Maisel Yan Kulakçık Köreltme Sisteminin Optimalitesi
On The Optimality of Maisel Sidelobe Blanking System

Osman COŞKUN, Çağatay CANDAN
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Ankara, Türkiye
{e170834,ccandan}@metu.edu.tr

Özetçe **—Bu çalışmada Swerling-0, Swerling-1 ve Swerling-3 hedefler için optimum yan kulakçık köreltme (YKK) sistemi önerilmekte ve önerilen yeni sezicinin klasik Maisel YKK yapısı ile performansı kıyaslanmaktadır. Optimum YKK sezicisi gürültü-sinyal (SNR) ve karıştırıcı-gürültü (JNR) oranlarına bağlı olup, birçok uygulamada gerçeklenmesi açısından pratik olamayabilir. Bu çalışmanın amacı Maisel YKK yapısı ile hedef ve karıştırıcı ile ilgili ilave bilgi kullanan optimum YKK sistemini kıyaslamak ve aralarında performans açısından boşluğu tespit etmektir. Sayısal sonuçlar Maisel SLB yapısı ile optimum sezicinin performanslarının pratik konuşllar altında yakın olduğunu göstermektedir.**

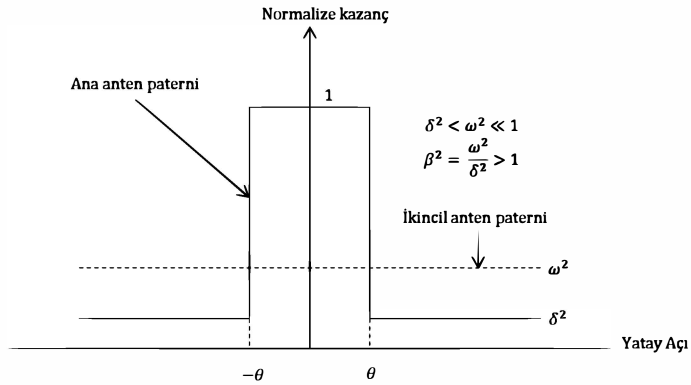
Anahtar Kelimeler—Maisel yan kulakçık köreltme (YKK) sistemi, optimum YKK sezici, radar sinyal işleme.

Abstract**—We present an optimal sidelobe blanker (SLB) detector for Swerling-0, Swerling-1 and Swerling-3 targets and compare the performances of the suggested detector with the classical Maisel SLB structure. The optimal SLB detector depends on the signal to noise ratio (SNR) and jammer to noise ratio (JNR) values and may not be practical for implementation in many applications. The goal of this work is to compare the Maisel structure with the optimal detector which utilizes additional information on target and jammer and assesses the performance gap between two systems. Numerical results show that the performance of Maisel SLB structure is close to the optimal detector under very practical conditions.**

Keywords—Maisel sidelobe blanking (SLB) system, optimum SLB detector, radar signal processing.

I. GİRİŞ

Geleneksel radar sistemlerinde anten yan kulakçıklarından alınan girişim sinyalleri yanlış hedef algılamaya ve hedef takip performansında olumsuz etkilere sebep olabilmektedir. Yan kulakçıklardan gelen sinyallerin olumsuz etkilerini giderebilmek amacıyla yan kulakçık köreltme (YKK) mimarisi Maisel [1] tarafından önerilmiştir. Maisel yapısında iki alıcı kanal kullanılmaktadır. Birinci kanal, ana hüzmede yüksek anten kazancı ve yan huzmelerde düşük anten kazanca sahip olan ana kanaldır. Yardımcı kanal olarak adlandırılan ikinci kanal ise yönlendirilmemiş anten paternine sahip olup Şekil 1'de gösterildiği gibi anten kazancı ana antenin yan hüzme kazancından biraz büyük olarak seçilmektedir.

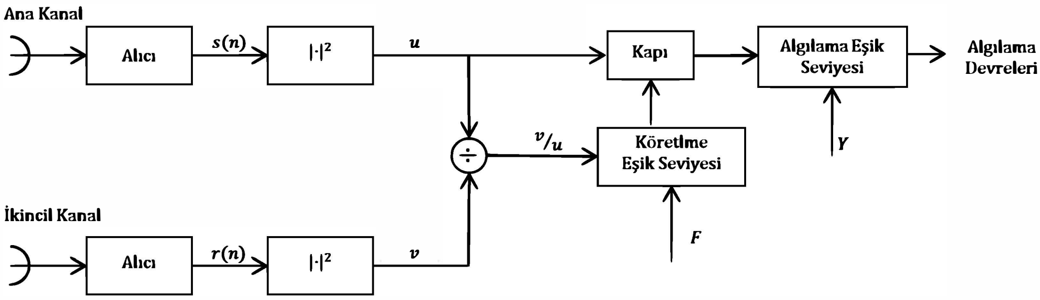


Şekil 1. YKK sistemindeki ana ve yardımcı antenlerin kazanç paternleri

Yardımcı kanal çıkışının (v) ana kanal çıkışına (u)'a oranı, (v/u) belirlenmiş bir eşik seviyesinden F büyük olursa köreltme sinyali oluşturulmaktadır (Bkz. Şekil 2). (v/u) oranı F'den büyük olduğu durumda ana kanal köreltilmektedir. Hatalı olarak ana kanalın köreltilmesi hedef algılama olasılığında kayba sebep olmaktadır. Şekil 1'den görülebileceği gibi eşyönlü anten kazancı (ω^2), iyi bir çalışma için $\omega^2/\delta^2 = \beta^2 \geq 1$ koşulunu sağlamalıdır. Bu koşul, şu şekilde doğrulanabilir: Ana kanalda yan kulakçıklardan alınan girişim sinyali u, ikincil kanalda $\beta^2 u$ çıkışı oluşturmaktadır. Bu sinyalin köreltilebilmesi için $\beta^2 \geq F$ koşulunun sağlanması gerekliliği kolayca anlaşılabilir [1]. Benzer şekilde ana kanalda alınan sinyalin köreltilmemesi için $\omega^2 \leq F$ koşulunun sağlanması gerekmektedir [1].

Klasik YKK sistemi literatürde detaylıca çalışılmıştır. [2]'de Farina klasik SLB sistemi detaylı bir şekilde incelemiş, yan kulakçıktaki karıştırıcıyı köreltme olasılığı (P_b), ana huzmedeki hedefi köreltme olasılığı P_{tb} ve yan kulakçıkta yer alan karıştırıcıdan kaynaklanan yanlış hedef tespiti P_{ft} olasılığını Swerling-0 hedef modeli için çıkartmıştır. [3]'de Farina ve Gini bahse konu olasılık hesaplamalarını Swerling-1 hedefler için genişletmiştir.

978-1-4799-4874-1/14/$31.00 ©2015 IEEE



Şekil 2. Klasik YKK sisteminin temel çalışma şeması

Klasik YKK modeli yaygın bir şekilde kabul edilmiş olup bir çok sistemde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bilebildiğimiz kadarıyla klasik YKK yapısının herhangi bir kritere göre optimum özelliği literatürde verilmemiştir. [4]'de Neyman-Pearson olabilirlik oranından çıkartılan YKK sistemlerinin gerçek zamanlı olarak uygulanmasının zor olduğu ifade edilmiştir. Buna ilave olarak Maisel yapısı basit bir gerçekleştirme ile optimum YKK sistemleri yerine önerilmiş ve mükemmel sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada, Optimum YKK sistemleri Swerling-0, Swerling-1 ve Swerling-3 hedefleri için tartışılmış ve optimal sezici ile Maisel yapısının performansları farklı çalışma durumlarında karşılaştırılmıştır. Sayısal sonuçlar, klasik YKK sisteminin performansının pratik uygulama koşullarında performans olarak optimum sisteme yakın olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, mevcut çalışma Maisel yapısının iyi performansının gerekçelemesi olarak değerlendirilebilir.

II. Swerling-1 Hedefleri için Önerilen Yan Kulakçık Köreltme Sistemi

Ana ve yardımcı kanalların karmaşık değerli uyumlu süzgeç çıkışları sırasıyla $\tilde{s}$ ve $\tilde{r}$ ile ifade etmiş olalım. Elimizde seçmek için üç tane hipotez bulunmaktadır: Sadece gürültü H_0, hedefin ana huzmede olduğu yan huzmede karıştırıcının olmadığı durum H_1, karıştırıcının yan huzmede olduğu hedefin ana huzmede olmadığı durum H_2.

$$H_0 : \begin{cases} \tilde{s} = \tilde{w}_s \\ \tilde{r} = \tilde{w}_r \end{cases}, \; H_1 : \begin{cases} \tilde{s} = \tilde{a} + \tilde{w}_s \\ \tilde{r} = \omega\tilde{a} + \tilde{w}_r \end{cases}, \; H_2 : \begin{cases} \tilde{s} = \tilde{c} + \tilde{w}_s \\ \tilde{r} = \beta\tilde{c} + \tilde{w}_r \end{cases} \quad (1)$$

Denklem (1)'de, $\tilde{a} \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_a^2)$ ve $\tilde{c} \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_c^2)$ Swerling-1 hedef modelini [5], $\tilde{w}_s \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2)$ ve $\tilde{w}_r \sim \mathcal{CN}(0, \sigma^2)$ ise ana ve yardımcı kanaldaki alıcı gürültülerini sırasıyla göstermektedir. Burada, $\mathcal{CN}(0, \sigma^2)$ ortalaması sıfır ve varyansı σ^2 olan dairesel simetrik karmaşık Gauss rasgele değişkeni göstermektedir. Ayrıca karıştırıcı ile yan huzmedeki girişim hedefi kastedilmektedir.

Denklem (1)'de gözüken ω ve β parametreleri sırasıyla ana antenin yan kulakçık kazancını ve yardımcı antenin kazancını göstermektedir (Bkz.Şekil 1). Sinyal-gürültü (SNR) ve karıştırıcı gürültü (JNR) oranları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\text{SNR} = \frac{E[|\tilde{a}|^2]}{E[|\tilde{w}_s|^2]} = \frac{\sigma_a^2}{\sigma^2} = \gamma_s,$$
$$\text{JNR} = \frac{E[|\tilde{c}|^2]}{E[|\tilde{w}_s|^2]} = \frac{\sigma_c^2}{\sigma^2} = \gamma_j.$$

$\tilde{r}$ ve $\tilde{s}$ rasgele değişkenleri ilintilidir. Farklı hipotezler altındaki ilinti şu şekilde tanımlanmaktadır: $E[\tilde{r}\tilde{s}^*; H_1] = \omega\sigma_a^2$ and $E[\tilde{r}\tilde{s}^*; H_2] = \beta\sigma_c^2$. $\mathbf{x} = [\tilde{s} \quad \tilde{r}]^T$ vektörü iki boyutlu ve ilinti matrisi $\mathbf{C}_i$ aşağıdaki gibi tanımlanan Gauss rasgele vektörü olarak önerilmektedir.

$$\mathbf{C}_i = E[\mathbf{x}\mathbf{x}^H; H_i] = \begin{bmatrix} E[|\tilde{s}|^2; H_i] & E[\tilde{s}\tilde{r}^*; H_i] \\ E[\tilde{s}^*\tilde{r}; H_i] & E[|\tilde{r}|^2; H_i] \end{bmatrix}, \; i = \{1, 2\}$$

H_i hipotezi altında $\mathbf{x}$'ün olasılık yoğunluk fonksiyonu (pdf)

$$f_{\mathbf{X}}(\mathbf{x}; H_i) = \frac{1}{\pi^2|\mathbf{C}_i|^2} \exp\left(-\mathbf{x}^H\mathbf{C}_i^{-1}\mathbf{x}\right), \; i = \{1, 2\}$$

şeklinde oluşmakta olup $\mathbf{C}_1$ ve $\mathbf{C}_2$ matrisleri aşağıdaki gibi verilmektedir:

$$\mathbf{C}_1 = \sigma^2 \begin{bmatrix} \gamma_s + 1 & \omega\gamma_s \\ \omega\gamma_s & \omega^2\gamma_s + 1 \end{bmatrix}, \quad (2a)$$

$$\mathbf{C}_2 = \sigma^2 \begin{bmatrix} \gamma_j + 1 & \beta\gamma_j \\ \beta\gamma_j & \beta^2\gamma_j + 1 \end{bmatrix}. \quad (2b)$$

H_1 ve H_2 hipotezlerini ayırabilmek amacıyla olabilirlik oran testi (LRT) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\Lambda(\tilde{r}, \tilde{s}) = \frac{f_{\mathbf{X}}(\mathbf{x}; H_2)}{f_{\mathbf{X}}(\mathbf{x}; H_1)} \underset{H_1}{\overset{H_2}{\gtrless}} \zeta. \quad (3)$$

$\Lambda(\tilde{r}, \tilde{s})$ teriminin logaritması alınıp verilere bağlı olmayan terimler ihmal edilirse, aşağıdaki teste ulaşılmaktadır [6]:

$$d = \mathbf{x}^H(\mathbf{C}_1^{-1} - \mathbf{C}_2^{-1})\mathbf{x} \underset{H_1}{\overset{H_2}{\gtrless}} \eta \quad (4)$$

Bulunan test d karmaşık Gauss rasgele değişkenlerin karesel formundan oluşmaktadır.

$\mathbf{x}^H\mathbf{Q}\mathbf{x}$ ifadesinin istatistiği birçok haberleşme uygulamalarında kullanılan önemli bir mevzudur [7]–[10]. [7] ve [9]'daki notasyon kullanılarak $\mathbf{Q}$ matrisi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\mathbf{Q} \triangleq \sigma^2\left(\mathbf{C}_1^{-1} - \mathbf{C}_2^{-1}\right) = \begin{bmatrix} A & C \\ C & B \end{bmatrix}. \quad (5)$$

$\mathbf{Q}$ matrisinin elemanları ortalama cebir bilgisi ile

$$A = \frac{\gamma_s\,\omega^2+1}{\gamma_s\,\omega^2+\gamma_s+1} - \frac{\gamma_j\,\beta^2+1}{\gamma_j\,\beta^2+\gamma_j+1}, \tag{6a}$$

$$B = \frac{\gamma_s+1}{\gamma_s\,\omega^2+\gamma_s+1} - \frac{\gamma_j+1}{\gamma_j\,\beta^2+\gamma_j+1}, \tag{6b}$$

$$C = -\frac{\gamma_s\,\omega}{\gamma_s\,\omega^2+\gamma_s+1} + \frac{\beta\,\gamma_j}{\gamma_j\,\beta^2+\gamma_j+1} \tag{6c}$$

şeklinde bulunur. Denklem (4)'de yer alan karar istatistiği d aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$d = \mathbf{x}^H\mathbf{Q}\mathbf{x} = A|\tilde{s}|^2 + B|\tilde{r}|^2 + 2C\mathrm{Re}(\tilde{r}\tilde{s}^*) \tag{7}$$

ve d 'nin pdf'i [7], [8]:

$$f_d(d) = \begin{cases} \dfrac{ab}{a+b}\exp\left(-ad\right) & d \geq 0 \\ \\ \dfrac{ab}{a+b}\exp\left(bd\right) & d < 0 \end{cases} \tag{8}$$

şeklinde yazılabilir. (8)'de yer alan a ve b parametreleri $\mu_{\tilde{r}\tilde{s}}$ ve r'ın biraz daha karmaşık fonksyonu olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [9]:

$$a = \sqrt{r^2 + \frac{1}{4(\mu_{\tilde{r}\tilde{r}}\mu_{\tilde{s}\tilde{s}} - |\mu_{\tilde{s}\tilde{r}}|^2)(|C|^2 - AB)}} - r \tag{9a}$$

$$b = \sqrt{r^2 + \frac{1}{4(\mu_{\tilde{r}\tilde{r}}\mu_{\tilde{s}\tilde{s}} - |\mu_{\tilde{s}\tilde{r}}|^2)(|C|^2 - AB)}} + r. \tag{9b}$$

Burada $\mu_{\tilde{r}\tilde{s}} = \frac{1}{2}E[\tilde{r}\tilde{s}^*]$ ve

$$r = \frac{A\mu_{\tilde{r}\tilde{r}} + B\mu_{\tilde{s}\tilde{s}} + C^*\mu^*_{\tilde{s}\tilde{r}} + C\mu_{\tilde{r}\tilde{s}}}{4(\mu_{\tilde{r}\tilde{r}}\mu_{\tilde{s}\tilde{s}} - |\mu_{\tilde{s}\tilde{r}}|^2)(|C|^2 - AB)}$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Eşik Seviyesi Hesaplaması: Neyman-Pearson test için gerekli olan eşik seviyesi η, (8)'den kolayca hesaplanabilir. Verilen bir hedef köreltme olasılığı için P_{tb} (H_1 doğruyken H_2 kararını verme), $P_{tb} = Pr(H_2|H_1) = \int_\eta^\infty f_{d|H_1}(x)dx$ ifadesinde geçen η aşağıdaki gibi bulunabilir:

$$\eta = \begin{cases} -\dfrac{1}{a}\ln\left[\left(\dfrac{a+b}{b}\right)P_{tb}\right] & P_{tb} \geq \dfrac{b}{a+b} \\ \dfrac{1}{b}\ln\left[-\left(\dfrac{a+b}{a}\right)(P_{tb}-1)\right] & P_{tb} \leq \dfrac{b}{a+b} \end{cases} \tag{10}$$

Köreltme Olasılığı Hesaplaması: η eşik seviyesi kullanılarak yan huzmede yer alan karıştırıcıyı köreltme olasılığı $P_b = Pr(H_2|H_2) = \int_\eta^\infty f_{d|H_2}(x)dx$, aşağıdaki gibi bulunabilir:

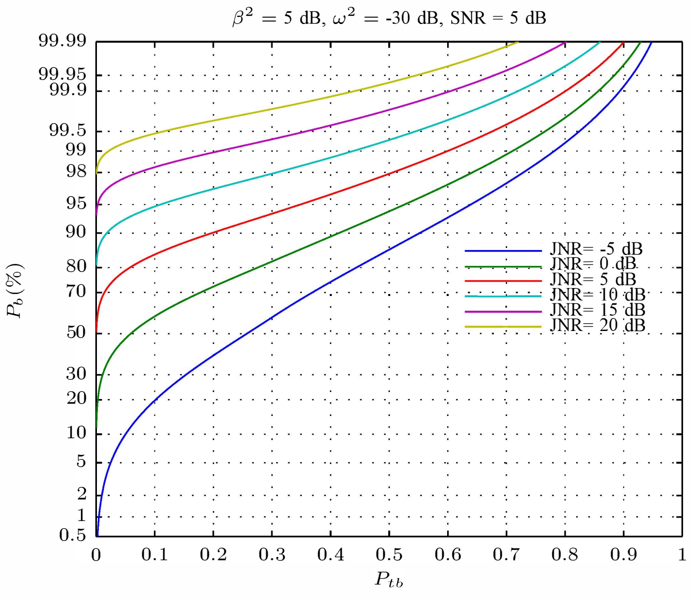
$$P_b = \begin{cases} \dfrac{b}{a+b}\exp\left(-a\eta\right) & \eta \geq 0 \\ \dfrac{a}{a+b}\Big(1-\exp(b\eta)\Big) + \dfrac{b}{a+b} & \eta \leq 0 \end{cases} \tag{11}$$

Bu durumda bahsedilen YKK sistemi ile ilgili temel çıkarımları tamamlamış olmaktayız.

Yorumlar: Bu bölümde önerilen sezimleyicinin sayısal olarak kritiği yapılmakta ve gerçeklemesi ile ilgili pratik durumlar tartışılmaktadır. Swerling-1 hedefler için (4)'de önerilen optimum test SNR ve JNR ile birlikte birçok parametreye bağlıdır. Dolayısıyla Neyman-Pearson özelliği ile önerilen testin optimum olması hedef ve karıştırıcıya özel parametrelerin kullanılması ile sağlanmaktadır. Fakat klasik Maisel YKK sistemlerinde bu bilgiler kullanılmamaktadır. Bir diğer ifade ile önerilen sezimleyicinin performans üstünlüğünün ilave bu bilgilerin kullanılmasına bağlanabileceği değerlendirilmektedir. Bir çok uygulamada, SNR ve JNR değerlerinin güvenilir bir şekilde kestirilmesi mümkün olamamakta ve klasik Maisel YKK sistemlerinin kullanılması kaçınılmaz olmaktadır. Bununla birlikte, geleneksel yapıda kullanılmayan ilave bilgiye rağmen, Maisel yapısı ile optimum yapı arasındaki performans farkı bu çalışmada incelenmektedir.

Müteakip bölümlerde Maisel yapısı ile optimum sezimleyicinin sayısal olarak kıyaslaması yapılmıştır. İki sistemde eşdeğer antenlerin kullanıldığı ve aynı ω^2 ile β^2 değerlerine sahip olduğu varsayılmıştır. İki sezimleyici de aynı hedef köreltme (yanlış köreltme) olasılığını sağlamak için ayarlanmıştır. Bir kez daha ifade etmek isteriz ki optimum sezimleyici SNR ve JNR değerlerine bağlı olmakta ve eşik seviyesi hesaplamalarında bu iki parametre kullanılmaktadır.

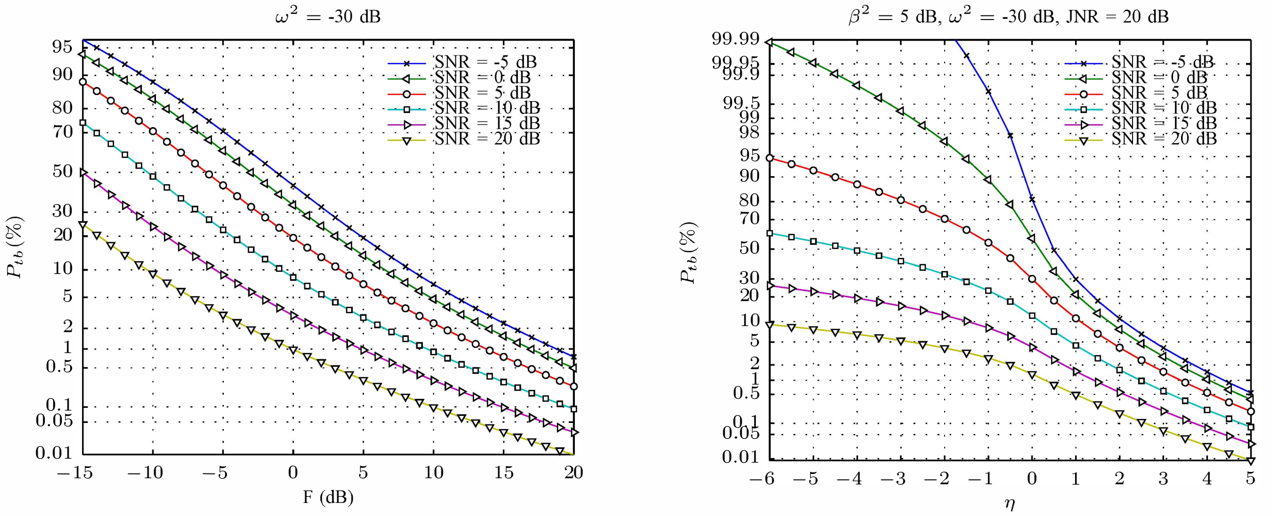
Şekil 3, önerilen sezimleyicinin alıcı işletim karakteristiğini (ROC) göstermektedir. ROC grafiği SNR'ı 5 dB olan bir hedef için ve farklı JNR değerleri ile birlikte farklı P_{tb} ve P_b olasılıkları için verilmiştir. Bu grafikte P_b'nin JNR'a göre bağlılığının JNR $>$ 15 dB olduğu durumlarda zayıf olduğu görülmektedir.



Şekil 3. Swerling-1 hedefler için karıştırıcı köreltme olasılığının P_b hedef köreltme olasılığına P_{tb} göre değişimi.

III. SWERLING-1 HEDEFLER IÇIN MAISEL YKK YAPISI ILE OPTIMUM YKK SEZIMLEYICISININ SAYISAL KIYASLAMASI

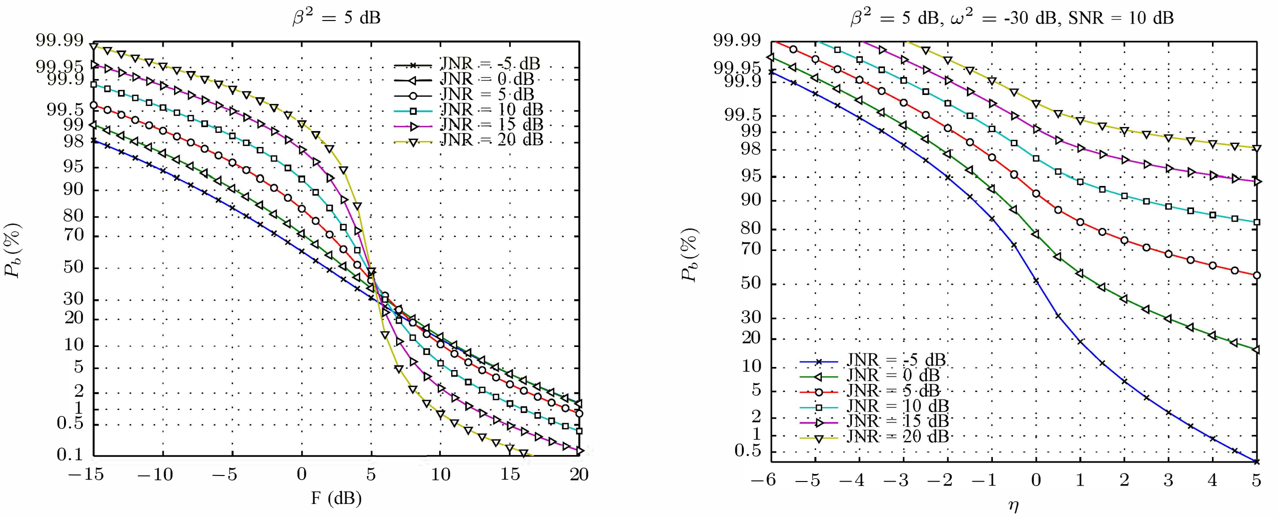
Verilen $\mathbf{P_{tb}}$ ve SNR değerleri için eşik seviyesi belirleme: Yan huzmede karıştırıcı yok iken ana huzmedeki hedefin köreltilmesi herhangi bir YKK sistemi için istenilmeyen bir olaydır. Şekil 4, verilen bir P_{tb} ve SNR değeri için her iki



(a) Maisel YKK sistemi [3]

(b) Önerilen YKK sezimleyicisi

Şekil 4. Swerling-1 hedefler için hedef köreltme olasılığının P_{tb} F ve η'ya göre değişimi.



(a) Maisel YKK sistemi [3]

(b) Önerilen YKK sezimleyicisi

Şekil 5. Swerling-1 hedefler için karıştırıcıyı köreltme olasılığının (P_b) F ve η'ya göre değişimi.

sezimleyicinin eşik seviyelerinin belirlenmesinde kullanılabilecektir. Yan bir uygulama bilgisi olarak eşik seviyesi bulunurken en zayıf güce sahip ve eşik seviyesini zorlukla geçen hedeflerin dikkate alınmasının daha doğru olacağı değerlendirilmektedir. Bu şekilden yüksek SNR değerine sahip hedeflerin köreltilme olasılığının düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 4(b)'de, $\mathbf{Q}$ matrisi oluşturulurken JNR $= 20$ dB değeri kullanılmıştır.

$\mathbf{P_b}$'nin JNR'a göre değişimi: Yan kulakçıkta yer alan bir karıştırıcının köreltilmesi herhangi bir YKK sistemi için istenen bir olaydır. Şekil 5, farklı JNR değerleri için bu olasılığın eşik seviyesine göre değişimini göstermektedir. Bu şekil ile Şekil 4'ün sabit istenmeyen yanlış köreltme olasılığında her iki sistemin köreltme performanslarının incelenmesi amacıyla kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Şekil 5(a)'da F değerlerinin $\beta^2 = 5$ dB'den büyük olduğu durumlarda JNR değerinden bağımsız olarak, köreltme olasılığında çok büyük miktarda kaybın oluştuğu görülmektedir. $F < \beta^2$ koşulunun çiğnenmesi nedeniyle bu durum beklenmektedir. Maisel YKK sisteminden farklı olarak optimum sezicide P_b'nin η ve JNR'a göre değişiminin daha düzgün olduğu görülmektedir.

$\mathbf{P_b}$'nin verilen bir $\mathbf{P_{tb}}$ için JNR'a göre değişimi: Şekil 6(a) iki sistemin performansını sabit bir hedef köreltme olasılığında kıyaslamaktadır. Hedef köreltme olasılığı 0.01 olarak belirlenmiş ve β^2 değeri 5 dB olarak seçilmiştir. Maisel sezimleyicisi için eşik seviyesi değerleri farklı SNR değerleri için şekilde gösterilmiştir. (Maisel SLB sisteminin istatistiği [3]'de verilmiştir.) Burada optimum YKK sezimleyicisi için eşik seviyesi değeri JNR'a bağlı olduğundan eşik seviyesi Şekil 6(a)'daki her noktada değişmektedir.

Şekil 6(a)'dan Maisel yapısı ile optimum sezimleyici arasındaki performans farkının SNR = 15 dB olduğunda çok yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumda Maisel eşik seviyesi olan F, β^2 değerine yakındır. Diğer durumlarda performans farkı nispeten daha azdır. Genel olarak Maisel eşik seviyesi F değerinin β^2'ye göre azaldığında performans farkının iyice azaldığı görülmektedir.

Şekil 6(b), benzer kıyaslamayı daha yüksek hedef köreltme olasılığı $P_{tb} = 0.1$ için göstermektedir. Verilen bir P_{tb} değeri için $F \approx \beta^2$ durumu daha düşük SNR değerlerinde oluşmaktadır. Genel olarak $F \ll \beta^2$ koşulu sağlandığında Maisel yapısı ile optimum sezimleyicinin performanslarının çok benzer olduğu söylenebilir.

IV. DIĞER SWERLING HEDEF MODELLERI IÇIN OPTIMUM YKK SISTEMLERI

Denklem (1)'de verilen hedef ve karıştırıcının karmaşık dönen sinyalleri $\tilde{a}$ ve $\tilde{c}$, Swerling-0 hedef modelinde büyüklükleri sabit ve bilinen olarak kabul edilmekte, fazları ise $(0, 2\pi)$ arasında birörnek olacak şekilde dağılıma sahip olduğu varsayılmaktadır.

Swerling-1 hedef modelinde olduğu gibi $\tilde{r}$ ve $\tilde{s}$ ilintilidir. Farklı hipotezler altında ilinti şu şekilde bulunur: $E[\tilde{r}\tilde{s}^*; H_1] = \omega|\tilde{a}|^2$ and $E[\tilde{r}\tilde{s}^*; H_2] = \beta|\tilde{c}|^2$. LRT'in bulunması için $\tilde{r}$ ve $\tilde{s}$'in farklı hipotezler altındaki birleşik pfd'lerinin bulunması gerekmektedir. Birleşik pdf'lerin bulunması için ilk aşamada fazlarının bilindiği varsayımı ile koşullu pdf'ler bulunur, ardından faz üzerinde integrali alınır. Sonuç olarak LRT aşağıdaki gibi bulunur:

$$d_0 = \frac{I_0\left(\frac{2|\tilde{c}|}{\sigma^2}|\tilde{s} + \beta\tilde{r}|\right)}{I_0\left(\frac{2|\tilde{a}|}{\sigma^2}|\tilde{s} + \omega\tilde{r}|\right)} \underset{H_1}{\overset{H_2}{\gtrless}} \eta_0. \qquad (12)$$

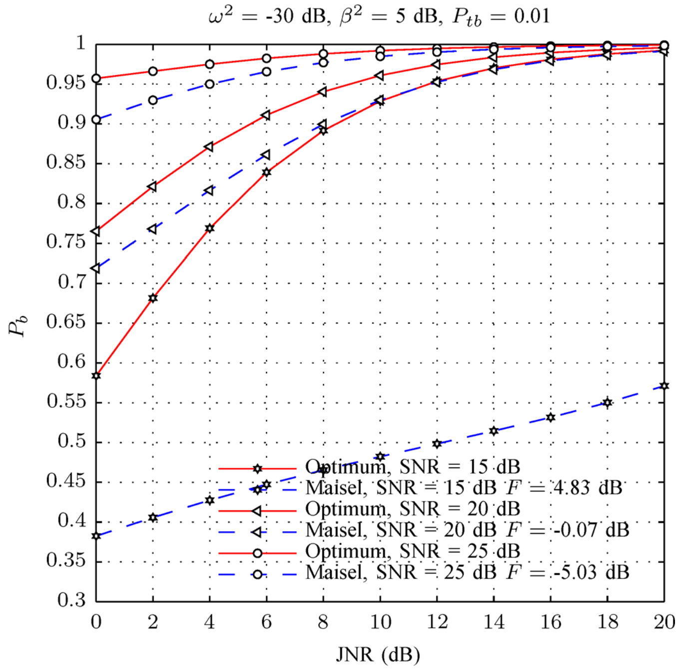
Burada $I_0(\cdot)$ birinci çeşit modifiye edilmiş Bessel fonksiyonunu göstermektedir.

Denklem (12) ile verilen test Swerling-0 hedefler için optimumdur. Bu testin (d_0) istatistiği analitik olarak bulunması zordur. Bu sebeple performans değerlendirmesi için Monte Carlo yöntemi uygulanmıştır. Eşik seviyesi (η_0) H_1 hipotezinde sinyal üretilip, ardından belirlenen yanlış köreltme olasılığının (P_{tb}) aranması ile bulunmaktadır.

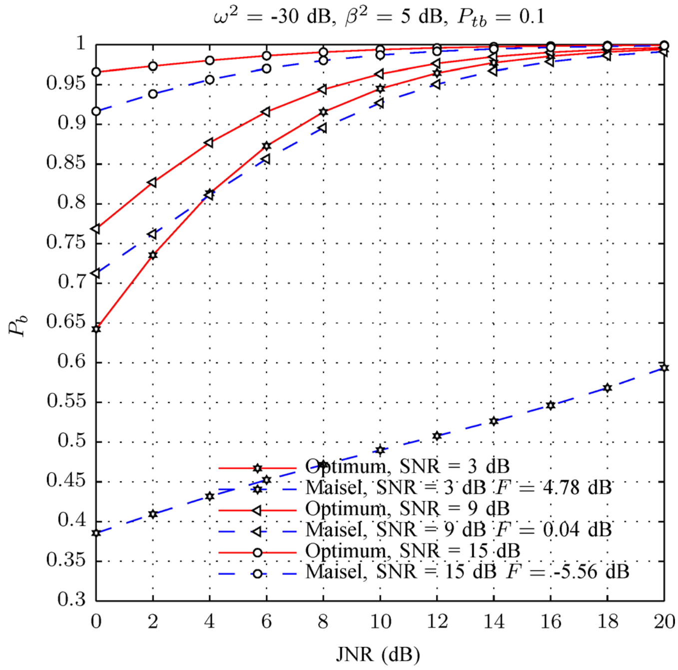
Şekil 7(a), yanlış köreltme olasılığı P_{tb}'nin 0.01 olarak seçildiği durumda P_b kıyaslamasını göstermektedir. Buna ilişkin eşik seviyesi değerleri grafikte gösterilmiştir. Swerling-1 modelinde olduğu gibi Maisel yapısı eşik seviyesi olan F'in β^2'dan yeterince düşük olmadığı durumda Maisel yapısı oldukça kötü performans sergilemektedir. Ayrıca performans farkının JNR arttıkça azaldığı görülmektedir.

Şekil 7(b), yanlış köreltme olasılığının daha büyük değere $P_{tb} = 0.05$ ayarlandığı durumdaki benzer kıyaslamayı göstermektedir. Şekil 6 ile ilgili yapılan yorumlar hala geçerliliğini korumaktadır.

Ayrıca optimum YKK sisteminin yüksek köreltme olasılığını Swerling-0 durumuna göre nispeten düşük JNR değerlerinde yakaladığı görülmektedir. Bu durum seçilen hedef modelindeki hedef büyüklüğünün bilinen kabul edilmesinden dolayı beklenmektedir. Swerling-3 hedef modeli Swerling-1 modeline (taramadan taramaya değişim) hedef sinyal büyüklüğünün dağılımı haricinde benzemektedir. $\tilde{a}$'nın büyüklüğü



(a) $P_{tb} = 0.01$



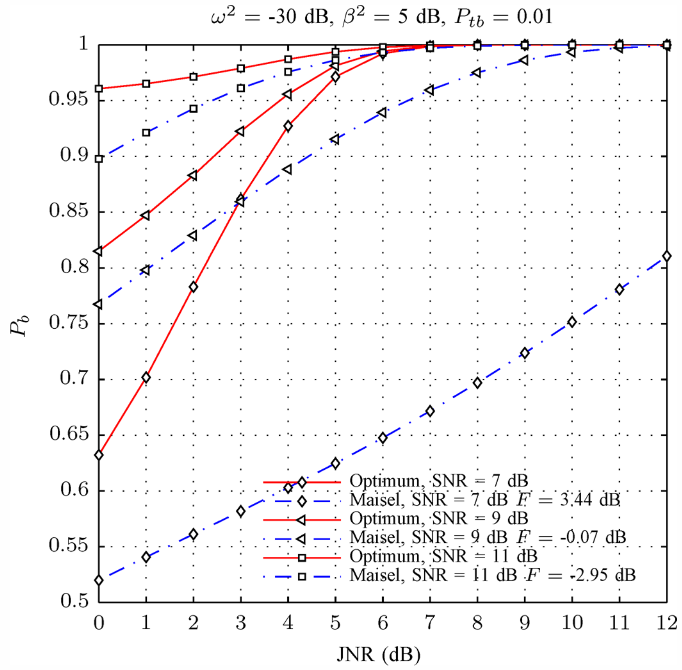
(b) $P_{tb} = 0.1$

Şekil 6. Swerling-1 hedefler için P_b'nin JNR'a göre değişimi. Parametreler: $\beta^2 = 5$ dB, $\omega^2 = -30$ dB.

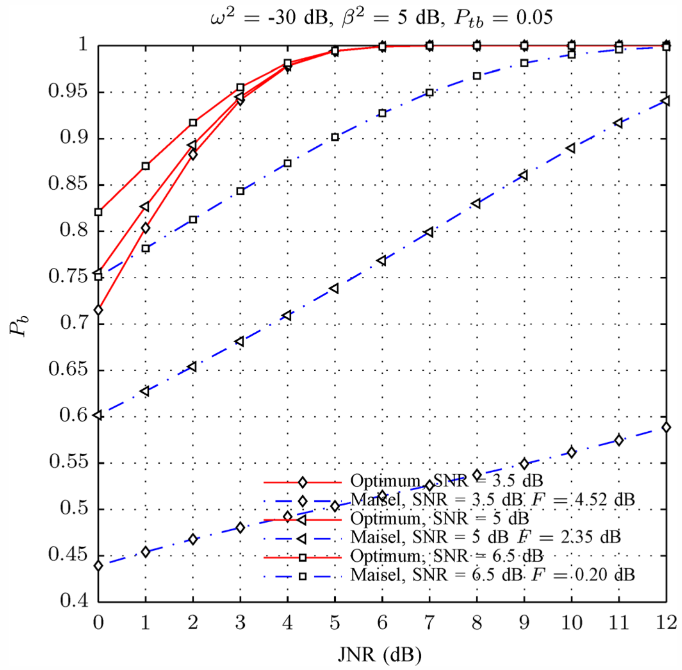
$a_o = |\tilde{a}|$

$$f(a_0) = \frac{8a_0^3}{\sigma_a^4} \exp\left(-\frac{a_0^2}{\sigma_a^2}\right) \quad a_0 \geq 0. \qquad (13)$$

şeklinde dağılıma sahiptir. Hedef sinyalinin ortalama gücü $E[a_0^2] = \sigma_a^2$ olarak verilmekte, fakat eşfazlı ve dikfazlı bileşenleri Swerling-1 modelinde olduğu gibi Gauss dağılımlı olmamaktadır.



(a) $P_{tb} = 0.01$



(b) $P_{tb} = 0.05$

Şekil 7. Swerling-0 hedefler için P_b'nin JNR'a göre değişimi. Parametreler: $\beta^2 = 5$ dB, $\omega^2 = -30$ dB, Monte Carlo deneme sayısı = 10^6.

Bu model için olabilirlik oran testi

$$\Lambda_3(\tilde{r},\tilde{s}) = K_3 \exp\left(\mathbf{x}^H\left(\mathbf{C}_1^{-1} - \mathbf{C}_2^{-1}\right)\mathbf{x}\right) \times \left(\frac{1+\mathbf{x}^H\left(-\mathbf{C}_2^{-1}+\mathbf{I}\right)\mathbf{x}}{1+\mathbf{x}^H\left(-\mathbf{C}_1^{-1}+\mathbf{I}\right)\mathbf{x}}\right). \quad (14)$$

şeklinde bulunmaktadır. Burada K_3, dataya bağlı olmayan çarpandır. Ardından testin logaritması alınıp dataya bağlı olmayan çarpanlar eşik seviyesine gömüldüğü zaman aşağıda verilen test elde edilir:

$$d_3 = \mathbf{x}^H\left(\mathbf{C}_1^{-1} - \mathbf{C}_2^{-1}\right)\mathbf{x} + \log\left(\frac{1+\mathbf{x}^H\left(-\mathbf{C}_2^{-1}+\mathbf{I}\right)\mathbf{x}}{1+\mathbf{x}^H\left(-\mathbf{C}_1^{-1}+\mathbf{I}\right)\mathbf{x}}\right) \underset{H_1}{\overset{H_2}{\gtrless}} \eta_3. \quad (15)$$

Bu testin gerçeklenebilmesi için d_3 istatistiğinin bulunması gerekmektedir. Ancak bu işlem analitik olarak zor olduğundan Swerling-0 modelinde olduğu gibi Monte Carlo yöntemine başvurularak performans değerlendirmesi yapılabilir. Burada benzer performans sonucunun çıkması beklenmekte, ancak hedef sinyal büyüklüğü Swerling-1 modeline göre daha az değişim gösterdiğinden aynı hedef köreltme olasılığına Swerling-1 modeline göre daha düşük JNR'da ulaşılması beklenmektedir.

V. SONUÇ

Bu çalışmanın amacı geleneksel Maisel YKK sisteminin performansını gerekçelemektir. Bu amaçla, optimum YKK sezimleyicisi Swerling-1, Swerling-0 ve Swerling-3 hedef modelleri için oluşturulmuş, Swerling-1 modeli için analitik olarak bulunmuş, diğer hedef modellerinden Swerling-0 hedef modeli için Monte Carlo yöntemi ile optimum YKK sezimleyicisinin Maisel YKK sistemi ile performans kıyaslaması yapılmıştır. Optimum sezimleyici radar tarafında genel olarak bilinmeyen SNR ve JNR değerlerine bağlıdır. Bu durum optimum YKK sezimleyicisinin gerçek zamanlı olarak gerçeklenebilmesini zor kılmaktadır. Bu çalışmadaki ana amaç hedef ve karıştırıcıdaki ilave bilgileri kullanmayan Maisel yapısı ile bahse konu bilgileri kullanan optimum sezimleyici arasındaki performans farkını ortaya koymaktır.

Sayısal sonuçlar Maisel yapısının eşik seviyesi olan F değerinin β^2'den yeterince küçük olduğu durumda optimum sezimleyiciye performans olarak oldukça yakın olduğunu ortaya koymaktadır.

Optimum YKK sisteminin radar hedef tespit olasılığındaki etkisi, Maisel YKK sistemlerinin tasarımına katkıda bulunabilecek önerilerin olgunlaştırılması ve Swerling-3 hedef modeli için performans kıyaslamasının yapılması gelecekte yapılabilecek olası çalışmalar arasında yer almaktadır.

KAYNAKÇA

[1] L. Maisel, "Performance of sidelobe blanking systems," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. AES-4, no. 2, pp. 174–180, 1968.

[2] A. Farina, *Antenna-based Signal Processing Techniques For Radar Systems*. Artech House Boston, 1992. [Online]. Available: http://nla.gov.au/nla.cat-vn2232434

[3] A. Farina and F. Gini, "Calculation of blanking probability for the sidelobe blanking for two interference statistical models," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 5, no. 4, pp. 98–100, 1998.

[4] H. Finn, R. S. Johnson, and P. Z. Peebles, "Fluctuating target detection in clutter using sidelobe blanking logic," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. AES-7, no. 1, pp. 147–159, 1971.

[5] H. L. Van Trees, *Detection, Estimation, and Modulation Theory: Radar-Sonar Signal Processing and Gaussian Signals in Noise*, 1st ed. John Wiley & Sons, Inc., 2002, vol. 3, ch. 9, pp. 238–274.

[6] ——, *Detection, Estimation, and Modulation Theory*, 1st ed. John Wiley & Sons, Inc., 2001, vol. 1.

[7] K. Biyari and W. Lindsey, “Statistical distributions of Hermitian quadratic forms in complex Gaussian variables,” *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 39, no. 3, pp. 1076–1082, 1993.

[8] P. Bello and B. D. Nelin, “Predetection diversity combining with selectively fading channels,” *IEEE Trans. Commun*, vol. 10, no. 1, pp. 32–42, 1962.

[9] U. Fernández-Plazaola, E. Martos-Naya, J. F. Paris, and J. T. Entrambasaguas, “Comments on Proakis analysis of the characteristic function of complex Gaussian quadratic forms,” *Computer Research Repository (CoRR)*, vol. abs/1212.0382, 2012.

[10] J. Proakis, “On the probability of error for multichannel reception of binary signals,” *IEEE Trans. Commun. Technol.*, vol. 16, no. 1, pp. 68–71, 1968.