

# Yere Girmli Radarda K-Dağılımlı Kargaşaya Karşı CA-CFAR Algılama

Yıldırım Bahadır<sup>1</sup>, Mehmet Sezgin<sup>2</sup>  
TÜBİTAK MAM Bilişim Teknolojileri Araştırma Enstitüsü  
P.K. 21, 41470 Gebze-KOCAELİ  
<sup>1</sup>yildirim.bahadir@btae.mam.gov.tr, <sup>2</sup>mehmet.sezgin@btae.mam.gov.tr

**Özet:** Bu çalışmada yere girmli radardan elde edilen B-tarama verilerindeki arka-plan sinyali istatistiksel yönden incelenmiş, genelde K-Dağılımı özelliğine sahip olduğu gösterilmiştir. K-Dağılımı biçim ve ölçek parametreleri yüksek dereceli kesirli momentler kullanılarak kestirilmiş ve biçim parametresi yardımı ile toprakların genelde birbirinden ayırt edilebileceği gözlenmiştir. Nümerik yolla ve Monte-Carlo benzetimi ile K-Dağılımına ve CA-CFAR parametrelerine bağlı olarak algılayıcı kaybı bulunmuştur. CA-CFAR başarımı algılayıcı çalışma karakteristiği ile gösterilmiş, B-tarama çerçevelerinde gömülü cisimlerin algılanmasına yönelik başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

## 1. Giriş

Bu çalışmada, yere girmli radar (*Ground Penetrating Radar*, GPR)'dan elde edilen B-tarama verilerinde gömülü cisimlerin CA-CFAR (*Cell Averaging-Constant False Alarm Rate*) algılayıcı kullanılarak tespit edilmesi amaçlanmıştır. B-tarama verileri, GPR anteni toprak üzerinde ilerlerken belirli bir darbe tekrarlama frekansında sıra ile alınan A-tarama verilerinden oluşan veri çerçeveleridir. B-tarama çerçevelerinde hava-toprak-hava geçisinden, toprak yüzeyi ile antenin etkileşiminden ve anten sisteminin iç yansımalarından kaynaklanan yüksek genlikli arka-plan sinyalleri yer almaktadır. Öncelikle, görece durağan bu güçlü arka-plan sinyallerinin B-tarama verilerinden atılması gereklidir. Çalışmada, frekans uzayında çalışan uyarlanırlı süzgeç (*adaptive filter*) ile B-tarama verilerinden arka-plan sinyalleri atılmıştır [1]. Uyarlanırlı süzgeç çıkışındaki süzölmüş sinyal ağırlıkla, toprak, toprak içindeki homojen olmayan yapılar ve gömülü cisimden oluşan sistemin darbe yanıtı ve radarın sistem gürültüsünden oluşmaktadır. Bu bileşke sinyalde CA-CFAR algılayıcı yönünden istatistiksel özellikleri bilinmesi gereken bileşen, toprak nedeni ile oluşan kargaşa sinyalidir. Çalışmadaki verilerin toplanmasında darbe modlu GPR değiştirilmiş kelebek (*bow-tie*) anten ile 1GHz'in altındaki bandda çalıştırılmıştır.

Pürüzlü yüzeylerde ya da yapılarıdaki az sayıda saçıcının oluşturduğu geri yansıma sinyalleri, ayrıca bir modüle edici etki altında ise (homojen olmayan yüzey ve yapılarıdan yansıyan laser, ultrasound ya da radar sinyallerinde olduğu gibi) bu sinyallerden elde edilen zaman serilerinin genliği K-Dağılımı özelliğini ağırlıkla göstermektedir [2]-[4]. Bu olguya dayanarak üç farklı toprak türü ile doldurulmuş üç havuzdan toplanan GPR verilerinin süzöldükten sonraki istatistiksel özellikleri incelenmiştir. Bölütlerin (*segment*) çoğunluğunun K-Dağılımına uyduğu *Kolmogorov-Smirnov* testi sonuçlarından gözlenmiştir. K-Dağılımının ölçek ve biçim parametreleri kesirli (*fractional*) momentler kullanılarak bulunmuştur [5]. Bu sonuçlardan, K-Dağılımı biçim parametresi ile toprakların genelde birbirinden ayrılabilirliği gözlenmiştir.

Olasılık dağılımı parametrelerinin ideal değerleri bilindiğinde ve zaman serisinin yerel değişimler göstermediği durumda dağılımın birikimli yoğunluk işlevini (*Cumulative Density Function*, CDF) hesaplayarak algılayıcıda sabit eşikleme ile belirli bir yanlış alarm olasılığı (*Probability of False Alarm*, PFA) elde etmek olanaklıdır. Aksi durumda ise CA-CFAR algılayıcı kullanılabilir. CA-CFAR algılayıcıda dağılıma ilişkin ortalama, yerel olarak kestirilmekte, ortalama alınan hücre sayısına ve koruma hücre sayısına bağlı olmaktadır. Bu nedenle bir CA-CFAR kayıbdan söz edilir ve ortalama değere çarpan olarak gelen  $\alpha$  değerini değiştirir [6]-[7]. K-Dağılımına ilişkin ve CA-CFAR parametrelerine bağlı olarak değişen  $\alpha$  değerlerini kapalı formdaki eşitliği bularak elde etmek zor olduğu için çalışmada Monte-Carlo benzetiminden yararlanılmıştır. Ölçümlerden elde edilen parametrelere uygun olarak K-Dağılımı zaman serileri SIRV (*Spherically Invariant Random Vector*)'lar kullanılarak üretilmiş ve Monte-Carlo benzetiminde kullanılmıştır. Değişken PFA değerleri için CA-CFAR kayıpları  $\alpha$  değerindeki değişim olarak bulunmuştur. CA-CFAR algılayıcı bu benzetimin sonuçları kullanılarak gerçekleştirilmiş, gömülü cisimlerin algılanmasında başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

## 2. K-Dağılımı Parametre Kestirimi

K-Dağılımı, Rayleigh ve Rician dağılımları içine alan genel bir dağılımdır. Biçim ve ölçek parametreleri ile (1) eşitliğinde verildiği gibi tanımlanabilir.

$$f_X(x) = \frac{2}{a\Gamma(v+1)} \left(\frac{x}{2a}\right)^{v+1} K_v\left(\frac{x}{a}\right), \quad x > 0, v > -1 \quad (1)$$

Burada,  $\Gamma(\cdot)$  Gamma işlevi,  $K_v(\cdot)$  değiştirilmiş Bessel işlevi,  $v$  biçim,  $a$  ise ölçek parametresidir. (1) eşitliği ile karakterize edilen bir durumda belirli bir  $X_T$  eşik değeri için PFA değeri (2) eşitliğindeki gibi verilebilir [5], [8]:

$$P_{FA} = \frac{2}{\Gamma(v+1)} \left(\frac{X_T}{2a}\right)^{v+1} K_{v+1}\left(\frac{X_T}{a}\right) \quad (2)$$

Belirli bir yanlış alarm olasılığını elde etmek için biçim ve ölçek parametrelerini verilerden kestirmek gerekir. Bunun için klasik olarak ikinci ve dördüncü momentler kullanılabileceği gibi, daha düşük değişim ile parametre kestirmek üzere yüksek dereceden kesirli momentler kullanılabilir [5]. Ölçek parametresinden bağımsız biçimde ve yüksek dereceden momentleri kullanarak biçim parametresini kestirmek üzere (3) eşitliği yazılabilir [5]. Biçim parametresinin kestiriminden sonra ölçek parametresi birinci dereceden moment kullanılarak (4) eşitliği ile kestirilir. Verilerden (5) ile elde edilen örnek (*sample*) momentler parametre kestiriminde kullanılabilir.

$$v = \frac{\left(\frac{p+2}{2}\right)^2 - \beta_p}{\beta_p - \left(\frac{p+2}{2}\right)}, \quad \beta_p = \frac{\mu_{p+2}}{\mu_p \mu_2}, \quad p > 0 \quad (3)$$

$$\mu_k = \frac{\Gamma(0.5k+1)\Gamma(v+1+0.5k)}{\Gamma(v+1)} (2a)^k \quad (4)$$

$$\hat{\mu}_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^k, \quad k \geq 0 \quad (5)$$

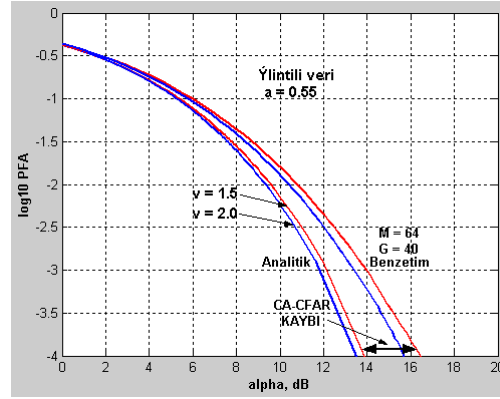
Burada,  $N$  kestirimde kullanılan örnek sayısını temsil etmektedir. Çalışmada,  $p=0.5$  seçilerek  $k=0.5, 2.0$  ve  $2.5$  dereceden kesirli momentler kullanılarak  $v$  biçim parametresi kestirilmiştir. Üç toprağa ilişkin biçim parametrelerinin ortanca (*median*) değerleri 1.51, 1.71, 2.06 ve tümü için ortalama ölçek parametresi 0.55 olarak bulunmuştur. Kestirim sonucu elde edilen parametreler kullanılarak ilgili bölüte ( $N=768$ ) *Kolmogorov-Smirnov* testi uygulanmış, bölütlerin K-Dağılımını, 0.05 güvenlik aralığında, %81 oranında sağladığı görülmüştür.

### 3. CA-CFAR Kaybı

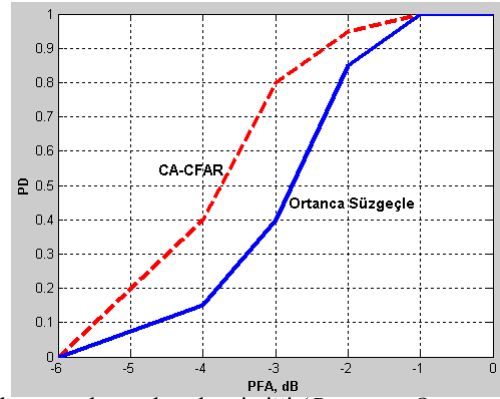
Olasılık dağılımının ideal parametreleri bilindiğinde (2) eşitliği kullanılarak belirli bir PFA değeri için  $X_T$  eşik değeri bulunabilir ve CA-CFAR algılayıcısında kullanılacak  $\alpha = X_T/\mu_1$  katsayısı ideal olarak hesaplanabilir. Ancak, algılayıcıda ortalama değer ( $\hat{\mu}_1$ ) yerel olarak kestirildiği için  $\alpha$  katsayısı (özilintinin düşük olduğu durumda) idealden yüksek olmaktadır; aradaki fark CA-CFAR kaybı olarak nitelendirilir [6], [7]. Bölütlerden elde edilen parametrelere uygun olarak K-Dağılımı zaman serileri SIRV'lar kullanılarak üretilmiş ve *Monte-Carlo* benzetimi uygulanarak PFA değerlerine karşılık  $\alpha$  değerleri elde edilmiştir [9]. *Monte-Carlo* benzetiminde  $10^6$  örnek kullanılmıştır. (2) eşitliği nümerik yolla çözümlenerek CA-CFAR kaybı gösterilmiştir. Şekil 1.'de, CA-CFAR algılayıcıda hücre sayısı  $M=64$ , koruma hücre sayısı  $G=40$  için PFA değerlerine göre  $\alpha$  katsayısı değişimi verilmiştir. CA-CFAR algılayıcıda benzetim sonucu elde edilen yeni  $\alpha$  değerleri kullanılmıştır.

### 4. Tartışma ve Sonuç

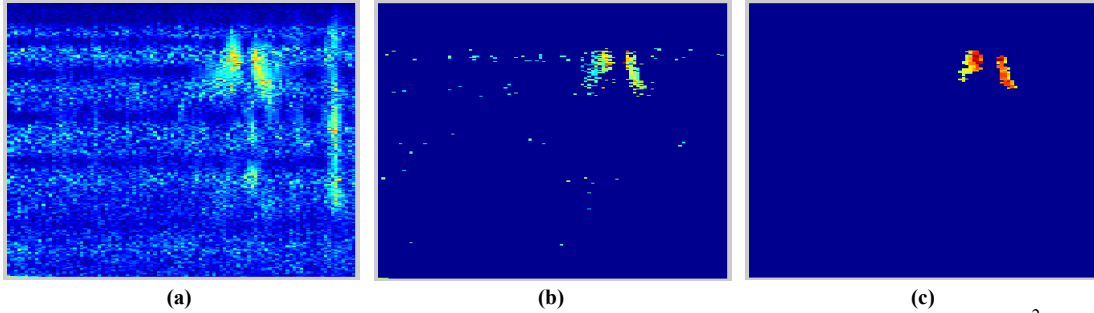
Şekil 2.'de biçim parametresi en düşük ( $v=1.51$ ) topraktaki 20 B-tarama verisi üzerinden ortalama ile bulunan CA-CFAR algılayıcı karakteristiği (*Receiver Operating Characteristics*, ROC) görülmektedir. Verilerdeki halihazır işaret-kargaşa-oranında  $PFA=10^{-3}$  için algılama olasılığı  $PD=0.8$ 'dir.  $PD=0.95$  yakınında algılama için  $PFA=10^{-2}$  olmaktadır. Bu durumda B-tarama verilerindeki biçim parametresinin yerel değişiminden ve/veya cisim benzeri davranıştan kaynaklanan dürtün (*impulsive*) özellikte yanlış algılama sonuçları elde edilmektedir. Ancak, 3x3 pencere boyutlu ortanca süzgeç kullanılarak bu tip algılama çıkışlarını bastırmak olanaklıdır. Ortanca süzgeç kullanıldığında  $PFA=10^{-2}$  için  $PD=0.85$  yakınına inmektedir. Şekil 3'de örnek bir B-tarama çerçevesi üzerinde CA-FAR algılayıcı çıkışı ve ortanca süzgeç çıkışında elde edilen sonuçlar görülmektedir. Verilere genel bakıldığında, kesirli momentler kullanılarak bulunan biçim parametresi ile topraklar birbirinden ayırt edilebilmektedir. Önerilen algılama yaklaşımı ile GPR verilerinde gömülü cisimlerin algılanmasında başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Yüksek çözünürlüklü ve yüksek işaret-kargaşa-oranlı veriler üzerinde çalışmalar sürdürülecektir.



Şekil 1. Nümerik ve Monte-Carlo benzetimi ile elde edilen  $\alpha$  katsayısı ve CA-CFAR kaybı.



Şekil 2. CA-CFAR algılayıcı çalışma karakteristiği (Receiver Operating Characteristics, ROC).



Şekil 3. Algılama işlemine bir örnek: a) Uyarılı süzgeç çıkışı, b) CA-CFAR çıkışı,  $PFA=10^{-2}$ , c) Ortanca süzgeç çıkışı.

## Kaynaklar

- [1]. Bahadır Y., Kaplan G.B., "Frequency-domain preprocessing and directional correlation-based feature extraction for classification of the buried objects using GPR B-scan data," SPIE Defence & Security Symp., Nisan 2004, Orlando, 5415-112.
- [2]. Jakeman E., Pusey P.N., "A Model for Non-Rayleigh Sea Echo," IEEE Trans. on AP, 24(6), s.806-814, 1976.
- [3]. Ward K.D., Baker C.J., Watts S., "Maritime surveillance radar Part 1: Radar scattering from the ocean surface," IEE Proc., 137(2), Pt. F, s.51-61, 1990.
- [4]. Molthen R.C. ve ark., "Comparison of the Rayleigh and K-Distributed Models using *in vivo* Breast and Liver Tissue," Ultrasound in Med. & Biol., Elsevier, 24(1), s.93-100, 1998.
- [5]. Iskander D.R., Zoubir A.M., "Estimation of the Parameters of the K-Distribution using Higher Order and Fractional Moments," Trans. on AES, 35(4), s.1453-1457, 1999.
- [6]. Watts S., "Cell-averaging CFAR gain in spatially correlated K-distributed clutter," IEE Proc. Radar, Sonar Navig., 143(5), s.321-327, 1996.
- [7]. Watts S., "The Performance of Cell-Averaging CFAR Systems in Sea Clutter," IEEE Intl. Radar Conference, mayıs 2000, Alexandria VA, s.398-403.
- [8]. Raghavan R.S., "A Method for Estimating Parameters of K-Distributed Clutter," Trans. on AES, 27(2), s.238-246, 1991.
- [9]. Rangaswamy M., Weiner D.D., Öztürk A., "Computer generation of correlated non-Gaussian radar clutter," IEEE Trans. on AES, 31(1), s.106-116, 1995.