

Deniz Platformları İçin Kinematiklere Dayalı Bayesci Tehdit Değerlendirme Modeli

Mustafa Çöçelli¹, Ethem Arkin²

¹ASELSAN A.Ş. SST-MD-KKYTM P.K.1 06172, Yenimahalle/Ankara, Türkiye

²ASELSAN A.Ş. SST-MD- KKYTM P.K.1 06172, Yenimahalle/Ankara, Türkiye
¹mcocel@aselsan.com.tr, ²earkin@aselsan.com.tr

Özet. Deniz harbinin yüksek stresli ve zaman kısıtlı şartları altında, doğru hedefi yüzlerce aday arasından seçebilmek zor bir karar verme sürecidir. Komuta ve kontrol sistemleri operatörlere bu süreçteki harp görevleri için rehberlik yapmaktadır. Ancak bazı deniz platformları tespit ettiği temasların sadece kinematik bilgilerini sağlayarak komuta ve kontrol sistemlerinin yeteneklerini kısıtlamaktadırlar. Sınırlı yeteneklere sahip böyle deniz platformlarında tehdit değerlendirmenin yapılmasında operatöre destek sağlamak için çıkarım modelleri kullanılması faydalı olmaktadır. Bu makalede sınırlı yeteneklere sahip deniz platformlarında tehdit değerlendirme yapabilmek için kinematiklere dayalı Bayesci Çıkarım modeli anlatılmaktadır. Bu modelde hedefin kategorisinden ve iki boyutlu uzaydaki kinematik verilerinden faydalanarak taktiksel bilginin çıkarılması amaçlanmaktadır. Hedefin kimliğine ve karakteristiğine dair hiçbir verinin bulunmadığı platformlarda bu metodun kullanılabilmesi düşünülmektedir. Bu Bayesci tehdit değerlendirme modelinin performansı sentetik senaryolar oluşturularak ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Tehdit Değerlendirme, Karar Verme, Durumsal Farkındalık, Bilgi Füzyonu, Komuta ve Kontrol

Bayesian Threat Assessment Model Based On Kinematics For Naval Platforms

Abstract. Under the high stress and time-constrained conditions of naval military operations, choosing right goal among the hundreds of candidates is a difficult decision-making process. Command and control systems provide precious guidance to operators along military operations. However, some naval platforms limit the capabilities of command and control systems by providing only kinematic data of contacts. In such maritime platforms with limited capabilities, it is useful to use inference models to provide operator support for threat assessment. In this article, Bayesian threat assesment model based on kinematics is presented in order to evaluate threats on naval platforms with limited capabilities. In this model, it is aimed to extract tactical information by

taking advantage of the target's category and kinematic data in two-dimensional space. It is thought that this method can be used on platforms where there is no data about the identity and the characteristic of the target. Presented Bayesian threat assessment model performance is measured by creating synthetic scenarios.

Key words: Threat Assessment, Decision Making, Situational Awareness, Data Fusion, Command and Control

1 Giriş

Bu çalışma öncesinde kategori verisi dikkate alınmadan tasarlanmış bir tehdit değerlendirme modeli üzerinde çalışıldı [1]. Yapılan çalışma değerlendirilirken hava hedeflerinin parametreleri göz önüne alınarak sentetik senaryolar oynatıldı. Önceki çalışmada yer almayan su üstü hedefleri ile yapılan denemelerde kategori verisinin tehdit değerlendirme modeli üzerindeki etkisinin azımsanamayacak kadar büyük olduğu görülmüştür. Kullanılan parametrelerin ve bu parametrelerin ağırlığının kategori bilgisine göre önemli ölçüde değiştiği görülmüştür [2, 3]. Bu sebeple bu çalışmada kategori verisi dikkate alınarak önceki çalışma genişletilmiştir.

Askeri operasyonlar anlık değişen büyük miktardaki veriler işlenerek gerçekleştirilir. Kısıtlı zaman içinde verilmesi gereken kararlar tecrübeli operatörleri bile zorlar. Bu stresli ortam savaş yönetim sistemi operatörlerini kolayca yanlış kararlara yönlendirir. Bundan dolayı; Gözetle-Belirle-Karar Ver-İşlet döngüsü içinde elektronik beyinlerden yardım almak kaçınılmaz bir hâl alır [4]. Yardımın ne kadar olacağı deniz platformlarına konuşlandırılmış sensörlerin yeteneğine bağlıdır. Karar destek sistemleri sensörlerin ham verilerini işleyerek derlenmiş taktik resmi operatörlerin kullanıma sunar. Operatörler önlerine gelen derlenmiş taktik resimdeki nesnelere kimliklerine ve kinematiklerine bakarak mevcut bilgiler ışığında ellerinden gelen en iyi kararı uygulamaya koyarlar. Her halükârda, sürekli değişen veriler arasında ilişki kurmak ve anlık verilerden karar vermeye yardımcı olacak değerler çıkarmak kolay bir işlem değildir [5]. Operatörlerin karar döngüleri pek çok çalışmanın konusu olmuştur. Bu çalışmaların sonuçları karar destek sistemlerini tasarlamak için kullanılmıştır [6, 7]. Bu tür çalışmalar göstermiştir ki; karar destek sistemleri, komuta kontrol sistemleri için vazgeçilmez bileşenlerdir.

Durumsal farkındalık safhası komuta kontrol süreçlerindeki gözetleme adımının tamamlandığı yerdir. Bu safha, belirleme adımı için gereken bilgilerin üretildiği yerdir [8]. Bu noktada; tehdit değerlendirme, çevredeki cisimlerin korunan nesnelere yönelik niyetlerinin sürekli analizi olarak tarif edilebilir. Bu işlem yapılırken cisimler tehdit seviyelerine göre sıralanır. Çevredeki cisimlerin tehdit seviyeleri belirlendikten sonra, onlara karşı alınacak olan tedbirler belirlenir [9]. Bu bağlamda; tehdit değerlendirme yöntemleri, komuta ve kontrol operatörlerinin karar döngülerinde harcadıkları süreyi azaltmak için önem kazanıyorlar.

Tehdit değerlendirme algoritmaları çevredeki tespitlerin tehdit seviyelerini belirlemek için çeşitli yöntemler kullanıyor [10]. Tehdit değerlendirme ipuçları tehdit

değerlendirme yöntemlerinin en önemli girdileridir. Tecrübeli askeri personeller ile birlikte yapılan uzun süreli çalışmalar sonunda bu ipuçlarının listesi belirlenmiştir. Hava hedefleri için belirlenen tehdit değerlendirme ipuçları şöyledir: uçuş rotası, yükseklik, koordineli aktivite, gidilen yön, en yakın yaklaşma noktası, elektronik destek, uçulan bölge, IFF modu, manevralar, köken, kendi desteği, mesafe, hız, görünürlük, silah menzili, kanatların dolu olması [11]. Su üstü hedefler için belirlenen tehdit değerlendirme ipucu listesi ise kargo, koordineli aktivite, varış noktası, elektronik destek, gidilen yön, gemi sayısı, kendi desteği, mesafe, bölgesel istihbarat, seyir hattı, hız, ses iletişimi ve silah menzili olarak sıralanmıştır [2]. Listeler arasında benzerlik olsa da, çevresel faktörlerden ve platformların farklılıklarından doğan ayrımlar göze çarpmaktadır.

Tehdit değerlendirme ipuçları hedeflerin karakteristiğinden ve kinematiklerinden çıkarılmaktadır. Sınırlı yeteneklere sahip olan deniz platformları etraftaki cisimlerin karakteristiği hakkında sınırlı bilgiye sahip olurlar. Elektronik destek ve IFF gibi teknolojilerin eksikliği, karşılaşılan cisimler hakkında sınıflandırma yapmayı zorlaştırır. Operatörün gözlem gücü ve diğer sensörlerden sağlanan verilerle belirli bir noktaya varana kadar yorumlama yapılabilir. Nihayetinde, operatör çevresindeki cisimlerin karakteristiğinden mahrum kalarak sadece kinematiklerine mahkûm şekilde yorum yapmak durumunda kalabilir. Bu koşulları göz önünde bulundurarak, bu çalışmada cisimlerin kinematiklerine dayanan Bayesci bir tehdit değerlendirme modeli anlatıyoruz.

Bu makalenin geri kalan kısımları şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölümde bu çalışmanın sebepleri ve çalışmanın ardındaki motivasyon anlatılmıştır. Üçüncü bölüm tehdit değerlendirme modeline odaklanmıştır. Dördüncü bölümde yöntemin performansı ölçülmüştür. Beşinci bölümde makalenin özeti verilmiştir.

2 Motivasyon

Devam eden askeri bir operasyon esnasında komuta ve kontrol operatörlerini davranışlarını tahmin etmek mümkün olmadığı için tehdit değerlendirme probleminin tamamlanmış bir çözümü yoktur [12]. Bu yüzden, ortamdaki verilerin füzyonunu sağlayan değişik yöntemler geliştirilmiştir. Tehdit değerlendirme problemi sınırlı yetenekler sahip platformlarda çözülmesi daha zorlayıcı bir problem haline dönüşmüştür. Gözetleme ve tespit sistemlerinin yetersizliği çevredeki cisimlerin karakteristiklerini hakkındaki çıkarım yapmayı zorlaştırır. Bu çalışmada, sınırlı yeteneklere sahip deniz platformlarının tehdit değerlendirme ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik bir yöntem geliştirilmiştir.

Tehdit değerlendirme ipuçlarını tespit etmek için pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Dünyadaki önemli komuta ve kontrol sistemleri temasların kökeni, IFF modu, istihbarat raporu, yükseklik, uçuş rotasına yakınlık ve elektronik destek parametrelerini hava savunma sistemlerinde en etkin tehdit değerlendirme ipuçları olarak kullanılmaktadır. Benzer şekilde, su üstü savunma sistemleri, platformun tipini, silah menzili, elektronik desteği, kökeni baskın parametreler olarak kullanılmaktadır. Görüldüğü üzere, hedeflerin karakteristikleri tehdit seviyelerini belirlerken ön sırada yer almak-

tadırlar. Maalesef, gelişmiş tespit sistemlerinin yokluğundan ötürü deniz platformlarının savaş yönetim sistemleri bu parametreleri kullanamıyor duruma düşebilmektedir. Bu yüzden, bu tip platformlar, hedeflerin kinematiklerini en iyi şekilde değerlendirecek tehdit değerlendirme yöntemlerine ihtiyaç duyarlar. Bu çalışmada, kinematik parametreleri temel alan bir tehdit değerlendirme yöntemi geliştirilmiştir.

3 Yöntem

Herhangi bir kimlik bilgisinin olmadığı bir ortamda tehditleri diğer unsurlardan ayırmak zorlayıcı bir işlemdir. Hedefin kinematikleri tek tek incelendiğinde; ancak sınırlı bir öngörü sahibi olabiliriz. Fakat bu kinematik bilgilerinden elde edilen veriler birleştirilerek öngörümüzü güçlendirmek mümkündür. Veri füzyonu operasyonu hedeflerin doğası gereği hava ve su üstü hedefleri için ayrı ayrı yapılmaktadır. Bunun sebebi hava ve su üstü hedeflerinin kinematiklerinin arasında büyük farklılıklar olmasıdır. Bir hava hedefi herhangi bir su üstü hedefine göre çok yüksek hızlara çıkabilmektedir. Hava hedefinin manevralarının karakteristiği de çok farklıdır. Platformu harekete geçiren itici güçlerin ve hareket ettikleri ortamların farkı, cisimlerin hızlarındaki ivmelenmelerinde de büyük farklılıklar ortaya çıkmasına sebep olur. Bu farklılıkları aynı potada eriterek tek bir tehdit listesi oluşturmak zorlu bir süreçtir ve farklı çalışma metodlarına ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışmada, öncelikle, hava ve su üstü hedeflerine ait iki adet ayrı tehdit listesi çıkarılmasına öncelik verilmiştir.

Şekil 1’de tehdit değerlendirme modeli özetlenmiştir. Elde olan veriler arasında cismin hava izi mi yoksa su üstü izi mi olduğu bilgisi mevcuttur. İlk aşama olan kategori seçimi safhasında, iz ait olduğu çevreye göre modelin ilgili akışına doğru yönlendirilir. Bu safhadan sonra hava ve su üstü izler için benzer adımlar takip edilir. İlk olarak izin kinematiklerinden ipuçları çıkarım işlemi yapılır. Bir sonraki aşamada bu ipuçları birleştirilerek ortak skor oluşturulur. Son aşama olan, tehdit seçimi aşamasında ise ortak skordan faydalanarak izin tehdit içeren bir davranış içinde olup olmadığına bakılır. Sonuç olarak onlarca izden oluşan derlenmiş bir taktik resimde, izler “tehdit” veya “tehdit değil” olarak işaretlenir. Operatör karar verme sürecine tehdit olarak seçilmiş hedeflere odaklanarak başlayabilir.

Kategori seçimi, ipuçları çıkarımı, ipuçları füzyonu ve Bayesçi tehdit seçimi olarak adlandırılan tehdit değerlendirme modelinin aşamaları aşağıda daha detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 1 Tehdit Değerlendirme Modeli

3.1 Kategori Seçimi

Tehdit değerlendirme modeline çevre bilgisine sahip bir iz giriş yapabilir. Bilinmeyen bir çevreye göre tehdit değerlendirme yapılmamaktadır. Tehdit değerlendirme modelinin başında iz ait olduğu akışa çevre bilgilerine bakılarak yönlendirilir. Çünkü model, izin çevre kategorisine göre özelleşmiştir. Bu aşama çok basitmiş gibi görünse de modelin geri kalan aşamasına etkisi büyüktür. Tehdit değerlendirme modelinin sonraki aşamalarında kullanılan parametreler ve bu parametrelerin denklemlerdeki ağırlığı aynı kinematiklere sahip iki hava ve su üstü izi bambaşka sonuçlarla modeli bitirirler.

3.2 İpuçları Seçimi

Çevredeki cisimlerin tehdit seviyelerini ölçerken doğru tehdit değerlendirme ipuçlarını kullanmak önem arz etmektedir. Tehdit değerlendirme modellerinde kullanılmak üzere pek çok tehdit değerlendirme ipuçları önerilmektedir. Bu makalede, kinematik kaynaklı tehdit ipuçlarına odaklanılacaktır.

Tablo 1’ de tehdit değerlendirme ipuçları çevre kategorisine göre listelenmiştir. Temelde, şüpheli cismin ve kendi platformumuzun pozisyonları, hızları ve gittikleri yön kullanılarak bu ipuçları çıkarılmaktadır. İpuçlarının skorlarını hesaplama yöntemi aynıdır. Çevre bilgisine göre, skorların katkısı katsayılar kullanılarak değiştirilir. Hız, yavaşlama, mesafe, gidilen yön, manevra ve en yakın yaklaşma noktası olarak adlandırılan ipuçlarının detayları aşağıda açıklanmıştır.

Tablo 1. Çevre Kategorisine Göre Tehdit Değerlendirme İpuçları

İpucu	Hava	Su Üstü
Hız	+	+
Yavaşlama	-	+
Mesafe	+	+
Rota	+	+
Manevra	+	-
En Yakın yaklaşma Noktası	+	+

- 1) **Hız:** Hız parametresi izin hangi sınıfa ait olduğunu belirlemek için önemli bir potansiyele sahiptir. Tek motorlu bir uçağın savaş uçaklarının ulaştığı hızlar ulaşması mümkün değildir. Benzer şekilde; sıradan bir balıkçı botunun, hücum botlarının hızlarına çıkması olanak dışıdır. Fakat hız parametresi açısından bakıldığında, donanmaya ait bir bot denizin ortasında durarak sınıfını gizleyebilir. Hız parametresini direk kullanarak cismin sınıfı hakkında kesin bir yargıya varmak mümkün görünmemektedir. Bu durum hız parametresinden yararlanmayacağımız anlamına gelmez. Hız parametresinin skoru aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$h_i = \frac{h_g}{h_{maks}} \quad (1)$$

Güncel hız değeri, cismin kategorisine göre varsayılan maksimumu hız değerine bölünür ve belirli bir skor elde edilir.

- 2) **Yavaşlama:** Hız değişimi hava nesnelerinde önemli bir tehdit göstergesi olarak görülmemektedir. Ancak seyir rotasında devam eden bir deniz platformunun bilinmez bir nedenle yavaşlamaya başlaması anormal bir durum olarak algılanır [2]. Normal rotasında devam eden yabancı bir cisim savunduğunuz platformun çevresinde sebepsiz yere yavaşlıyorsa, bunun sebebi savunduğunuz platformu elektro optik kameralar yardımıyla daha iyi gözlemlemek olabilir. Bu tür davranışlar savunduğunuz platform açısından tehlike arz etmektedir. Yavaşlamayı sayısal olarak skora çevirmek, öncelikle yabancı cismin güncel hızı bir önceki tekrarlama elde edilen hızından çıkarılır. Daha sonra elde edilen bu değer varsayılan maksimumu yavaşlama değerine bölünür. Özetlemek gerekirse, yavaşlamanın derecesi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$y_i = \frac{h_{i-1}-h_i}{h_{maks}} , \begin{cases} y_i > 0 , \text{ then } w_a y_i \\ y_i < 0 , \text{ then } |y_i| \end{cases} \text{ where } w_a < 1 \quad (2)$$

- 3) **Mesafe:** Derlenmiş taktik ekranda kendi gemimizin ve diğer cisimlerin pozisyonları mevcuttur. Bu enlem-boylam bilgilerini kullanarak iki nesne arasındaki dünya üzerinde uzaklığı bulmak mümkündür. Sınırlı yetenekler sahip olan deniz platformları çevredeki nesnelerin yükseklik bilgisini sağlayamaz. Bu sebeple hava nesnelerinin de yükseklik bilgisinden yoksun olarak iki boyuttaki uzaklıklarını bulabiliriz. Yine de, hava nesneleri için mesafe bilgisi vazgeçilemez bir ipucudur ve kullanılmaya devam etmektedir. Yalnız yükseklik bilgisinin eksikliği mesafenin hava ipuçlarındaki önem sırasının arkalara düşmesinde bir etken olarak görülmektedir.

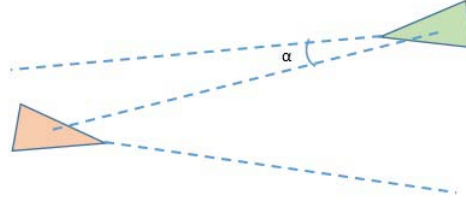
Normal olarak, yakın nesnelere kendi platformumuz için daha tehlikeli bir konumda yer almaktadırlar. Buna göre mesafe ipucu aşağıdaki gibi tehdit değerlendirme modeline katkı sağlar.

$$m_i = 1 - \frac{m_g}{m_{maks}} \quad (3)$$

Formül (3)'te m_g diğer cismin kendi gemimize olan güncel mesafesini, m_{maks} ise diğer cisim ile kendi gemimize arasında ölçülebilecek maksimum uzaklığı temsil eder. Bu değer kendi geminin üzerindeki radar sisteminin menzili dikkate alınarak belirlenir. Cismin uzaklığı azalırken, mesafe ipucunun alacağı skoru artırmak için $\frac{m_g}{m_{maks}}$ teriminin değeri 1 sayısından çıkarılmıştır. Böylece mesafe ile skor arasında ters orantı sağlanmıştır.

- 4) **Rota:** Çevresindeki nesnelere burunlarını kendi platformumuza döndürdükçe daha çok tehlike arz etmektedirler. Örneğin, cisim ile kendi platformumuz arasına bir çizgi çekildiğinde, bu çizgi ile cismin gittiği yön arasındaki açı farkı

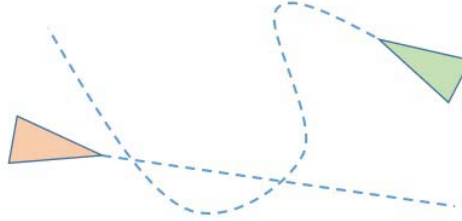
azaldıkça, cisim de burnunu kendi platformumuza döndürmüş demektir. Bu açı farkını α ile sembolize edersek, aşağıdaki hesaplamaya göre bir skor elde edebiliriz.



Şekil 2 Rota Açısı

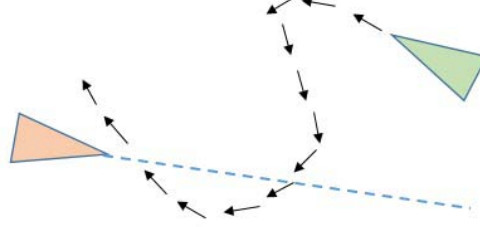
$$r_i = 1 - \frac{\alpha}{\pi} \quad (4)$$

- 5) **Manevra:** Hava platformları keskin manevralar yapabilme kabiliyetine sahiptir. Ancak, belirli bir rotayı izleyen cisimlerin sıkça manevra yapması gerekmez. Bu sebeple, kendi platformumuz etrafında yapılan manevralar anormal bir davranış olarak algılanır ve tehlike arz eder.



Şekil 3 Anormal Davranış Sergileyen Hava Hedefi

Şekil 3'te rotasında seyreden dost unsur üzerinde gezinen bir hava cismi resmedilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere belirli bir rotada ilerleyen hava hedefi yukarıdaki manevraları yapmaz. Manevralar yabancı cismin kat ettiği yolu uzatacağı için bu durum cismin dost unsur civarında geçirdiği süreyi de artıracaktır. Böyle bir davranış, dost unsurunu elektro optik kameralar yardımıyla daha yakından incelemek için yapılıyor olabilir. Bu sebepten dolayı yabancı cisimlerin yaptıkları anormal manevralar kendi gemimiz için tehdit olarak algılanmaktadır.



Şekil 4 Manevra Skorunun Çıkarılması

Şekil 4'te yabancı cismin havada yaptığı hareketler süresince ortaya çıkan anlık rotaları gösterilmektedir. Her tekrarlama, hava hedefinin rotası belirli açılarda değişmiştir. Bu değişimlerden faydalanarak hava cisminin manevralarını sayısallaştırmaya çalışıyoruz.

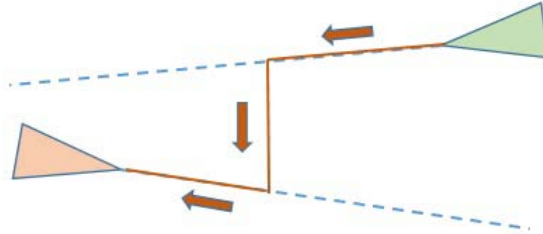
Bu çalışmada, manevra değeri güncel rotanın bir önceki ölçülen rotadan çıkarılması ile bulunur. Bu değerin mutlak değeri bulunarak Daha sonra bulunan değer ipucu skoruna çevrilir.

Aşağıdaki formülde manevra skorunun nasıl bulunduğu özetlenmiştir:

$$v_i = \left| \frac{r_i - r_{i-1}}{\pi} \right| \quad (5)$$

Formül (5)' te r sembolü yabancı cismin gerçek kuzeye göre rotasını temsil etmektedir. π ise yabancı cismin iki kayıt arasında başarabileceği maksimum rota değişimidir.

- 6) **En Yakın Yaklaşma Noktası:** Şüpheli cisim hızını koruyarak en yakın yaklaşma noktalarından geçerek kendi platformumuzun bulunduğu noktaya gider [10]. Kat ettiği toplam mesafe en yakın yaklaşma noktası ipucu olarak adlandırılır. Daha detaylı açıklayacak olursak, cisim önce kendi en yakın yaklaşma noktasına yönelir. O pozisyona ulaştığı zaman, burnunu kendi platformumuza en yakın yaklaşma noktasına çevirdiği varsayımı yapılır. O noktaya da ulaştıktan sonra, direkt kendi platformumuza doğru yol aldığı varsayılır. Bütün bu hareketler yapılırken, kendi platformumuzun hızı dikkate alınmaz ve mevcut yerinde durduğu düşünülür.



Şekil 5 En Yakın Yaklaşma Noktası Hesaplanırken İzlenen Rota

Şekil 5’de oklar ile gösterilen rota şüpheli nesnenin çarpışmaya en yakın noktalardan geçerek kendi gemimize ulaştığı rotadır. Rota üç ayaktan oluşmaktadır. Birinci ayak, şüpheli nesnenin güncel pozisyonu ile şüpheli nesnenin kendi gemimize ile olan çarpışmaya en yakın nokta arasındaki mesafedir. İkinci ayak, her iki nesnenin çarpışmaya en yakın noktaları arasındaki mesafedir. Üçüncü ayak, kendi gemimizin şüpheli nesne ile olan çarpışmaya en yakın mesafesi ile gemimizin güncel pozisyonu arasındaki mesafedir.

Üç ayağın toplam mesafesi ve varsayılan maksimum mesafe kullanılarak bu ipucundan toplam skora katkı yapacak değer hesaplanır.

$$z_i = 1 - \frac{EYYN_i}{EYYN_{maks}} \quad (6)$$

Hava ve su üstü hedeflerde ayrı ağırlıklarla kullanılmak üzere ipuçları skorları yukarıdaki bölümlerde tarif edildiği gibi çıkarılmaktadır.

3.3 İpuçları Füzyonu

Tehdit değerlendirme modelinde ipuçları hız, yavaşlama, mesafe, rota, manevra ve çarpışmaya kalan ipuçlarından elde edilen skorlar, bu adımda birleştirilerek normalize edilmiş tek bir skor haline getirilir. Bu işlem yürütülürken, nesnenin çevresine göre birleştirme işlemi farklılaşır. Birleşme işleminde, hava hedefleri ve su üstü cisimler için farklı bir ipucu listeleri kullanılır.

Tablo 1’de çevreye göre farklılaşan listeye göz atılabilir. Bu tablodan da görüleceği üzere, pek çok ipucu her iki kategoride de kullanılmaktadır. Ama kullanılan ipuçları her iki kategori de benzer ağırlıkta kullanılmazlar. Hedefin çevre bilgisi ipuçlarının önem sırası değiştirmektedir.

Tablo 2. Önem Sırasına ve Kategoriyeye Göre İpuçları

	Hava İzi	Su Üstü İzi
1	En Yakın Yaklaşma Noktası	Mesafe
2	Hız	Rota
3	Manevra	Yavaşlama
4	Rota	Hız
5	Mesafe	En Yakın Yaklaşma Noktası

Tablo 2’de ipuçlarının önem sırası belirlenirken ABD donanması ile yapılan çalışmalar kaynak alınmıştır [2, 3]. Görüldüğü üzere ipuçlarının birleştirme üzerindeki etkisi kategori değiştiği zaman farklılaşmaktadır. Hava izleri için en yakın yaklaşma noktası ipucu en baskın ipucu olarak öne çıkarken, aynı ipucu su üstü izlerinde en az etkin ipucu olarak görülüyor. Benzer şekilde, su üstü izleri için mesafe ipucundan

elde edilen skorun birleştirilmiş skor içindeki ağırlığı çok fazlayken, hava izlerinde bu durumun tam tersi geçerlilik kazanıyor.

İpuçları birleştirilirken kategoriye bakılıp, önem sıralarına göre ağırlandırılarak normalize edilmiş bir skor elde edilir. Aşağıdaki formüller hava izi için uygulanan birleştirme prosedürünü anlatmaktadır.

$$w_1 + w_2 + w_3 + w_4 + w_5 = 1 \quad (6)$$

$$1 > w_1 > w_2 > w_3 > w_4 > w_5 > 0 \quad (7)$$

$$S_i = w_1 n_i + w_2 h_i + w_3 v_i + w_4 r_i + w_5 m_i \quad (8)$$

Benzer şekilde farklı ipuçlarını öne çıkararak su üstü izleri için uygulanan birleştirme yöntemi aşağıda gösterilmiştir.

$$S_i = w_1 m_i + w_2 r_i + w_3 y_i + w_4 h_i + w_5 n_i \quad (9)$$

3.4 Bayesçi Çıkarıma Dayanan Tehdit Seçimi

Onlarca yabancı nesneye tehdit değerlendirme puanı atansa da bu kadar nesneyi gözlemlemek komuta kontrol operatörü için zor bir işlemdir. Genellikle beklenen işlem, operatörün listeyi baştan aşağı inceleyip nesnelere kimliklendirmesidir. Listenin herhangi bir noktasında önemli hedefleri önemsizlerden ayıran bir sınır yoktur. Operatörün inisiyatifi ve tecrübesi bu noktada önemli bir rol oynar.

Komuta kontrol operatörünün zamanını en etkin şekilde kullanması çok kritiktir. Önemsiz bir nesne ile meşgul olurken, önem arz edebilecek başka bir nesneye zaman ayırmaması savaş yönetim sistemi için bir dezavantajdır. Bayesçi Çıkarım yaklaşımı ile dikkate değer olan nesnelere diğer nesnelere ayırılması sağlanabilir.

Bayesçi Çıkarım'da, bir hipotez öne sürülür ve hipotez bulgular değerlendirilerek kanıtlanmaya çalışılır. Değerlendirme sonucunda hipotez yanlış veya doğru çıkabilir. Tehdit değerlendirme modelinde, iz bir tehdit midir, sorusu tehdit seçim aşamasındaki hipotezdir. Tehdit değerlendirme ipuçları ise Bayesçi Çıkarım'daki bulguların yerine geçer. Hipotezin sonucu doğru çıkarsa iz potansiyel bir hedef olarak işaretlenecektir. Bayesçi Çıkarım tehdit değerlendirme problemine uyarlandığında aşağıdaki gibi formüle edilmektedir.

$$P(T_i | C) = \frac{P(C | T_{i-1}) \cdot P(T_{i-1})}{P(C)} \quad (12)$$

Yukarıdaki Bayesçi Çıkarım formülünde geçen terimlerin daha detaylı açıklamaları aşağıda verilmiştir:

T : Tehdit seçimi hipotezini sembolize eder. Bu hipotez, değerlendirilen iz bir tehdit midir, sorusuna karşılık gelmektedir.

C : Hipotezin kanıtlarını sembolize etmektedir. Tehdit seçimi hipotezi için ipuçları skorları kanıt olarak görülmektedir. Bu sebeple tehdit seçimi probleminde ipuçlarını sembolize ettiği söylenebilir.

$P(T_{i-1})$: Önceki olasılık olarak adlandırılır.

$P(T_i | C)$: Hipotezin bulgular gözlemlendikten sonra vardığı olasılığı ifade eder.

$\frac{P(C | T_{i-1})}{P(C)}$: Bu terim ipuçlarının füzyonunun önceki olasılık değerine olan etki olarak tanımlanmıştır.

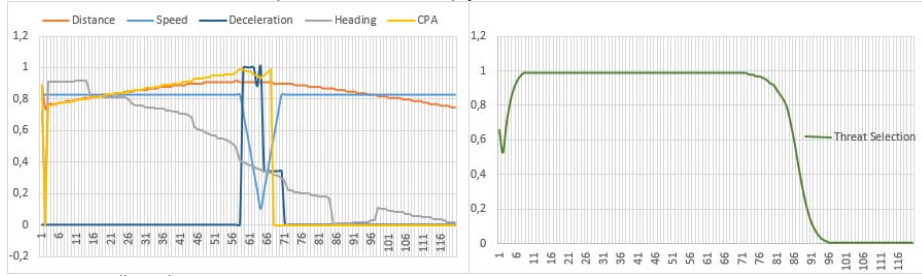
Bayeşçi Çıkarımda, bulguların önceki olasılık ($P(T_{i-1})$) üzerindeki etkisine bakılır. Bu etkinin ardından sonraki olasılığın ($P(T_i | C)$) oluştuğu görülür. Bu olasılık belli bir eşiğin üzerindeyse hipotezin doğru olduğu kabul edilir. Yani, tehdit seçimi adımı izi tehdit olarak işaretler ve operatöre sergiler.

Bütün ipuçları birleştirilerek elde edilen skor, önceki olasılığın üzerindeki etki olarak adlandırılabilir.

4 Değerlendirme

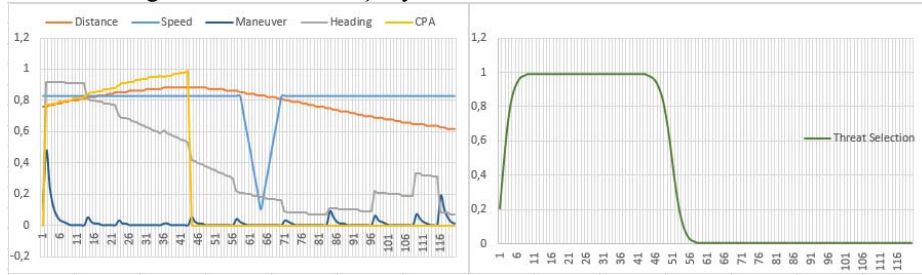
Gerçeklenen tehdit değerlendirme modelinin performansı su üstü ve hava izlerini simüle eden senaryolar ile ölçülmüştür. Bu senaryolar kurumumuzda geliştirilen bir simülasyon aracından faydalanılarak oluşturulmuştur. Simülasyon aracı kendi gemimizin ve yabancı cisimleri istenilen yolları takip edecek şekilde simüle edebiliyor.

Şekil 6 ve Şekil 7’de benzer rotalar izleyen ve kategorileri farklı olan iki adet izin kinematiklerine tehdit değerlendirme modelinin ürettiği cevabı görmekteyiz. Bu senaryolarda hedefler öncelikle burunlarını kendi gemimize çeviriyor, gemiye yaklaştıktan sonra burnunu uzaklara çevirerek uzaklaşıyor.



Şekil 6 Su Üstü İze Ait Sentetik Senaryo

Şekil 6’da su üstü izi tekrarlamaların çoğunda tehdit olarak algılanıyor. Senaryonun sonunda doğru tehdit olmaktan çıkıyor.



Şekil 7 Hava İzine Ait Sentetik Senaryo

Şekil 7’de hava izi tekrarlamaların yaklaşık olarak yarısına kadar tehdit olarak algılanıyor. Sonrasında ise tehdit sınıfından çıkıyor.

Sonuç olarak, benzer rotalardan elde edilen farklı tehdit seçimi sonuçları kategorinin ne kadar etkileyen bir unsur olduğunu gösteriyor.

5 Sonuç

Tehdit değerlendirme problemi ve deniz platformlarındaki kullanımı kritik karar verme süreçlerinde önemli bir rol oynar. Mevcut, tehdit değerlendirme algoritmalarının çevredeki unsurların karakteristik bilgilerinden mahrum deniz platformlarında direk kullanılamamaktadır. Bu makalede unsurların kinematik bilgilerine odaklanarak geliştirilen Bayesci bir tehdit değerlendirme modeli anlatılmıştır.

Model, kategori seçimi adımı ile başlamaktadır. Unsurun çevresinin hava veya su üstü oluşu uygulanan prosedürün parametrelerini değiştirmektedir. Başlangıçta bu ayrım yapıldıktan sonra geri kalan aşamalar benzerlik göstermektedir. İkinci aşamada unsurun kinematik bilgilerinden faydalanarak tehdit değerlendirme ipuçları çıkarılmaktadır. İpuçlarından modele katkı sağlayacak skorlar bahsi geçen hesaplama işlemlerinden sonra elde edilir. Bundan sonra, çıkarılan skorlar ortaklanır ve tehdit seçimi adımı Bayesçi Çıkarımı temel alarak unsurun tehdit olup olmadığı sorusuna cevap arar. Bu cevap aranırken ipuçlarından çıkarılan skorlardan faydalanılır. Son olarak, unsurların her birine tehdit değerlendirme puanı atanarak, izler tehdit seviyelerine göre sıralanır.

Yapılan değerlendirmelerde sentetik senaryolar kullanılarak kategori farkının tehdit seçimi sonucunu ne kadar etkileyebildiği görülmüştür. Farklı ipuçlarının farklı ağırlıklarda kullanmak benzer rota izleyen hava ve su üstü izlerindeki tehdit seçimini gözle görülür seviyede değiştirmiştir.

Sınırlı yeteneklere sahip deniz platformlarının savaş yönetim sistemleri için bu tehdit değerlendirme modelinin kullanımı büyük fayda sağlayacaktır. Operatör çevresinde dolaşan onlarca yabancı cisimden hangilerine odaklanması gerektiğini bilecektir. Yöntem bütün karar verme sürecini otomatikleştirme iddiasında değildir. Amaç, operatöre tehdit belirleme aşamasında yardımcı olarak karar verme aşamalarında geçen süreyi kısaltmaktır. Dolayısıyla, bu çalışmayla ilgili platformlardaki komuta ve kontrol operatörlerine karar destek aşamasında yardımcı olmak hedeflenmiştir.

Açıklama

Bu makalede yer alan tüm çalışmalar ASELSAN A.Ş. çatısı altında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar bu çalışmanın gerçekleşmesindeki katkılarından dolayı ASELSAN A.Ş.'ye teşekkür eder.

Kaynakça

1. Çöçelli, M. and E. Arkın. *A threat evaluation model for small-scale naval platforms with limited capability*. in *Computational Intelligence (SSCI), 2016 IEEE Symposium Series on*. 2016. IEEE.
2. Liebhaber, M.J. and B. Feher, *Surface warfare threat assessment: Requirements definition*. 2002, DTIC Document.

3. Liebhaber, M.J., D. Kobus, and B. Feher, *Studies of US Navy air defense threat assessment: Cues, information order, and impact of conflicting data*. Studies, 2002.
4. Boyd, J.R., *The essence of winning and losing*. Unpublished lecture notes, 1996.
5. Irandoust, H., et al. *A mixed-initiative advisory system for threat evaluation*. in *Proceedings of the 15th International Command and Control Research and Technology Symposium: The Evolution of C*. 2010.
6. Park, S.C., et al., *Simulation framework for small scale engagement*. Computers & Industrial Engineering, 2010. **59**(3): p. 463-472.
7. Mury, B.N., Bao, *A Recursive Engagement Simulation Tree (REST) For Use in Maritime Defence*. 2007, Defence R&D Canada – Atlantic.
8. Bolderheij, F. and P. Van Genderen. *Mission driven sensor management*. in *Proceedings of the 7th International Conference on Information Fusion*. 2004.
9. Paradis, S., et al. *Threat evaluation and weapons allocation in network-centric warfare*. in *Information Fusion, 2005 8th International Conference on*. 2005. IEEE.
10. Johansson, F. and G. Falkman. *A Bayesian network approach to threat evaluation with application to an air defense scenario*. in *Information Fusion, 2008 11th International Conference on*. 2008. IEEE.
11. Liebhaber, M.J. and B. Feher, *Air threat assessment: Research, model, and display guidelines*. 2002, DTIC Document.
12. Liebhaber, M.J. and C. Smith, *Naval air defense threat assessment: Cognitive factors and model*. 2000, DTIC Document.