

SENTETİK AÇIKLIKLI RADAR GÖRÜNTÜLERİNDE ALAN TABANLI HEDEF TESPİTİ VE PARALEL GERÇEKLEŞTİRMESİ

Can DEMİRKESEN ^(a), Erman OKMAN ^(b), Fatih NAR ^(c), Müjdat ÇETİN ^(d)

^(a) Uzay ve Savunma Teknolojileri (SDT), ODTÜ Teknokent 06531, Ankara, cdemirkesen@sdt.com.tr

^(b) Uzay ve Savunma Teknolojileri (SDT), ODTÜ Teknokent 06531, Ankara, eokman@sdt.com.tr

^(c) Dr., Uzay ve Savunma Teknolojileri (SDT), ODTÜ Teknokent 06531, Ankara, fnar@sdt.com.tr

^(d) Yrd. Doç. Dr., Sabancı Üni., Müh. ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Tuzla, İstanbul, mcetin@sabanciuniv.edu

ÖZET

Sentetik açıklıklı radar (SAR) görüntülerinde otomatik hedef tespiti yöntemleri görüntünün çözünürlüğüne, hedefin büyüklüğüne, parazit yankı karmaşıklığına ve benek gürültü seviyesine duyarlıdır. Gürbüz bir hedef tespiti yönteminin ise bu tür etkenlere daha az duyarlı olması istenir. Önerilen yöntem görüntünün öznitelik korumalı benek gürültü arındırma (feature preserving despeckling, FPD) yönteminden geçmiş hali üzerinden olası hedef bölgelerinin ve etrafındaki parazit yankı karmaşıklığının bulunması ve sabit yanlış alarm oranı elde edilecek şekilde eşiklenmesi esasına dayanmaktadır. Hesaplama verimliliği OpenMP ve NVidia CUDA kullanılarak artırılmış ve elde edilen hızlanmalar gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: SAR, Otomatik Hedef Tespiti, CFAR, OpenMP, GPU.

ABSTRACT

Automatic target detection (ATD) methods for synthetic aperture radar (SAR) imagery are sensitive to image resolution, target size, clutter complexity, and speckle noise level. However, a robust target detection method needs to be less sensitive to such factors. The proposed method is based on finding potential target regions and the clutter around them on the feature preserving despeckled (FPD) image and applying thresholding such that a constant false alarm rate (CFAR) is obtained. Computational efficiency is increased using OpenMP and NVidia CUDA and the resulting speed ups are demonstrated.

Keywords: SAR, Automatic Target Detection, CFAR, OpenMP, GPU.

1. GİRİŞ

Havadan ve uydudan alınan SAR görüntülerinin çözünürlüğünün artması ve miktarının giderek artması sebebiyle, bu görüntüleri otomatik biçimde işleme ve yorumlama ihtiyacı da hızla artmakta, dolayısıyla bu konuda yapılan çalışmalar giderek önem kazanmaktadır. Bu çalışmaların odak noktasında SAR görüntülerinden bölütleme, sınıflandırma ve özellikle otomatik hedef tanımanın ilk adımı olan otomatik hedef tespiti yer almaktadır.

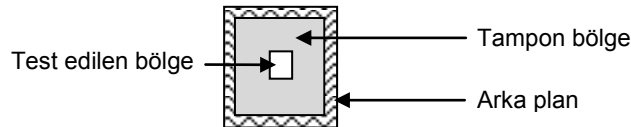
Literatürde sabit yanlış alarm oranı (CFAR) tabanlı yöntemler hesaplama basitliği, uyarlanabilir eşik değeri ve benek gürültü içeren arka plandan hızlı otomatik hedef tespitini yapabilmesinden dolayı yoğun olarak kullanılmış ve bu yöntemlerin başarımları incelenmiştir [1, 3-5]. Uyarlanabilir eşik değerli teknikler, arka plandaki gürültü seviyesinin bilinmediği radar ile tespit problemlerinde yanlış alarm oranını sabitlemek için çok sık kullanılmaktadırlar. CFAR yöntemi radar yansıtıcılık geri dönüşlerini uyarlamalı bir eşik değeri ile karşılaştırarak yanlış alarm olasılığını sabit tutarak hedef tespiti yapar [1].

Öte yandan, bu yöntemler hem hedef hem de arka plan bölgesinin düzgün ve önceden tanımlanabilen bir şekilde ve arka plan içerisinde kalan kısımların da homojen bir yapıda olduğunu varsaymaktadır. Bu çalışmada ise FPD yöntemi kullanılarak gürültüden temizlenmiş görüntü üzerinde bölge büyütme yaklaşımı kullanarak ve arka plan için varsayılan hipotezleri test ederek bu varsayımların gerçekçi olmadığı durumlarda da çalışabilen, CFAR tabanlı bir hedef tespit yöntemi önerilmektedir. Ayrıca yöntemin hesaplama verimliliğini arttırmak için OpenMP ve CUDA gerçekleştirilmesi yapılmıştır.

2. CFAR Tabanlı Hedef Tespiti Yöntemleri

SAR görüntülerindeki hedeflerin tespit edilebilirlik düzeyini belirleyen ilk temel öge hedef ile arka plan (çevre yankısı ve gürültü) pikselleri arasındaki yansıtıcılık farkı, ikinci temel öge ise parazit yankıların standart sapmasıdır.

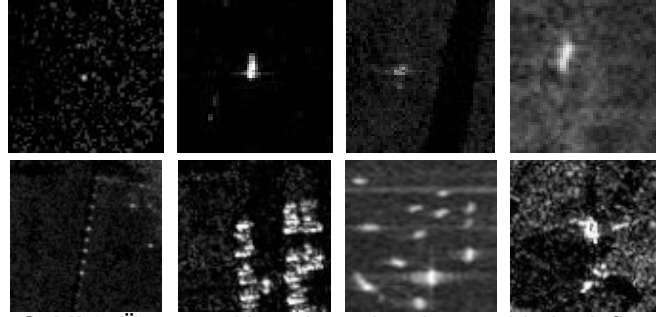
Literatürde önerilen CFAR tabanlı yöntemlerde öncelikle ilgilenilen hedef bölgesinin etrafında bir tampon bölge alınır. Bu tampon bölgenin hemen dışında belirlenen bölge ise arka plan olarak tanımlanır. Bir tampon bölgenin oluşturulması arka planda herhangi bir hedef niteliğinin bulunmadığını garanti etmek maksatlıdır ve tampon bölge bunu garanti edecek büyüklükte olmalıdır. Şekil 1’de bu bölgeler gösterilmektedir. Arka plan seçilen istatistiksel dağılım kullanılarak modellenir ve olası hedef pikselinin modele uyup uymadığı sabit yanlış alarm oranı esas alınarak test edilir. Literatürde SAR görüntülerinde arka planı modellemek için değişik istatistiksel modeller önerilmiştir [10].



Şekil 1. Hedef ve arka planının istatistiklerinin hesaplandığı pencere ve ilgili bölgeler.

CFAR yöntemlerinde test edilen piksel hakkında karar verilirken hem arka plan istatistiğinin çıkarıldığı pencerenin hem de tampon bölgenin büyüklüğünün görüntünün çözünürlüğü ve hedefin boyutu dikkate alınarak seçilmesi önemli bir husustur [3]. Pencere büyüklüğü nasıl seçilirse seçilsin arka planda olması istenen bölgeler başka hedefleri içerebilmekte (örneğin hedefin başka bir hedef grubunun yakınında veya bitişik olması halinde) ve bu durum CFAR için hesaplanan istatistikleri ciddi oranda bozabilmektedir.

SAR görüntülerinde arka plana ait piksel yansıtırlıklarının belli bir istatistiksel dağılıma uygun olduğu varsayılmaktadır [4, 10]. CFAR yöntemlerinin iki ana bileşeni kullanılan istatistiksel dağılım ve detektördür. Radarla tespit teorisinin en ilgi toplayan problemi sabit hata oranının korunmasıdır. Bu amaçla yüksek çözünürlüklü radar sistemlerinde kara, su, tarım arazisi ve benzeri arka planları modelleyecek birçok olasılık dağılımı önerilmiştir [10]. Literatürde sıklıkla kullanılan olasılık dağılımları şunlardır: Gauss, Rayleigh, Log-normal [5], Weibull [6], K [6], ve alfa-sabit [7]. Tespit yöntemi olasılık dağılımlarının parametrelerini önceden bilemeyeceği için olasılık dağılımının parametrelerini kestirebilir ve eşik değerini uyarlayabilir yapıda olmalıdır.



Şekil 2. Üst satır: Homojen arka plana sahip hedefler,
Alt satır: Heterojen arka plana sahip hedefler.

İki parametrelili CFAR olarak da anılan hücre ortalamalı CFAR (cell-averaging, CA-CFAR) Lincoln Laboratuvarı'nda geliştirilmiş olup hedefin dışında kalan arka planın bir Gauss dağılımına uyduğunu varsayar [1]. Şekil 2'de gösterildiği gibi SAR görüntülerinde hedefler homojen ya da heterojen arka planların üzerinde yer alabilmektedir. CA-CFAR yöntemi düzgün dağılmış (homojen) bir arka plan üzerinde tek başına duran bir hedefi otomatik olarak tespit etmekte son derece başarılı iken arka planın heterojen olduğu veya birden fazla hedefin yan yana olduğu durumlarda başarı düşmektedir [3]. Referans pencere büyüklüğü arttıkça hesaplanan istatistiksel değerlerin daha gerçekçi hale gelmesi ve CA-CFAR yönteminin başarısının artması beklenir. Fakat referans pencere boyutu büyüdükçe yakındaki başka bir hedefe ait veya hedefin arka planına ait olmayan pikseller de bu pencere içine girebilmekte ve dolayısıyla arka planın homojenliği azalmaktadır. Bu durum CA-CFAR yönteminin yanlış alarm oranını yükselterek yöntemin başarımının düşmesine sebep olmaktadır.

Sıralanmış İstatistikli CFAR (Ordered Statistics, OS-CFAR) birbirine çok yakın hedefler yüzünden heterojen hale gelen arka plan istatistiğinin iyi tahmin edilemediği durumlarda tespit performansının düşmesini önlemek için tasarlanmıştır. En Büyüğü CFAR (Greatest Of, GO-CFAR) yöntemi arka planda çokça kenar olması durumunda iyi tespit performansı sağlamakla beraber homojen arka plana sahip hedefler için CA-CFAR yöntemine göre daha düşük tespit başarısı sunabilmektedir. En Küçüğü CFAR (Smallest Of, SO-CFAR) yöntemi ise tespit edilmek istenen hedef yakınında başka hedeflerin bulunduğu durumlarda başarıyla, arka planın çok kenar içerdiği durumlarda yanlış alarm oranı yükselmektedir.

CFAR yöntemlerinin her birinin kendine özgü avantajları, dezavantajları ve olası uygulama alanları mevcuttur. Her şartta yüksek performans gösteren bir hedef tespit yöntemi mevcut değildir. Kullanılacak CFAR yöntemini, pencere boyutunu, tampon piksellerini, arka plan piksellerini, arka plan olasılık dağılımını otomatik olarak seçebilen uyarlamalı bir yöntem daha yüksek başarımlar sağlanabilir. Güncel araştırmalar uyarlanabilir CFAR yöntemleri üzerine yoğunlaşmaktadır [9]. Smith ve Varshney [3], bu amaçla Değişken İndisli CFAR (Variability Index, VI-CFAR) yöntemini önermişlerdir. CA-CFAR yönteminin bir uzantısı olan bu yöntemde test edilen bölgenin arka plan istatistiği bu bölgenin etrafını çevreleyen referans bölgenin ortalaması hesaplanarak bulunur fakat referans bölgenin ortalaması ise ağırlıklandırılarak hesaplanır. Bu yöntem hem homojen hem de heterojen arka planlar için iyi performans sağlamaktadır. [9]'da ise karmaşık arka planlar için VI-CFAR yönteminden esinlenerek arka plan istatistiğini hesaplarken diğer hedeflere ait olması olası pikselleri hesaba katmayan Otomatik Sansürleme CFAR (Automatic Censoring, AC-CFAR) yöntemi önerilmiştir.

3. ÖNERİLEN YÖNTEM

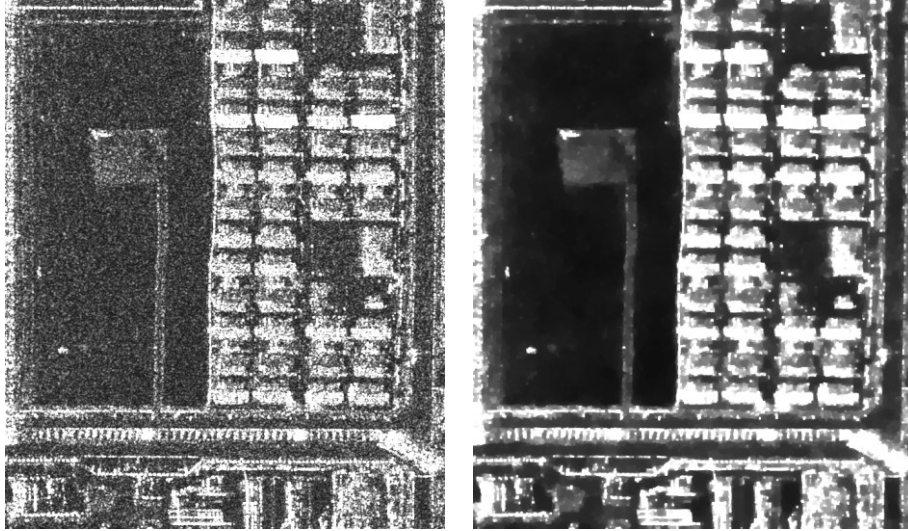
Bu çalışmada önerilen hedef tespit yöntemi görüntünün benek gürültüsünden arındırılmış hali üzerinden olası hedef bölgelerinin ve etrafındaki parazit yankı karmaşıklığının bulunması ve sabit yanlış alarm oranı elde edilecek şekilde eşiklenmesi esasına dayanmaktadır [11]. Literatürde pek çok benek gürültü arındırma yöntemi önerilmiştir [12]. Biz bu çalışmada homojen bölgeleri yumuşatırken kenar gibi öznelikeri koruma özelliği yüzünden öznelik korumalı benek gürültü arındırma (FPD) [13] yöntemini kullanmayı tercih ediyoruz. Öznelik korumalı benek gürültü arındırma yönteminde SAR görüntüsünü oluşturma problemi bir en iyileme problemi olarak ifade edilmiş ve etkin bir nümerik bir yöntem kullanarak çözülmüştür [13].

$$\hat{f} = \arg \min_f J(f) \quad (1)$$

$$J(f) = \|g - f\|_2^2 + \lambda_1^2 \|f\|_k^k + \lambda_2^2 \|Df\|_k^k \quad (2)$$

Denklem 2'de g gürültülü SAR görüntüsünü, $\|\cdot\|_k$ L_k normunu, D iki boyutlu türev operatörünü, f görüntünün benek gürültüsünden arındırılmış halini, λ_1 ve λ_2 de sayıl parametreleri ifade etmektedir. Bu denklemdeki ilk terim, bulunan f 'nin gürültülü görüntü g ye olan sadakatını ifade etmektedir. İkinci ve üçüncü terimler ise noktasal ve alansal özniteliklerin korunmasını ifade etmektedir [13]. Denklem 2 ile tanımlanan en iyileme problemi karmaşık veriler için çalışmakta olup genlik verileri için de çalışır hale getirilmiştir [14].

FPD yöntemi kullanılarak SAR görüntülerinden benek gürültünün arındırılması sayesinde olası hedef bölgelerinin arka planları (parazit yankı karmaşıklığı) homojen hale gelirken hedefler daha parlak ve belirgin hale gelmektedir (Şekil 3). Ayrıca benek gürültü içerisinde gözle ayırt edilemeyen hedefler de daha belirginleşmektedir. FPD yöntemi noktasal ve alansal hedefleri koruyabilirken çizgisel hedefleri kısmen koruyabilmekte dolayısıyla çizgisel hedefler çoğu zaman ancak birbirinden kopuk parçalar olarak tespit edilebilmektedir.

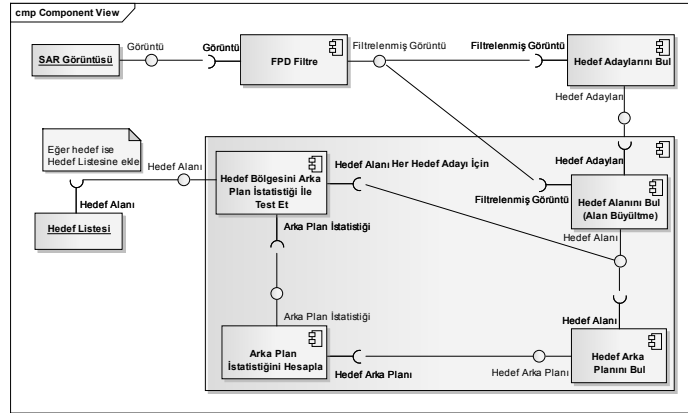


Şekil 3. a) Orijinal SAR görüntüsü, b) FPD ile benek gürültüden arındırılmış görüntü.

Bu çalışmada önerdiğimiz otomatik hedef tespit yöntemi (Şekil 4) daha önce önerdiğimiz otomatik hedef tespit yönteminin [11]

- daha etkin bir benek gürültü temizleme yaklaşımı kullanan,
- farklı arka plan istatistik modellerini CFAR ile kullanan,
- ve paralel hale getirilmek suretiyle hızlandırılmış halidir.

Şekil 4'te de görüldüğü üzere hedef adayları ve hedef alanı görüntünün FPD ile filtrelenmiş hali kullanılarak bulunmaktadır. Arka plan istatistiği orijinal görüntü kullanılarak hesaplanmakta ve hedef alanı için hedef mi değil mi testi yanlış alarm oranını sabit tutacak eşik değeri otomatik olarak bulunarak yapılmaktadır. Bu çalışmada istatistiksel dağılım olarak Gauss, Rayleigh, Log-normal ve Gamma dağılımları denenmiştir. İlgili okuyucular Şekil 4'te verilen blokların detayları için [11]'i inceleyebilirler.



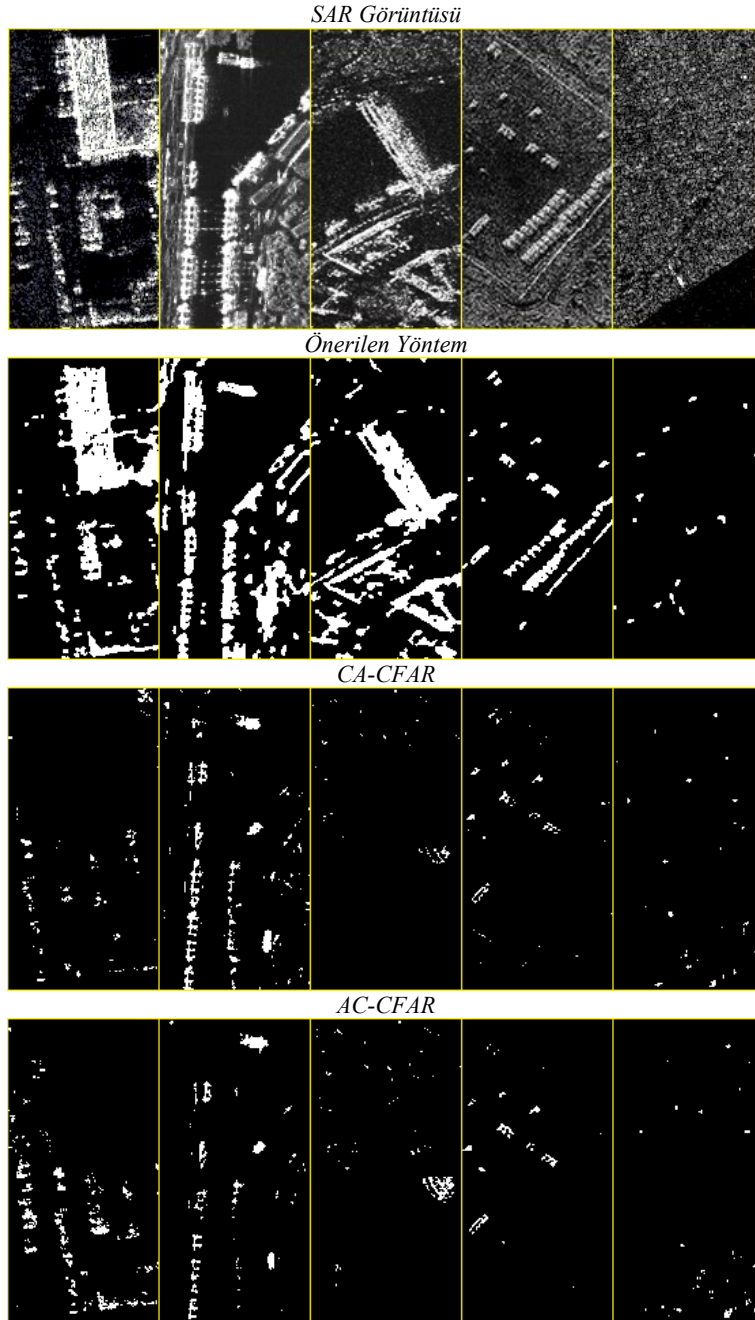
Şekil 4. Önerilen yöntemin öbek çizeneği.

4. PARALEL GERÇEKLEŞTİRME

FPD yöntemi içerdiği hesaplama yoğun nümerik yaklaşım yüzünden yavaş çalışmaktadır. FPD yöntemi yapısı itibarı ile paralel olduğu için bu yavaşlık Nvidia CUDA ile GPU kullanmak suretiyle makul hale indirgenmiştir. Mevcutta 20,000 x 20,000 ebadında bir görüntü için FPD yöntemi Nvidia GTX 460 Fermi ekran kartı ile yaklaşık 90 saniyede çalışmaktadır. Aynı görüntü Intel i7 3Gz CPU da tek çekirdek kullanılması durumunda GPU ya göre 33 kat, 4 çekirdek kullanılması durumunda ise GPU ya göre 11 kat daha yavaş çalışmaktadır. Analizlerimiz NVidia firmasının 2012 yılında piyasaya süreceği Kepler serisi ile yaklaşık 90 saniye olan işleme süresinin 3 kata kadar hızlanabileceğini göstermektedir. Ayrıca GPU kodu görüntüyü 4000 x 4000'lik bağımsız alt parçalar olarak işlediği ve en son aşamada sonuçlar birleştirildiği için birden fazla ekran kartı rahatlıkla kullanılabilir. Deneyler ve analizler Nvidia GTX 460 ile 90 saniye tutan FPD çalışma süresinin 2 adet Kepler serisi GPU kullanılarak 15 saniyeye kadar düşebileceği göstermiştir. İkinci yavaş çalışan kısım olan bölge büyütme ise OpenMP ile hızlandırılmıştır.

5. DENEYSEL SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlardan (Şekil 5) da görülebildiği gibi literatürden seçilen CFAR algoritmaları kendi pencere boyutlarından büyük ve arka planı heterojen olan hedefleri bir bütün halinde tespit edememektedir. Çalışma kapsamında önerilen yöntem ise mevcut CFAR yöntemlerinin karşılaştığı bu zorluğu bölge büyütme yaklaşımının sağladığı hedefin şekline uyulanabilir yapısı sayesinde aşmaktadır. Bu husus özellikle insan yapımı nesnelerin tespitinde etkili bir şekilde görülmektedir. Yöntem NVidia CUDA ve OpenMP kullanılarak hızlandırılmış böylece önerilen yöntemin literatürdeki CFAR yöntemlerine benzer hızlarda çalışması sağlanarak yöntemin operasyonel olarak kullanımı mümkün hale getirilmiştir.



Şekil 5. Heterojen arka planlı hedefler için önerilen CFAR sonuçları.

KAYNAKÇA

- [1] M. Di Bisceglie, C. Galdi, "CFAR detection of extended objects in high-resolution SAR images", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 43(4), 833-843, (2005).

- [2] G. Gao, G. Kuang, Q. Zhang, D. Li, "Fast detecting and locating groups of targets in high-resolution SAR images," *Pattern Recognition.*, 40(4), 1378-1384, (2007).
- [3] M. E. Smith, P.K. Varshney, "VI-CFAR: A novel CFAR algorithm based on data variability", *IEEE National Radar Conference*, 263-268, (1997).
- [4] B.C. Varshney, P.K. Micaels, "Adaptive CFAR detection for clutter-edge heterogeneity using Bayesian inference", *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems*, 39, 1462-1470, (2004).
- [5] A. Farrouki, M. Barkat, "Automatic censoring CFAR detector based on ordered data variability for nonhomogeneous environments", *IEE Proceedings in Radar, Sonar and Navigation*, 152(1), 43-51, (2005).
- [6] S. Erfanian, V.T. Vakili, "Introducing excision Switching-CFAR in K-distributed sea clutter", *Signal Processing*, 89(6), 1023-1031, (2009).
- [7] C. Wang, M. Liao, X. Li, "Ship detection in SAR image based on the alpha-stable distribution", *Sensors*, 8(8), 4948-4960, (2008).
- [8] P.P. Gandhi, S.A. Kassam, "Analysis of CFAR processors in homogenous background", *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, 24, 427-445, (2002).
- [9] G. Gao, L. Liu, L. Zhao, G. Shi, G. Kuang, "An adaptive and fast CFAR algorithm based on automatic censoring for target detection in high resolution SAR images", *IEEE Trans. Geosc. and Remote Sensing.*, 47(6), 1685-1697, (2009).
- [10] G. Gao, "Statistical Modeling of SAR Images: A Survey", *Sensors*, 10(1), 775-795, (2010).
- [11] F. Nar, C. Demirkesen, O.E. Okman, M. Çetin, "A region-based target detection method for SAR images", *IEEE 19th Conference on Signal Processing and Communications Applications*, 809-812, (2011).
- [12] J.S. Lee, E. Pottier, "Polarimetric Radar Imaging: From Basics to Applications", *CRC Press*, (2009).
- [13] M. Çetin, W. Karl, "Feature Enhanced Synthetic Aperture Radar Image Formation Based on Nonquadratic Regularization. *IEEE Trans. Image Process*, 10, 623-631, (2001).
- [14] O.E. Okman, F. Nar, C. Demirkesen, M. Çetin, "Feature Preserving SAR Despeckling and Its Parallel Implementation with Application to Railway Detection", *EUSAR, Nuremberg, Almany, Nisan* (2012).
- [15] C. Barbara, J. Gabriele, P. Ruud, "Using OpenMP: Portable Shared Memory Parallel Programming", *The MIT Press*, (2007).
- [16] B.K. David, W.H. Wen-Mei, *Programming Massively Parallel Processors: A Hands-on Approach*, (Morgan Kaufmann), (2010).