

WEIBULL KARGAŞA HARİTALI RADAR HEDEF TESPİTİ

Ülkü Çilek DOYURAN¹, Yalçın TANIK²

¹ASELSAN A.Ş.
Mikrodalga ve Sistem Teknolojileri Grubu
Ankara
udoyuran@aselsan.com.tr

²Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ankara
tanik@metu.edu.tr

Özet: Çalışmada, Weibull dağılımlı karasal kargaşanın ölçek ve şekil parametrelerinin tahmin edilip kaydedildiği kargaşa-haritasından yararlanılan bir radar eşikleme algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemde, tahmin, bir özyineleme metodu ile yapılmaktadır. İşlem, geçmiş turlara ait sinyallerin tutulmasını gerektirmemekte, sadece bir önceki tura ait olan tahminle ilgili turun sinyalini kullanmakta, ayrıca değişken ortama uyum sağlayabilmektedir. Önerilen eşikleme yöntemi ile yoğun ve sıçramalı kargaşa ortamında dahi başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir.

1. Giriş

Modern radar sistemlerinde, kargaşa, iki parametrelili dağılımlarla modellenmektedir. Weibull, literatürde yaygın olarak kullanılan ve birçok farklı kargaşa tipine uyum sağlayabilen bir dağılımdır [1], [4]. Tespit işlemi sonucunda yanlış alarm olasılığını sabit tutarak tespit olasılığını en yüksek değerine getirmek için kargaşa özelliklerinin kestirilmesi gerekmektedir. Bu özellikler, bir haritada tutulabilmekte ve her turda güncellenebilmektedir. Kargaşa haritasından yararlanılan yöntemler, menzilde değişken kargaşanın yanlış alarm veya maskeleyemeye neden olmasını engelleyebilmektedir. Rayleigh dağılım için türetilen tek parametrelili eşikleme yöntemleri, Weibull kargaşalı ortamda çok yüksek yanlış alarm oranlarına neden olmaktadır. Weibull dağılım parametre tahmininde kullanılan klasik yöntemler ise tüm turlara ait sinyallerin tutulmasını gerektirmekte, zamanla değişen ortamlara uyum sağlayamamakta ve yoğun işlem gerektirmektedirler. Bu çalışmada, Weibull parametre kestiriminde özyineleme metodu kullanılmakta ve bir kargaşa haritası oluşturulmaktadır. Özyinelemeli kestirim, bir çalışmada K-distribution için de türetilen Fisher Puanlama yöntemi ile yapılmaktadır [2].

Bildiride, 2. Bölümde özyinelemeli parametre kestirimi türetilmekte, 3. Bölümde eşikleme yöntemi açıklanmakta, 4. Bölümde ise yöntemin başarımı incelenmektedir.

2. Özyinelemeli Parametre Kestirimi

Kargaşa modellemeye kullanılan Weibull dağılım aşağıdaki fonksiyonla ifade edilmektedir. Burada α ve β sırasıyla ölçek ve şekil parametrelerini göstermektedir:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha} \right)^{\beta-1} \exp\left\{-\left(x/\alpha\right)^\beta\right\}. \quad (1)$$

Özyinelemeli yöntemde, parametre kestirimi her yeni gözlemlerle güncellenmekte ve önceki sinyallere ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu sebeple, yöntemin işlem yükü fazla olmamaktadır. Ayrıca, yöntem uyarlanır olduğundan, değişken kargaşa koşullarında da başarılı olmaktadır. Yöntemde, parametrelerin güncellemesi şu şekildedir:

$$\theta_{n+1} = \theta_n + \varepsilon_n F_n \gamma(x_{n+1}, \theta_n), \quad n = 0, 1, \dots \quad (2)$$

Burada, $\{x_1, x_2, \dots\}$ sinyal gözlem vektörü ve $\theta = [\alpha \ \beta]^T$ kestirim yapılacak parametre vektörünü, θ_n , n gözlem sonrasında elde edilen kestirimi, F_n kazanç matrisini ve ε_n adım büyüklüğünü göstermektedir. Değer vektörü ise logaritmik olabilirlik fonksiyonunun gradyanı olarak tanımlanmaktadır:

$$\gamma(x_n, \theta_n) = \nabla_{\theta} \ln(p(x_n | \theta))|_{\theta=\theta_n}. \quad (3)$$

Kazanç matrisi, sinyalin bilgi matrisinin tersi olabilmektedir.

$$F_n = I^{-1}(\theta_n) = \left[E \left\{ \gamma(x_n, \theta_n) \gamma(x_n, \theta_n)^T \right\} \right]^{-1}. \quad (4)$$

Weibull dağılım için, parametre kestiriminde kullanılacak ifadeler şu hali almaktadır:

$$I_{1,1}(\theta_n) = \left(\frac{\beta_n}{\alpha_n} \right)^2, \quad I_{1,2}(\theta_n) = \frac{-1 + \gamma_e}{\alpha_n} = \frac{-0.4228}{\alpha_n}, \quad (5)$$

$$I_{2,1}(\theta_n) = I_{1,2}(\theta_n), \quad I_{2,2}(\theta_n) = \frac{6(-1 + \gamma_e)^2 + \pi^2}{6\beta_n^2} = \frac{1.8237}{\beta_n^2}.$$

$$\gamma(x_{n+1}, \theta_n) = \left[\left(-\beta_n \frac{1}{\alpha_n} + \beta_n \alpha_n^{-\beta_n-1} x_{n+1}^{\beta_n} \right) \left(\frac{1}{\beta_n} - \ln \alpha_n + \ln x_{n+1} - \left(\frac{x_{n+1}}{\alpha_n} \right)^{\beta_n} \ln \left(\frac{x_{n+1}}{\alpha_n} \right) \right) \right]^T. \quad (6)$$

3. Eşikleme Yöntemi

İncelenen hücredeki sinyal değeri, belirlenen eşik değerini aştığında, hedef tespiti yapılmaktadır:

$$\begin{array}{l} H_1 \\ y > T \\ H_0 \end{array} \quad (7)$$

Sabit Yanlış Alarm Oranı sağlayan eşikleme algoritmalarında, ortamdaki girişim sinyal özellikleri tahmin edilmekte ve buna uygun olarak eşik değeri belirlenmektedir [3]. Weibull kargaşa dağılım parametrelerinin bilinmesi durumunda, sabit yanlış alarm oranı sağlayacak eşik değeri, T , şu şekilde bulunmaktadır:

$$T = (\ln P_{FA})^{1/\beta} \alpha. \quad (8)$$

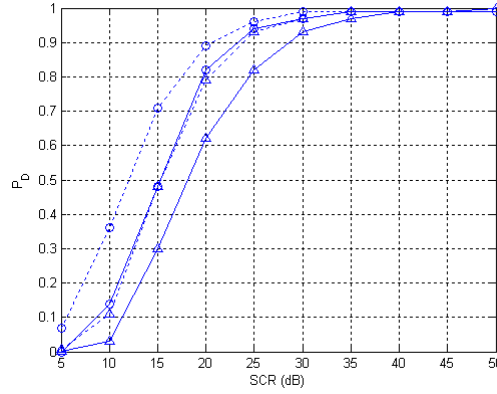
Parametrelerin kestirildiği durumda ise yanlış alarm olasılığını ortalamada istenen değere getirmek için farklı bir katsayı kullanmak gerekmektedir.

$$P_{FA}' = \exp\left(-[T/\hat{\alpha}]^{\hat{\beta}}\right), \quad T = q^{1/\hat{\beta}} \hat{\alpha}. \quad (9)$$

Rayleigh kargaşa durumunda bu sayı basit bir ifade almakta iken Weibull durumunda analitik hesaplama yapılamamaktadır. Bu değerlerin bulunması için çok sayıda benzetim yapılmıştır.

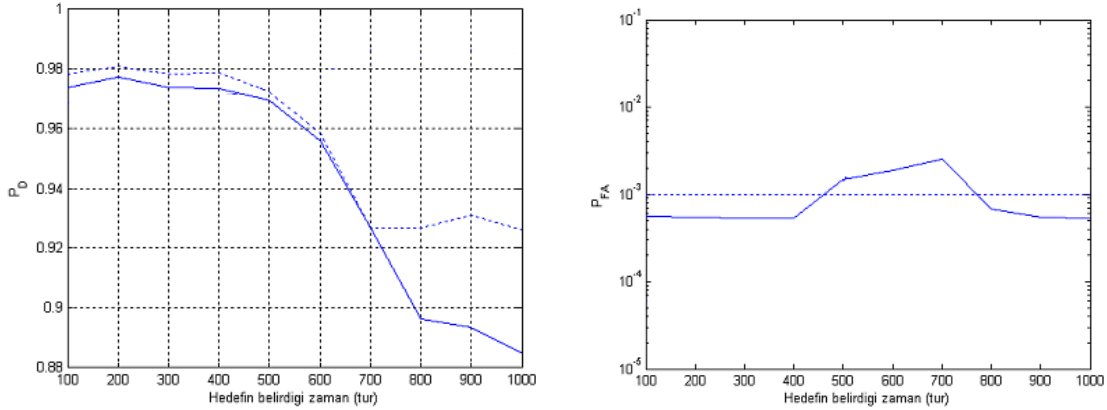
4. Başarım

İlk olarak, benzetimle elde edilmiş tespit ve yanlış alarm olasılıkları verilmektedir. Öncelikle, tur sayısının artmasıyla parametre kestirim başarımının ve böylece tespit olasılığının değişimi incelenmiştir. $\beta=1.5$, $SCR=20dB$, ve hedeflenen $P_{FA}=10^{-3}$ olması durumunda, 100. turdan sonra 0.8 tespit olasılığının üzerine çıkılmakta, yaklaşık 150 turdan sonra yeterli değere ulaşabilmektedir. Bu senaryoda, parametreler tam olarak bilindiğinde elde edilen tespit olasılığı 0.9 olarak hesaplanmıştır. Şekil 1'de farklı iki şekil parametresi için tespit olasılığının SCR (Signal-to-Clutter power Ratio) değerine göre değişimi gösterilmektedir. Beklendiği gibi, düşük şekil parametresi durumunda daha düşük bir tespit olasılığı elde edilmektedir. Geliştirilen yöntemle hedeflenen yanlış alarm olasılıkları elde edilebilmiştir. Klasik tek güç parametrelili kargaşa haritalı yöntemle (eski değer 7/8, yeni değer 1/8) ile çarpılırken yanlış alarm olasılıkları şekil parametresinin 1.5 ve 1 olduğu durumlarda, sırasıyla, 8×10^{-3} ve 2.5×10^{-2} gibi yüksek yanlış alarm olasılıkları oluşmuştur.



Şekil 1. Tespit olasılığının sinyal-kargaşa güç oranına göre değişimi
 $N=100$, 10^4 nokta, hedeflenen $P_{FA}=10^{-3}$
 \circ : $\beta=1.5$, Δ : $\beta=1$, \dots : Parametrelerin tam olarak bilindiği durum

Bir başka senaryoda, değişken bir ortamda elde edilen başarımlar incelenmektedir. Bu senaryoda, 2'den başlayan şekil parametresi 400. turdan sonra doğrusal olarak azalmaya başlamakta, 700. turda 1 değerine ulaşmakta ve daha sonra sabit kalmaktadır. Bu durumda elde edilen tespit ve yanlış alarm olasılıkları Şekil 2'de gösterilmektedir. Noktalı eğri, doğru eşğin kullanılması durumunda elde edilen tespit ve yanlış alarm olasılıklarının değişimi göstermektedir. Şekil parametresinin düşük olduğu durumda, tespit olasılığı düşük, CFAR kaybı ise yüksek olmaktadır. Geliştirilen yöntemle, yanlış alarm olasılığı hedeflenen 10^{-3} değerine çok yakın olmaktadır. Tek parametrelili klasik eşikleme yöntemi ile ise olasılık 10^{-1} değerine yükselmektedir.



Şekil 2. Değişken şekil parametrelili ortamda tespit ve yanlış alarm olasılıkları
 $\beta=2$ 'den başlayıp 1 değerine iniyor, $SCR=25dB$, 10^4 nokta

5. Sonuç

Çalışmada, Weibull dağılıma sahip radar kargaşası için haritalı bir eşikleme yöntemi geliştirilmiştir. Harita güncelleme, tüm sinyalin kaydedilmesini gerektirmemekte ve basit olarak yapılabilmektedir. Bu şekilde yapılan eşikleme, yoğun kargaşada dahi başarılı olmakta ve klasik metotlara göre daha iyi başarımlar sağlamaktadır.

Kaynaklar

- [1] Billingsley, J.B., *Low Angle Radar Land Clutter – Measurements and Empirical Models*, NY: Scitech Publishing, IEE, 2002.
- [2] Chung P.J., Roberts, W.J.J., Böhme J.F., "Recursive K-Distribution Parameter Estimation", *IEEE Transactions on Signal Processing*, 53(2), s. 397-402, Şubat 2005.
- [3] Richards M.A, *Fundamentals of Radar Signal Processing*, New York: McGraw-Hill, 2005.
- [4] Shnidman D.A., "Generalized Radar Clutter Model," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 35(3), s. 857-865, Temmuz 1999.