

Doppler Hızı Ölçümünün Katılımıyla Hedef İzi Başlatma Algoritmalarının Başarımının İyileştirilmesi

Performance Improvement of Track Initiation Algorithms with the Incorporation of Doppler Velocity Measurement

Faruk Kural¹, Feza Arıkan², Orhan Arıkan³

¹ Optimal Yazılım, Elektronik ve Mühendislik A.Ş. ODTÜ Teknokent, kural_faruk@yahoo.com

² Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hacettepe Üniversitesi, arikan@hacettepe.edu.tr

³ Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bilkent Üniversitesi, oarikan@ee.bilkent.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada, bir evre kaydırmalı dizi radarının çıkardığı yükselme açısı ve Doppler hızı ölçümü katılımıyla hedef izi başlatma sistemlerinin yanlış hedef izi başlatma olasılığına ait ilk kez elde edilen analitik ifadeler sunulacaktır. Böylelikle sıklıkla kullanıldığı şekilde mesafe ve sektör genişliği açısı değerlerinden oluşan ölçüm vektörü yükselme açısı ve Doppler hızı ölçümünü de alacak şekilde genişletilmiştir. Bu durumda, hedef izi başlatma sistemlerinin yanlış hedef izi başlatma olasılığı, sinyal işleme bloğunun yanlış alarm olasılığı, doğru sezim olasılığı, sinyal-gürültü oranı ve sezici eşik değeri gibi parametrelerine bağlı olarak elde edilen analitik ifadeler ile kolaylıkla kestirilebilmektedir. Bu, oldukça zaman alıcı benzetimler yapma zorunluluğunu da ortadan kaldırmaktadır. Yapılan çalışmalar neticesinde, doğru hedef izi başlatma olasılığı istenen ≥ 0.7 tasarım kriterini sağlarken, belirli bir iz başlatma süresi, hız ve ivme eşik değerleri için yanlış hedef izi başlatma olasılığı değeri 9 ile 34 kat arasında değişen oranlarda azalma göstermiştir.

Abstract

In this study, to obtain the analytical expressions of false track initiation probability, elevation and Doppler velocity measurements extracted by a phased array radar are incorporated for the first time into the commonly used track initiation algorithms. With this study, the measurement set is expanded from a merely range and azimuth to include elevation and Doppler velocity. The analytical expressions of false track initiation probability depend on the parameters of the signal processing unit of the phased array radar, such as false alarm probability, true detection probability, signal-to-noise ratio and detector threshold. Furthermore, such expressions remove the necessity of very time-consuming simulations. The results indicate that using position and Doppler velocity measurements provide a reduction of false track initiation probability by a factor of 9 to 34 depending on the value of velocity and acceleration thresholds while supplying the design criterion of the true track initiation probability, ≥ 0.7 .

1. Giriş

Evre Kaydırmalı Dizi Radarı (EKDR)'nin sinyal işleme bloğunun belli bir ölçüm hatası ve aktarım hızıyla (örnekleme hızı) çıkarmış olduğu ölçümler veri işleme bloğu olan hedef izleme ünitesine aktarılır. Alınan bu ölçümler ilişkilendirme

bloğuna gönderilir. İlişkilendirme bloğu, alınan ölçümleri izi başlatılmış olan hedeflerle ilişkilendirmek için kullanır. İlişkilendirilemeyen ölçümlerin radarın tarama alanına giren muhtemel yeni hedefler olması durumu için de Hedef İzi Başlatma (HİB) bölümü devreye girer. Dolayısıyla bu bölüm izlemenin başlamasına onay veren bölüm olduğu için başarımı tüm izleme başarımını etkileyecektir. Ortamda gerçek hedefler olduğu halde doğru bir şekilde iz başlatamayan, asıl hedefler yokken de sanki varmış gibi izler başlatan bir HİB bloğu ciddi problemlere neden olabilir. Bu nedenle HİB sistemleri ortamdaki asıl hedefleri en uygun sürede ve tasarımcının belirlediği asgari bir doğrulukla başlatabilmelidir. Ancak HİB bölümü bu esnada yanlış alarm ve çevresel yansıma kaynaklı ölçümlerin etkilerini mümkün olduğunca azaltarak izlerin yanlış bir şekilde başlatılmasının da önüne geçmelidir. Bu gereksinimler olasılık terimleriyle ifade edilecek olursa, Doğru Hedef İzi Başlatma Olasılığı (DHİBO) tasarımcının belirlediği asgari bir düzeyde tutularak Yanlış Hedef İzi Başlatma Olasılığı (YHİBO) azaltılmaya çalışılmalıdır.

HİB algoritmalarının analitik olarak incelenmesine yönelik çalışmalar kısıtlı kalmıştır [1-2]. Bu çalışmalarda mesafe ve sektör genişliği açısından kurulu konum ölçümleri eşliğinde HİB algoritmalarının YHİBO değerleri belirli kabuller altında analitik olarak incelenmiştir. Bu çalışmaların en kapsamlısı ve günceli olarak bilinen [1]'de YHİBO ve DHİBO'nun analitik olarak hesaplanmasında da iki boyutlu ölçüm vektörü göz önüne alınmıştır ve yükselme açısı ile Doppler hızı ölçümü analize dahil edilmemiştir. Ancak, Doppler hızı ölçümü özellikle çevresel yansıma kaynaklı ölçümlerin yüksek hızlara sahip gerçek hedeflerden ayırt edilmesinde oldukça etkili olmaktadır [3].

Tarama/gözetleme işlevli bir radar üç, hatta dört boyutlu ölçüm vektörüne sahip olabildiği için buradaki analizlerde [1]'deki iki boyutlu ölçüm vektörü için verilen HİB mantığı ve hesaplama yöntemleri, mesafe, sektör genişliği açısı, yükselme açısı ve Doppler hızı ölçümlerini içerecek şekilde dört boyuta taşınacak ve bunların sonucunda YHİBO'nun analitik sonuçları sadece konum ölçümleri ile konum ve Doppler hızı ölçümlerinin kullanıldığı durumlar için verilerek kıyaslanacaktır. Doppler hızı ölçümünün kullanılmasından dolayı getirilen yeni testlerin DHİBO'yu da azaltması beklenmektedir. Ancak burada önemli olan, Doppler hızı ölçümünün kullanılmasıyla tasarımcı tarafından belirlenen asgari DHİBO değerinin sağlanabilmesidir. Doppler hızı ölçümünün DHİBO'ya olan etkilerinin belirlenebilmesi amacıyla bu çalışmada benzetimler yapılacaktır.

2. HİB Algoritmaları

Radar izleme sistemlerinde sıklıkla kullanılan iki tip HİB algoritması mevcuttur. Bunlardan ilki kural-tabanlı HİB [1], diğeri ise mantık-tabanlı HİB [1-2] olarak bilinmektedir.

2.1. Kural-Tabanlı HİB Yöntemi

Kural-tabanlı HİB algoritmasında iki temel bileşen mevcuttur:

- i. Kartezyen koordinatlara çevrilmiş konum ölçümlerine dayanan konum vektörü kullanılarak kestirilen hız değeri, izleri başlatılacak olan hedeflerin özelliklerine göre önceden belirlenen en az ve en çok hız eşik değerlerinin ($0 \leq v_{min} < v_{max}$) arasında kalmalıdır. Toplam M örnekleme (tarama) sonunda iz başlatan bir HİB sistemi için bu hız eşiklemesi:

$$v_{min} < \|\mathbf{r}_{j,i+1}(1:3) - \mathbf{r}_{k,i}(1:3)\|/t_s < v_{max} \quad (1)$$

ile verilir [1]. Burada, $\mathbf{r}_{k,i} = [x_{k,i} \ y_{k,i} \ z_{k,i} \ v_{k,i}]^T$, i 'nci ($i = 1, 2, \dots, M-1$) örnekleme için k 'nci ölçüm vektörü, t_s , EKDR'nin HİB süreci için bakmış olduğu bölgeden çıkardığı tüm ölçümlerin izleyici ünitesine gönderilme periyodu (örnekleme aralığı) değeri ve $\|\cdot\|$ ise $\mathcal{L}_2$ vektör normu operatörüdür.

- ii. Ardışık zamanlarda alınan konum ölçümü vektörleri kullanılarak kestirilen ivme değeri en çok ivme eşiklerinin altında kalmalıdır ($i = 2, 3, \dots, M-1$) [1]:

$$\|(\mathbf{r}_{i,i+1}(1:3) - \mathbf{r}_{i,i}(1:3))/t_s^2 - (\mathbf{r}_{i,i}(1:3) - \mathbf{r}_{i,i-1}(1:3))/t_s^2\| < a_{max} \quad (2)$$

2.1.1. Kural-Tabanlı HİB Yönteminin YHİBO Analizi

Çevresel yansıma ve yanlış alarm kaynaklı ölçümler YHİBO'yu artırarak sistem başarımını olumsuz yönde etkilerler. Bu nedenle HİB sistemlerinde YHİBO önemli bir tasarım parametresidir. Buradaki analizlerde, EKDR'nin toplam tarama hacmi, V , içerisinde bulunan çevresel yansılara ait konum ölçümleri (x_i, y_i, z_i) 'nin birbiriçimli, bunların sayısının da Poisson dağılıma sahip olduğu kabul edilmiştir. Çevresel yansıma ve yanlış alarm neticesinde her bir tarama zamanında meydana gelen YHİBO'ların, P_i , birbirinden istatistiksel olarak bağımsız oldukları kabulüyle toplam M tarama sonunda meydana gelecek olan YHİBO, $P_{YHIB} = \prod_{i=2}^M P_i$, şeklindedir.

Bir radar sisteminin ikinci örnekleme zamanında çıkarmış olduğu bir çevresel yansıma ölçümünün Eş.(1) ile verilen hız aralığına düşmesi olayının olasılığı p_2 ise bir örnekleme zamanında ζ adet çözünürlük hücresi içerisinde, her bir hücrenin yanlış alarm olasılığı, P_{YA} , olmak üzere, ortalama $N = P_{YA}\zeta$ adet çıkarılmış olan çevresel yansıma ölçümlerinden en az bir tanesinin Eş.(1) ile tanımlanmış hız aralığına düşmesi olasılığı, P_2 :

$$P_2 = 1 - \exp(-P_{YA}\zeta p_2) \quad (3)$$

olarak verilir [1]. Çevresel yansıma ölçümlerinin uzamsal dağılımının birbiriçimli olduğu dikkate alınarak ve olasılığın önsel/klasik tanımı kullanılarak, $p_2 = V_2/V$ şeklinde

hesaplanır. Burada V_2 , Eş.(1) ile verilen hız kapısının toplam hacmidir. Buna göre bir hedef sahip olduğu kabul edilen en az ve en çok hız değerleriyle iki örnekleme zamanı arasında her yöne eşit olasılıkla gidebileceği ve her yönde de aynı yolu katedeceği düşüncesiyle, $R_2 = v_{max}t_s$ yarıçaplı bir küre ile

$R_1 = v_{min}t_s$ yarıçaplı bir kürenin oluşturduğu hacmin arasında kalacaktır. Bu durumda meydana gelen yeni hacim, $V_2 = (4\pi/3)(R_2^3 - R_1^3)$ olacaktır. Bir sonraki yani üçüncü örnekleme zamanında çıkarılan ölçümler hem hız, hem de ivme eşiklemesine uğrayacaklardır. Buna göre ikinci örnekleme zamanında Eş.(1) ile verilen hız eşiklemesini geçen (x_2, y_2, z_2) çevresel yansıma ölçümü için üçüncü örnekleme

zamanındaki bir (x_3, y_3, z_3) 'ün Eş.(2) ile verilen eşiklemeleri sağlayabilmesi $R_3 \leq d_{2,3} \leq R_4$ ile mümkündür [1]. Burada

$R_3 = \max(R_1, d_{1,2} - R_0)$, $R_4 = \min(R_2, d_{1,2} + R_0)$ olup

$R_0 \triangleq a_{max}t_s^2$ ve $d_{i,i+1} = \sqrt{(x_i - x_{i+1})^2 + (y_i - y_{i+1})^2 + (z_i - z_{i+1})^2}$

şeklinde hesaplanmaktadır. Bu durumda, üçüncü örnekleme zamanında bir veya birden fazla çevresel yansıma ölçümünün Eş.(2) ile verilen hız aralığına düşmesi ve ivme eşiklerinin altında kalması olasılığı, P_3 , Eş.(1) ile verilen kısıtlamalara uyan ölçümler üzerinden hesaplanırsa aşağıdaki gibi bulunur:

$$P_3 = 1 - \exp(-P_{YA}\zeta p_3) \quad (4)$$

Eş.(4)'de verilen p_3 , Eş.(1) ile verilen eşiklemelere uyan birinci ve ikinci örnekleme zamanına ait ölçüm çiftlerinin olması koşuluyla, üçüncü örnekleme zamanındaki herhangi bir ölçümün Eş.(2) ile verilen kısıtlamaya da uyması olasılığı olup değeri hesaplanarak aşağıda verilmiştir:

$$p_3 = \left[\begin{aligned} & \left(\frac{1}{6}(R_1 + R_0)^6 - \frac{1}{6}R_1^6 + \frac{3}{5}R_0((R_1 + R_0)^5 - R_1^5) + \right. \\ & \left. \frac{3}{4}R_0^2((R_1 + R_0)^4 - R_1^4) + \frac{1}{3}((R_0^3 - R_1^3)(R_1 + R_0)^3 - R_1^3) \right) \\ & k + \left(\frac{6}{5}R_0(R_2 - R_0)^5 - (R_1 + R_0)^5 + \frac{2}{3}R_0^3(R_2 - R_0)^3 - (R_1 + R_0)^3 \right) \\ & + \left(\frac{1}{6}R_2^6 + \frac{1}{6}(R_2 - R_0)^6 + \frac{3}{5}R_0(R_2^5 - (R_2 - R_0)^5) - \right. \\ & \left. \frac{3}{4}R_0^2(R_2^4 - (R_2 - R_0)^4) + \frac{1}{3}(R_2^3 + R_0^3)(R_2^3 - (R_2 - R_0)^3) \right) \end{aligned} \right] \quad (5)$$

Eş.(5)'de, $k = 4\pi(\theta_2 - \theta_1)(\sin\phi_2 - \sin\phi_1)/(3VV_2)$ olup

θ_1 ve θ_2 ($\theta_2 > \theta_1$) tarama yapılan bölgenin sektör genişliği

açısındaki kapsama alanı, ϕ_1 ve ϕ_2 ($\phi_2 > \phi_1$) ise tarama yapılan bölgenin yükselme açısındaki kapsama alanıdır. Toplam örnekleme zamanı sayısı, $M = 3$ olarak seçilirse YHİBO, $P_{YHIB} = (1 - \exp(-P_{YA}\zeta p_2))(1 - \exp(-P_{YA}\zeta p_3))$ ile hesaplanır.

2.2. Mantık-Tabanlı HİB Yöntemi

İlk iki örnekleme zamanında kural-tabanlı HİB yöntemiyle aynı mantığa sahiptir. Burada, $v_{min} < \mathbf{v}^{(2)} = \|\mathbf{r}_{j,2} - \mathbf{r}_{k,1}\|/t_s < v_{max}$ koşuluna uyan ölçüm çiftleri belirlenerek potansiyel

izler oluşturulur ve üçüncü örnekleme zamanı için konum öngörüsü, $\mathbf{r}^{(3)} = \mathbf{r}_{j,2} + \mathbf{v}^{(2)}t_s$ yapılır. Üçüncü örnekleme zamanında yarıçapı r_0 olan üç boyutlu bir kapı kurulur ve alınan ölçümlerin bu kapı içinde kalıp kalmadığı $\|\mathbf{r}_{j,3} - \mathbf{r}^{(3)}\| \leq r_0$ ile test edilerek $\mathbf{a}^{(3)} = (\mathbf{v}^{(3)} - \mathbf{v}^{(2)})/t_s$ ivme kestirimi ve sonraki örnekleme zamanı için de konum öngörüsü, $\mathbf{r}^{(4)} = \mathbf{r}_{j,3} + \mathbf{v}^{(3)}t_s + 0.5\mathbf{a}^{(3)}t_s^2$ oluşturulur. Kapıların içinde ölçüm olmadığı durumda potansiyel iz bitirilir. Birden fazla ölçüm olması durumunda ise öngörü değerine en yakın ölçüm seçilir.

2.2.1. Mantık-Tabanlı HİB Yönteminin YHİBO Analizi

Mantık-tabanlı HİB algoritmasındaki p_2 olasılığı ilk iki örnekleme zamanı için aynı mantık kullanıldığından $p_2 = V_2/V$ ile hesaplanır. Sonraki örnekleme zamanında kurulan sabit r_0 yarıçapındaki kapı nedeniyle, $V_3 = 4\pi r_0^3/3$ olacaktır. Bu durumda da, p_3 olasılığı $p_3 = V_3/V$ ile bulunur. Toplam örnekleme zamanı sayısı, $M = 3$ olarak seçilirse $P_{YHIB} = (1 - \exp(-P_{YA}\zeta p_2))(1 - \exp(-P_{YA}\zeta p_3))$ ile hesaplanır.

2.3. Doppler Hızı Ölçümü İle HİB Mantığı

Konum ölçümü ile beraber Doppler hızı ölçümünün de kullanıldığı durumda, sadece konum ölçümlerine dayanan hız ve ivme testlerine ek olarak aşağıdaki testler de uygulanarak YHİBO'nun azaltılması amaçlanmaktadır:

$$\left\{ \begin{array}{l} v_{\min} \leq |\mathbf{r}_{t,i}(4)| \leq v_{\max} \cap |\mathbf{r}_{t,i}(4) - \mathbf{r}_{t,i-1}(4)|/t_s \leq a_{\max} \\ \cap \mathbf{r}_{t,i}(4) \cdot \mathbf{r}_{t,i-1}(4) \geq \xi_v \end{array} \right\} \quad (6)$$

Bu testlerde, $\mathbf{r}_{t,i}$ ve $\mathbf{r}_{t,i-1}$ sırasıyla i 'nci ve $(i-1)$ 'nci örnekleme zamanlarında sadece konum ölçümüne dayanan hız ve ivme testlerini geçen ölçümlere ait t 'nci ölçüm çiftidir ($i = 2, \dots, M-1$). Burada, Doppler hızı ölçümünün mutlak değerinin ve Doppler hızı ölçümlerinden elde edilen ivme kestiriminin verilen sınırlarda kalıp kalmadığı test edilmektedir. En son testte ise Doppler hızı ölçümünün yönü dikkate alınarak yeterince kısa örnekleme aralıklarında takip edilecek hedeflerin birbirinden oldukça farklı ve zıt işaretlere sahip Doppler yaratamayacağı ve dolayısıyla Doppler hızlarının çarpımlarının belirli bir ξ_v eşik değerin üzerinde kalacağı beklenmektedir.

2.4. Doppler Hızı Ölçümü İle HİB Analizi

Burada, konum ölçümüne ek olarak Doppler hızı ölçümü de olması durumunda YHİBO'ya ait ifadeler yeniden elde edilecektir. Doppler hızı ölçümü olması durumunda, p_i^D aşağıda tanımlanmıştır:

$$p_i^D \triangleq p_i \cap P \left\{ \begin{array}{l} (v_{\min} \leq |v| \leq v_{\max}) \cap (|v - v_f|/t_s) \leq a_{\max} \\ \cap (vv_f) \geq \xi_v \end{array} \right\}, i = 2, 3 \quad (7)$$

Eş.(7) ile verilen ifadede, v herhangi bir örnekleme zamanındaki ÇY kaynaklı Doppler hızı ölçümüne ait RD, v_f ise bir önceki örnekleme zamanında çıkarılmış yine ÇY

kaynaklı Doppler hızı ölçümüne ait RD'dir. Burada, p_i olasılığını meydana getiren olay sadece konum ölçümüne dayalı olarak kestirilmiş olan hızı kullanmaktadır. Bu olasılığın yani p_i 'nin dışında kalan olasılığı meydana getiren olaylar ise doğrudan Doppler hızı ölçümlerini kullandığından, p_i 'yi meydana getiren olayla diğerlerinin istatistiksel olarak birbirlerinden bağımsız oldukları kabulü yapılabilir. İkinci olayı oluşturan alt-olaylarda ise çevresel yansıma ölçümlerine ait ardışık Doppler hızı ölçümlerinin farklı işlevleri kullanılmakta olup bu üç alt-olayın da birbirlerinden bağımsız oldukları düşünülürse p_i^D olasılığı, $p_i^D = p_i S_1 S_2 S_3$ şeklinde olmalıdır. Bu ifadedeki S_1 , S_2 ve S_3 değerleri, çevresel yansımalarla ait Doppler hızı ölçümünün $-v_{\max}$ ile $v_{\max}$ arasında birbiciimli dağılıma sahip olduğu kabulüyle hesaplanırsa:

$$S_1 = 1 - \left(v_{\min}/v_{\max} \right), v_{\min} < v_{\max} < v_{\max} \quad (8)$$

$$S_2 = \left(\frac{a_{\max} t_s}{v_{\max}} \right) \left(1 - \frac{a_{\max} t_s}{4v_{\max}} \right), a_{\max} t_s < 2v_{\max} \quad (9)$$

$$S_3 = 0.5 - \frac{\xi_v}{2v_{\max}^2} \left(1 + \ln \left(-\frac{v_{\max}^2}{\xi_v} \right) \right), \xi_v < 0 \quad (10)$$

olarak bulunur. Bu durumda elde edilecek olan YHİBO, $P_{YHIB}^D = (1 - \exp(-P_{YA}\zeta p_2^D))(1 - \exp(-P_{YA}\zeta p_3^D))$ olmalıdır.

3. Benzetimler ve Analitik İfadelerin Değerlendirilmesi

3.1. DHİBO Benzetimleri

HİB algoritmalarının DHİBO kestirimlerinin yapılabilmesi amacıyla Monte Carlo benzetimleri yapılmıştır. Bu amaçla [4] no'lu kaynaktaki önerilen denektaşı testine ait toplam altı adet hedeften manevra kabiliyeti en fazla olan hedef kullanılmıştır. DHİBO kestirimi için yapılan benzetimlerin 1000 olarak belirlenmiştir. EKDR'nin bir tarama boyunca çıkardığı ölçümlerin HİB ünitesine aktarılma aralığı $t_s = 2$ saniye seçilmiştir. Denektaşı içerisinde farklı hareket kabiliyetine sahip hedefler bulunduğundan $a_{\max}$ değerleri 31, 58 ve 70 m/s² olarak alınmıştır. En az eşik hız değeri, bu hedeflere ait en az ivme değeri ve EKDR'nin örnekleme aralığı kullanılarak $v_{\min} = a_{\min} t_s = 20 \times 2 = 40$ m/s olarak belirlenmiştir. Denektaşı içindeki hedefler yüksek hızlarda hareket edebildiği için hedeflere ait Doppler hızı değerleri de dikkate alınarak $v_{\max} = 1000$ m/s olarak alınmıştır. Ardışık örnekleme zamanlarından çıkarılacak olan Doppler hızı ölçümlerinin çarpımlarının kıyaslandığı eşik değeri ise $\xi_v \approx -(t_s a_{\min})^2 = -(2 \times 20)^2 = -1.6 \times 10^3$ m²/s² olarak seçilmiştir. Mantık-tabanlı HİB yöntemindeki r_0 değeri 500 m'dir. Burada DHİBO'nun ≥ 0.7 olması tasarlanmıştır. EKDR'nin doğru sezim olasılığı 0.95 olarak belirlenmiş olup kullanılan EKDR parametreleri uyarınca belirsizlik içermeyen en çok mesafe değerinde ulaşılan sinyal-gürültü oranındaki ölçüm doğrulukları mesafe, açılar ve Doppler hızında sırasıyla 20 m, 0.54 mrad ve 40 m/s olarak hesaplanmıştır. Bu parametrelerle yapılmış olan

benzetimler sonucunda elde edilen DHİBO değerleri aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

Tablo 1 : HİB algoritmaları için elde edilmiş olan DHİBO kestirimi değerleri (KT:Kural Tabanlı HİB, MT:Mantık Tabanlı HİB, SK:Sadece Konum, KD:Konum ve Doppler)

KT-SK	MT-SK	KT-KD	MT-KD
0.80	0.86	0.70	0.75

Tablo 1 incelenirse Doppler hızı ölçümünün HİB algoritmalarında kullanılması ile DHİBO'da meydana gelen azalmanın ortalama değeri verilen hedef için %12.6 olarak hesaplanmış olup DHİBO'nun ≥ 0.7 tasarım kriteri sağlanmaktadır.

3.2. YHİBO'ya Ait Analitik İfadelerin Değerlendirilmesi

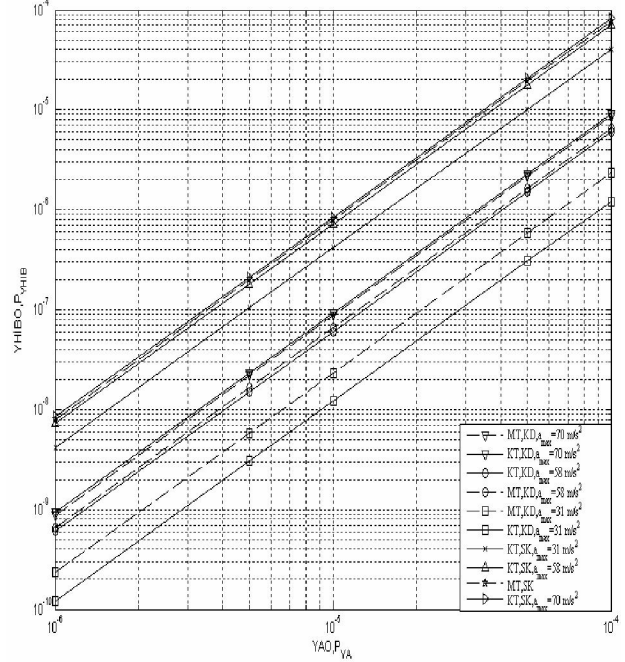
Burada, ayrıntıları önceki alt bölümlerde verilen HİB algoritmaları sonucunda elde edilmiş analitik YHİBO sonuçları verilecektir. Burada, çözünürlük hücresi başına düşen ortalama çevresel yansıma ölçümü sayısı olarak tanımlanan yanlış alarm olasılığı ise sırasıyla 1×10^{-6} , 5×10^{-6} , 1×10^{-5} , 5×10^{-5} ve 1×10^{-4} (çözünürlük hücresi)⁻¹ olarak hem düşük, hem de yüksek değerleri temsil edecek şekilde seçilmiştir. EKDR'nin kapsama alanı içinde sahip olduğu toplam hüme sayısı ve bir hümenin meydana getirdiği hacim değeri kullanılarak toplam tarama hacmi $V = 2.57 \times 10^5 \text{ km}^3$ olarak hesaplanmıştır. Çevresel yansıma ölçümlerinin sahip olduğu kabul edilen en çok Doppler hızı değeri ise gerçekçi bir şekilde $v_{\text{max}} = 150 \text{ m/s}$ olarak seçilmiştir. Diğer parametreler, DHİBO kestiriminde kullanılan parametreler ile aynıdır. $M = 3$ için sadece konum ile hem konum, hem de Doppler hızı ölçümü olduğu zaman HİB yöntemleri için elde edilmiş olan YHİBO'ların değerleri Şekil 1'de verilmiştir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada bir EKDR'nin çıkardığı üç boyutlu konum ölçümlerine dayanan HİB algoritmalarının YHİBO'ları analitik olarak ilk kez elde edilmiştir. Yapılan bu katkıdan ileriye gidilerek dördüncü boyut olarak Doppler hızı da ölçüm vektörüne dahil edildiği zaman ulaşılan YHİBO analitik olarak hesaplanmıştır. Doppler hızının da kullanıldığı durumda HİB yöntemleri için elde edilen YHİBO'ların oranı, farklı ivme eşik ve yanlış alarm olasılığı değerlerine göre her iki HİB yöntemi için yaklaşık 9 ile 34 arasındadır. DHİBO ile ilgili olarak asgari %70 başarımla istemiyle seçilmiş HİB parametreleri uyarınca benzetimler yapılmıştır. Buna göre %95 sezim olasılığı ile çıkarılan ölçümlere ait doğruluk değerleri neticesinde Doppler hızı ölçümünün kullanılması, DHİBO üzerinde ortalama %12.6 oranında azalmaya neden olmakla beraber DHİBO değeri tasarım kriterine uygun bir biçimde en az 0.7 olarak gerçekleşmiştir.

Sonuç olarak, HİB sürecinde gerçek hedefler ile ÇYÖ'lerin ayırt edilmesi için bu çalışmada Doppler hızı ölçümü kullanılmış; bu durumda DHİBO'da sınırlı, tasarımcının istemlerine uygun bir azalma gözlenirken YHİBO değerleri

çok ciddi azalmalar göstermiştir. Bu sonuç sistem kaynaklarının da çok daha verimli bir şekilde kullanılacağı anlamına gelmektedir. YHİBO'ya ait bu tip analitik ifadelerin sağladığı bir diğer kolaylık da, HİB bloğunun çalışma karakteristiklerinin benzetim yapma yoluna gidilmeksizin kolaylıkla kestirilebilmesidir.



Şekil 1 : YHİBO değerleri

5. Kaynakça

- [1] Hu, Z., Leung, H., Blanchette, M., "Statistical Performance Analysis of Track Initiation Techniques", *IEEE Trans. On Signal Processing*, 45(2):445-456, 1997.
- [2] Shalom, Y.B., Chang, K.C., Shertukde, H.M., "Performance Evaluation of Cascaded Logic for Track Formation in Clutter", *IEEE Trans. On Aerospace and Electronic Systems*, 25(6):873-877, 1989.
- [3] Cassassolles, E., Ludovic, M., Herve, S., Tomasini, B., "Integration of Radar Measurement Attributes in the Multiple Hypothesis Tracker Results for Track Initiation", *Proc. of SPIE, Signal and Data Processing of Small Targets*, Vol.2759, 397-403, 1996.
- [4] Blair, W.D., Watson, G.A., and Hoffman, S., "A benchmark problem for beam pointing control of phased array radar against maneuvering targets", *Proc. American Control Conference*, Baltimore, MD, 2071 – 2075, 1994.