.
- [8] M. Sekine, S. Ohtani, T. Musha, T. Irabu, E. Kiuchi, T. Hagiwara, and Y. Tomita, "Weibull Distributed Ground Clutter", IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, AES-17: 596–598, 1981.
- [9] C.J. Oliver, "Representation of Radar Sea Clutter", IEE Proceedings, F, Radar and Signal Processing, 135(6): 497–506, 1988.
- [10] K.D. Ward, C.J. Baker and S. Watts, "Maritime Surveillance Radar Part 1: Radar Scattering from the Ocean Surface", IEE Proceedings F, Radar and Signal Processing, 137 (2): 51–62, 1990.
- [11] J.K. Jao, "Amplitude Distribution of Composite Terrain Radar Clutter and the K-distribution", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 32(10): 1049–1062, 1984.
- [12] S.H. Yueh, J.A. Kong, J.K. Jao, R.T. Shin and L.M. Novak, "K-distribution and Polarimetric Terrain Radar Clutter", Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 3: 747–768, 1989.
- [13] R.J. Fogler, L.D. Hostetler, and D.R. Hush, "SAR Clutter Suppression Using Probability Density Skewness," IEEE Transactions on Aerospace and Electronics, Vol. 30, No. 2, pp. 621-625, April 1994.
- [14] Deng, H. and H. Ling. "Clutter Reduction for Synthetic Aperture Radar Imagery Based on Adaptive Wavelet Packet Transform." Journal of Electromagnetic Waves and Applications 14.6 (2000): 855 – 856.
- [15] HyungJun Kim, Ping Liang "Target extraction from clutter images using wavelet packet analysis" Radar Conference, 1998. RADARCON 98. Proceedings of the 1998 IEEE, pp.195-200.
- [16] *MSTAR SAR Data Set, Clutter and Targets*, collected by Sandia National Lab, released by DARPA, MSTAR Data Collection #1-2, September 1995.
- [17] S M. Xiaoyan, F. Xueli, Z. Ronghua and X. Jiabin, "An Approach of Radar Clutter Recognition Based on Higher-Order Statistics Combination", Signal Processing Proceedings, WCCC-ICSP 2000. 5th International Conference on, 2000.
- [18] D. R. Iskander and A. M. Zoubir, "Estimation of the Parameters of the K-distribution Using Higher Order and Fractional Moments", IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems, 35(4):33-37, October 1999.