


## Uçan nesnelere otomatik tespit ve takibi için yeni bir yaklaşım

### A novel approach for automatic detection and tracking of flying objects

Ahmet Güngör PAKFİLİZ<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Başkent Üniversitesi, Ankara, Türkiye.  
apakfiliz@baskent.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 31.07.2018, Kabul Tarihi/Accepted: 15.01.2019

\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2019.29660

Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Bu çalışmada yerden havaya takip görevlerinde kullanılan video sistemlerinin uçan nesnelere otomatik olarak tespit ve takip etmesi için yeni bir metod sunulmaktadır. Bu yaklaşımda uçan bir nesnenin varlığının tespiti için Standart Sapma bilgisinin kullanıldığı bir metod geliştirilmiştir. Tespit sonrası takip için ölçüm verisi takibe uygun hale getirilir, bu amaçla uçan nesnenin arka fona göre daha baskın hale gelmesi sağlanır. Hedefin takibi için gerçek zamanlı performans verebilen genlik bilgisi ilave edilmiş Etkileşimli Çoklu Model Olasılıksal Veri İlişkilendirme (EÇMOVI-GB) algoritması kullanılmıştır. EÇMOVI-GB algoritması temelde nokta verisi takibinde kullanılan bir algoritma olmakla birlikte bu çalışmada video takibinde kullanılabilirliği gösterilmiştir. Bu amaçla örneklenen video çerçevelerinin genlik bilgileri uygun olarak kodlanarak nokta verisi haline getirilir ve takip bu veri üzerinden gerçekleştirilir. Böylece hedefin otomatik olarak tespit edildiği, takibin başlatıldığı ve sürdürüldüğü bir algoritma geliştirilmiştir. Algoritma değişik manevra, hedef tipleri ve arka fon gürültü durumları için incelenerek, başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Otomatik hedef tespiti, Video takip, Etkileşimli çoklu model, Olasılıksal veri ilişkilendirme

#### Abstract

In this study, a new method is presented to automatically detect and track flying objects through video systems that are used for surface to air tracking tasks. In this approach, a method has been developed in which Standard Deviation is used to determine the presence of a flying object. The measurement data is adapted to track, so that the flying object becomes more dominant than the background. In order to track the detected target in real time, Interacting Multiple Model Probabilistic Data Association with Amplitude Information (IMMPDA-AI) algorithm is used. Although the IMMPDA-AI algorithm is mainly a point tracking algorithm, in this study, its applicability to video tracking is shown. For this purpose, the amplitude information of the sampled video frames is encoded as point data and the tracking is performed on this data. Thus, an algorithm has been developed in which the target is automatically detected, track initiated and continued. The algorithm is evaluated for different maneuvers, target types and clutter situations, and successful results are obtained.

**Keywords:** Automatic target detection, Video tracking, Interacting multiple model, Probabilistic data association

## 1 Giriş

Yerden havaya video takip sistemlerinde uçan bir nesneyi tespit edip takibe başlanması için bir karar verme sürecine veya bir operatör desteğine ihtiyaç vardır. Hedefin tespiti, takibin başlatılması ve sürdürülmesinin otomatik olarak yapılması için karar verme sürecine uygun bir ortamın hazırlanması ve doğru kararların ard arda verilerek bunların sürdürülmesine gerek duyulur. Yerden havaya gerçekleştirilen otomatik takipte, özellikle hava aracının görünürlüğüne azaltılacak şekilde tasarlanmış olması yoğun bulutlu ortamlarda hedefi arka fonda ayırmasını zorlaştırır. Hareket eden nesnelere otomatik olarak tespiti üzerine pek çok çalışma vardır [1]-[3]. Hedef tespiti için genellikle kullanılan görüntü işleme metodları; arka plan çıkarılması, optik akış ve çerçeve farkı olarak sayılabilir. Diğer iki metotla karşılaştırıldığında arka plan çıkarma algoritması daha az hesaplama gerektirir ve daha iyi performans gösterir, ayrıca daha esnek ve efektiftir [4],[5]. Arka plan çıkarma metodu temelini mevcut görüntünün bir referans arka plan modeliyle karşılaştırarak hareketli nesnenin ayrıştırılmasından alır. Arka plan çıkarma metodunun en önemli dezavantajlarından birisi arka planda ağaçlar, bitkiler ve bulut gibi doğal olarak hareketli nesnelere olmasındır. Bu tip nesnelere arka fonda geçici veya kalıcı değişimlere sebebiyet verir ve arka planın sıklıkla güncellenmesi gerekebilir. Bir diğer dezavantajı ise metodun ışık şiddeti değişimlerinden etkilenmesidir. Her iki etkinin de azaltılması için arka fonu adaptif olarak ayarlan çalışmaları yapılmaktadır [6],[7].

Optik akış yöntemi, görüntünün optik akış alanını hesaplar ve görüntüyü optik akış dağılımı özelliklerine göre yeniden yapılandırır. Bu yöntem ile hareketli nesnelere tespiti gerçekleştirilir ve hareketli nesne arka plandan ayrıştırılabilir [8],[9]. Optik akış yöntemi karmaşık bir algoritmadır ve özgün yapısı ile gerçek zamanlı işlemler için uygun değildir. Ancak son zamanlarda gerçekleştirilen çalışmalar ile optik akışın gerçek zamanlı olarak veya gerçek zamanlıya yakın çalışabilmesi için değişik varyasyonları geliştirilmiştir [10]-[12]. Çerçeve farkı yönteminde hareketli nesnelere varlığı, iki ardışık video çerçevesi arasındaki farkın hesaplanmasıyla belirlenir [13],[14]. Hesaplaması basit ve uygulanması kolaydır. Değişik dinamik aralığa sahip ortamlar için güçlü bir adaptasyona sahiptir, ancak elde edilen sonuçlar diğer yöntemlerden elde edilen sonuçlar kadar yüksek doğrulukta değildir. Bunun nedeni, arka plan parlaklığındaki değişimler algoritmanın yanlış hesaplama yapmasına neden olmasındır. Doğruluk seviyesinin artırılması için yapılan çalışmalar sonucunda gerçek zamanlı ve yüksek doğrulukla sonuçlar elde edilmiştir [15],[16].

Bu çalışmada ölçüm verisini tespite ve takibe uygun hale getirmek için 3 adımlık bir metod kullanılmıştır [17]. İlk adımda piksel şiddetlerinin tersi alınarak hedeften kaynaklanan piksel şiddetlerinin arka fona göre kuvvetlenmesi sağlanır. Bu uçan nesnelere için doğal bir sonuçtur, zira gün ışığında gökyüzü arka fonu uçan nesnelere daha parlaktır. Ancak bulutların yoğun olduğu durumlarda ışığın gölgelemesi ve koyu alanların oluşması ile karşılaşmaktadır. Arka fonda bulutlardan

kaynaklanan ışık kırılmaları ve gölgelenmeler sebebiyle piksel şiddetlerinin tersinin alınması sonucunda parazit yankılar ortaya çıkmaktadır. Hedefin belirginleştirilmesi ve parazit yankıların bir kısmının zayıflatılması veya yok edilmesi için ikinci adımda kenar tespiti için Sobel operatörü [18],[19] kullanılır. Son adımda ise parazit yankıdan kaynaklanan etkilerin azaltılması için bir eşik seviyesi belirlenerek, bu seviyenin altında kalan pikseller hesaplamının dışında bırakılır. Yoğunlukları eşik seviyesinin üzerinde kalan piksellerin bir kısmı hedeften, diğer kısmı ise arka fondaki ışık kırılmaları ve gölgelenmelerden kaynaklanmaktadır. Sonuçta elde edilen ölçüm verisinde hedeften kaynaklanan piksel şiddetleri, arka plandan kaynaklanan piksel şiddetlerinden daha yükündür. Bu metod "Evirme-Sobel-Eşik Seviyesi" olarak isimlendirilir ve kısaltması ESE olarak alınmıştır.

Video verilerinin ESE verisine çevrilmesinden sonra video çerçevesinde uçan bir nesne olup olmadığının otomatik olarak belirlenebilmesi için yeni bir metod kullanılmıştır. Bu amaçla görüntünün istatistiksel özelliklerinden olan ve ortalama kontrastın bir ölçüsü şeklinde tanımlanan standart sapma [18] değeri kullanılmıştır. Bu kapsamda video çerçevesi daha küçük alt çerçevelere bölünmüş ve her bir çerçevenin standart sapması bulunmuştur. Gruplandırılmış bölgelerden herhangi birindeki standart sapma değeri arka arkaya 2 video karesinde belirli bir eşik değerinin üzerine çıktığında bu bölgede uçan bir nesne olduğu kararı verilerek takip başlatılmaktadır.

Takip fonksiyonunu gerçekleştirmek için EÇM ve OVİ algoritmalarının bir bileşimi olan EÇM-OVİ (IMM-PDA) algoritması kullanılmıştır [20]-[22]. EÇM-OVİ algoritması nokta takibi için kullanılan bir algoritmadır, bu sebeple doğrudan video karelerine uygulanmamıştır. Öncelikle örneklenen video kareleri bir ara işleme tabi tutulmuştur. Bu amaçla ESE uygulanmış çerçeve çözünürlüğü bozmayacak, işlem hacmini azaltacak şekilde küçük ve birbirine eş bölgelere ayrılır ve bu bölgelerdeki piksel şiddetlerinin ortalaması alınır. Eğer bu ortalama değer belirli bir değer üstünde ise ölçüm olarak değerlendirilir ve ait olduğu bölgenin merkezindeki pikselde konuşlandırılır. Böylece video karesinde genlik bilgisine sahip nokta ölçüm haline getirilir. Elde edilen ölçüm verisi genlik bilgisi (GB) ilave edilmiş EÇM-OVİ algoritmasının (EÇMOVİ-GB) kullanılmasıyla takip işlemi gerçekleştirilir.

Arka fonda bulutların olması bazı uygulamalarda göz ardı edilmeyecek seviyede parazit yankı ortaya çıkmasına sebep olur ve bunların hedeften kaynaklanan noktalardan ayrıştırılmasında genlik verisinin kullanılması önemli bir avantaj sağlar. Bu çalışmada tek bir uçan nesnenin tespiti ve takibi hedeflenmiş ve denemeler bu yönde gerçekleştirilmiştir.

## 2 Hedef tespiti ve takip başlatılması

### 2.1 ESE metodu

Hedef tespiti gerçekleştirilmesi için ilk adımında ESE metodu kullanılır, bu amaçla ilk olarak renkli (RGB) video karesi aşağıdaki eşitlik kullanılarak [18] gri skalalı (genlik kodlu) resme dönüştürülür,

$$I(m, n) = 0.299R(m, n) + 0.587G(m, n) + 0.114B(m, n) \quad (1)$$

Burada,  $R(m, n)$ ,  $G(m, n)$  ve  $B(m, n)$  her bir pikseldeki kırmızı, yeşil ve mavi renk bantlarının değerleridir. Tersini alma veya evirme bu işlem sonunda elde edilen gri skalalı resme uygulanır ve her bir pikseldeki genlik değerinin tersi alınır,

$$I_R(m, n) = 255 \times \frac{1}{I(m, n)} \quad (2)$$

elde edilen görüntü, Evrilmiş Piksel Genlik Ölçüm (EPGÖ) görüntüsü olarak isimlendirilir [17]. Sürecin bu aşamasında parazit yankı etkilerini azaltmak ve hedef belirleme olasılığını artırmak için klasik Sobel kenar tespit operatörü [18],[23] uygulanır. Sobel operatörü ayrı bir diferansiyel operatördür ve görüntü yoğunluk fonksiyonu gradyanının yaklaşık değerini hesaplar. Görüntünün her noktasına Sobel operatörünün uygulanması sonucu, görüntüye karşılık gelen gradyan vektör ya da bu vektörün normu elde edilir. Sobel operatörü iki boyutlu  $f(x, y)$  fonksiyonunun  $3 \times 3$  boyutundaki bir piksel grubunun merkezinden  $x, y$  yönlerine doğru gerçekleştirilen kısmi türev işlemidir. Gürültünün bastırılması için merkez noktadaki ağırlık artırılır, bu amaçla kullanılan Sobel konvolüsyon operatörleri (3)'te verilmiştir,

$$T_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} T_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Sobel operatörü, denklem (2)'de verilen EPGÖ işleminin çıktısında elde edilen  $I_R(m, n)$  görüntüsünün kenar kısımlarını belirlemek için kullanılmıştır. Bu durumda yatay operatör  $T_x$  ve dikey operatör  $T_y$  sınır koşulları dikkate alınmadan görüntüyle konvolüsyonu için kullanılır. Bu işlemin sonucunda  $M_1$  ve  $M_2$  şeklinde tanımlanan aynı boyuttaki iki gradyan matrisi orijinal görüntü olarak elde edilebilir. Daha sonra toplam gradyan değeri  $g(x, y)$ , iki gradyan matrisinin toplanması ile bulunur. Toplam gradyan değerini kullanarak Sobel operatörünün kenarları görüntü tabanından daha yüksek yoğunluklu değerlerle dönüştürür. Görüntünün gradyanın maksimum olduğu veya yoğunluk seviyesinin değiştiği yerlerde bir kenar olduğu sonucuna varılır. Hedefe ait kenarlardan ziyade parazit yankıdan kaynaklandığı değerlendirilen piksel genliklerini hesaplama dışında bırakmak için bir eşik değeri kullanılır.

Sonuçta; evrilmiş, Sobel operatörü uygulanmış ve eşik seviyesi kullanılarak istenmeyen piksellerin sürecin dışına atıldığı ESE verisi elde edilmiştir. Bir örnek olarak hiçbir işlem görmemiş RGB video karesi ve bunun ESE uygulanmış verinin gri skaladaki görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: RGB video karesi (solda) ve ESE uygulanmış gri skala görüntüsü (sağda).

### 2.2 Ölçüm verisinin nokta ölçüme çevrilmesi

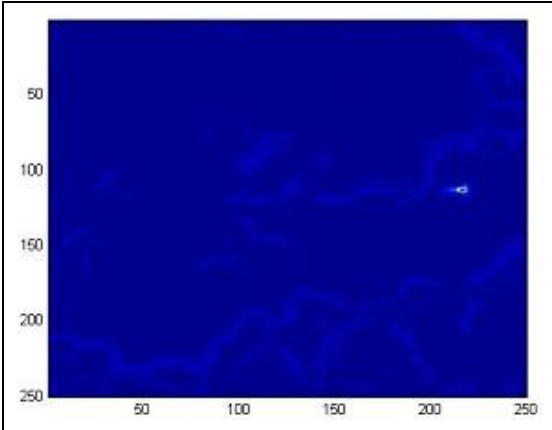
ESE metodu kullanılarak elde edilen video kareleri halen genlik modüleli görüntü şeklindedir. Oysa kullanılacak olan takip algoritması nokta ölçüm verisi kullanılmaktadır. Bu sebeple ESE ölçümlerini nokta ölçüm haline getirmek için bir ara işlem uygulanır. Yapılan deneysel çalışmalarda tespit ve takip işlemi  $250 \times 250$  piksellik bir video çerçevesi veya sensör alanı (SA)'nda gerçekleştirilmiştir. Öncelikle sensör alanındaki tüm

piksellerin genliklerinin ortalama değeri  $E\{SA\}$  bulunur ve ortalama değerin %10 fazlası eşik değeri  $AI_e$  olarak seçilir. Daha sonra video çerçevesi 5x5 piksellik alanlara bölünür ve her bir alanın ortalama genlik değeri ( $E\{PA\}$ ) bulunur (4).

$$E\{SA\} = \sum_{SA} I(x, y) E\{PA\} = \frac{\sum_{5 \times 5} I(x, y)}{5 \times 5} \quad (4)$$
$$AI_e = 1.1 \times E\{SA\}$$

Her bir alanın ortalama genlik değeri eşik değeri ile karşılaştırılarak, eşik seviyesine eşit veya daha büyük değer alması durumunda ( $E\{PA\} \geq AI_e$ ) anılan alanda bir ölçüm olduğu kararı verilir ve alanın merkezinde bir ölçüm noktası oluşturulur. Oluşturulan ölçüm noktasının genlik değeri olarak ait olduğu alanın ortalama genlik değeri alınır. Böylece görüntü verisi genlik bilgisi içeren nokta ölçüm haline gelmiş olur.

Bu işlem gerçekleştirilirken piksel alanının boyutu işlem hacmini arttırmayacak kadar büyük, diğer yandan çözünürlüğü azaltmayacak şekilde küçük olacak şekilde bir seçim yapılmalıdır. Bu işlem sonucunda bir dezavantaj olarak çözünürlük azalırken, özellikle gürültülü ortamlarda parazit yankı sayısının azalması bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Şekil 1'de verilen örneğe ESE uygulanmasını müteakip nokta ölçüme döndürülmüş hali ESE verisinin genlik skalalı görüntüsü ile birlikte Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: ESE uygulanmış genlik skalalı görüntü (üstte), Nokta ölçüme çevrilmiş hali (altta).

Şekillerde verilen örnek senaryo için video verisine ESE uygulandıktan sonra sinyalin gürültüye oranı (SNR) 9 dB, nokta ölçüme döndürüldükten sonra SNR seviyesi 11 dB, parazit yankı sayısı ortalama 400'dür.

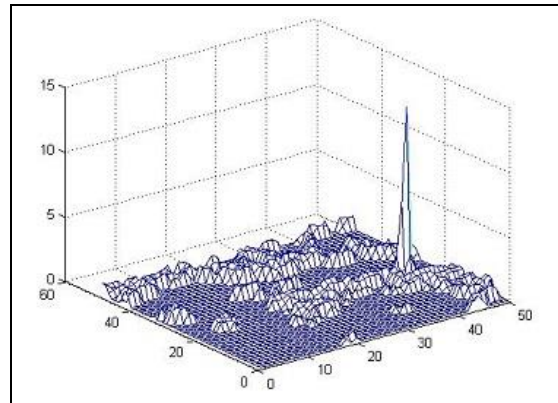
### 2.3 Takibin Başlatılması ve Sonlandırılması

Hedef tespitinin ikinci adımında ise takibin başlatılması ve bitirilmesi için gerekli karara temel teşkil edecek veri elde edilir. Bu kapsamda yine video çerçeve alanı nokta ölçümü için seçilen 5x5 piksellik alan parçalarına bölünür. Takibin başlatılması için her bir alan parçasının standart sapma değerine bakılır. Hedefin büyüklüğüne göre bir veya birkaç komşu alan parçasının standart sapması gürültüden kaynaklanan standart sapma seviyesinden daha yüksek bir değer alır. Bu işlem ESE verisinden elde edilen görüntüye uygulanabileceği gibi doğrudan gri skalalı işlenmemiş video çerçevesine de uygulanabilmektedir. Değişik senaryolar üzerinde ESE verisi ile yapılan çalışmalarda video çerçevesine uçan bir araç girdiğinde araçla ilgili piksel parçalarındaki standart sapma değerinin gürültüler tarafından üretilen en yüksek standart sapma değerinden en az 2 dB yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Gri skalalı video çerçevesinde yapılan çalışmalarda ise gürültülü ortamlardaki küçük hedeflerin (az piksele yayılan) gürültüden ayrıştırılmadığı tespit edilmiştir. Bu sebeple takip başlatmak için ESE verisi kullanılmıştır.

Takibin başlatılması ve bitirilmesi için yapılan işlemler özet olarak;

- ESE verisine dönüştürülmüş video çerçevesinin 5x5'lik bir veya birkaç komşu piksel parçasındaki standart sapma belirli bir eşik seviyesini ard arda iki örnek zamanı için aşma durumuna bakılır,
- Müteakiben eşik seviyesini aşan birinci piksel parçasını merkez kabul eden 50x50'lik bir alanda eşik seviyesini aşan ikinci piksel parçalarının bulunması takibin başlatılmasını sağlar,
- Aynı şekilde, beklenen bölgede ard arda iki örnek anında standart sapma değeri eşik seviyesinin altında kalıyorsa takip bitirilir.

Daha önceden de ifade edildiği şekilde çalışmalar 250x250'lik video kareleri ile gerçekleştirilmiştir. Takibin başlatılması ve sonlandırılması için kullanılan piksel parçaları ise bu alan içinde 5x5'lik olarak seçilmiştir. Şekil 1 ve 2'de verilen durum için ESE verisinden üretilmiş, piksel parçalarının standart sapma değerlerinin 3 boyutlu görüntüsü Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3: ESE verisinden üretilen 5x5'lik piksel parçalarına ait Standart Sapma değerleri.

### 3 Hedef takip algoritması

Takip için EÇM ile OVİ algoritmalarının bir arada çalıştırılmasından oluşan hibrit algoritmaya genlik bilgisinin ilave edilmesiyle oluşan EÇMOVİ-GB algoritması kullanılmıştır [20],[21]. EÇM ve OVİ'nin birlikte çalışmasıyla oluşan yapı gerçek zamanlı ve etkin takip fonksiyonu için uygun bir

algoritmanın meydana gelmesini sağlar. Böylece değişik manevra modelleri için EÇM algoritmasının avantajları, parazit yankılı ortamda hedefi gürültüden ayırabilmek için veri ilişkilendirmesi yapabilen OVİ algoritmasının ve genlik bilgisi kullanımı ile bu ilişkilendirmenin kuvvetlenmesinin avantajları birleştirilmiş olur. Algoritmada kullanılan durum vektörü  $x(t_i)$  ve ölçüm vektörü  $Z(t_i)$ ,

$$\mathbf{x}(t_i) = [x(t_i) \quad y(t_i) \quad \dot{x}(t_i) \quad \dot{y}(t_i)]^T \quad (5)$$

$$\mathbf{Z}(t_i) = \left( z_j(t_i) \right)_{j=1}^{m_i} \rightarrow z_j(t_i) = [x_{ij} \quad y_{ij} \quad a_{ij}]^T \quad (6)$$

olup burada  $x(t_i)$  ve  $y(t_i)$  hedefin konumunu,  $\dot{x}(t_i)$  ve  $\dot{y}(t_i)$  ise  $x$  ve  $y$ 'ye göre hızını ifade eder. Durum vektöründeki hız ifadeleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$\dot{x}(t_i) = \frac{x(t_i) - x(t_{i-1})}{\Delta t} \quad \dot{y}(t_i) = \frac{y(t_i) - y(t_{i-1})}{\Delta t} \quad (7)$$

Burada  $\Delta t$  hesaplamalarda alınan video çerçeve periyodunu göstermektedir. Ölçüm vektörü eşitliğinde (6);  $m_i$ ,  $t_i$  anında alınan ölçüm sayısını,  $x_{ij}$  ve  $y_{ij}$  ölçümlerin konumlarını,  $a_{ij}$  ise ölçümlerin genliklerini ifade eder. Aşağıdaki maddelerde EÇMOVİ-GB algoritmasının işlem adımları incelenecektir. İşlem adımları ile ilgili ifade ve eşitlikler [20] ve [21]'den alınmıştır.

### 3.1 Adım 1: Model etkileşimi veya karışım oranları

EÇM hesaplamalara bu aşamada dâhil olur ve OVİ algoritmasının değişik manevra modellerine uyumlu hale getirilmesini sağlar. Model koşullu durum tahmini ve önceki iterasyona ait kovaryanslar, model uyumlu filtrelerin başlangıç koşulunu elde etmek için birleştirilir. Böylece j'inci modele uyan OVİ'nin  $t_k$  hesaplama döngüsündeki başlangıç durumu,

$$\hat{x}_{0j}(t_{k-1}) = \sum_{i=1}^r \hat{x}_i(t_{k-1}) \mu_{ij}(t_{k-1}) \quad (8)$$

şeklinde hesaplanır. Denklem (8)'de  $\mu_{ij}(t_{k-1})$  karışım oranı olup, (9)'daki gibi tanımlanır,

$$\mu_{ij}(t_{k-1}) = \frac{p_{ij} \mu_i(t_{k-1})}{\sum_{l=1}^r p_{lj} \mu_l(t_{k-1})} \quad (9)$$

Burada  $p_{ij}$  durum geçiş matrisinin  $ij$ 'nci elemanıdır ve model geçişleri için kurulan Markov zinciri geçiş matrisinden gelir.  $\mu_i(t_{k-1})$  ise  $i$  modeline ait model olasılığıdır. Denklem (8)'de elde edilen başlangıç durumuyla ilişkilendirilen kovaryans matrisi ise (10)'da verilmiştir,

$$P_{0i}(t_{k-1}) = \sum_{i=1}^r \mu_{ij}(t_{k-1}) \left( P_i(t_{k-1}) [\hat{x}_i(t_k) \dots - \hat{x}_{0j}(t_{k-1})][\hat{x}_i(t_k) - \hat{x}_{0j}(t_{k-1})]^T \right) \quad (10)$$

### 3.2 Adım 2: Kapı oluşturulması

Bu bölümde hedef olması muhtemel ölçümlerin belirlenmesi için oluşturulan bölgenin, bir başka ifade ile kapının oluşturulması gerçekleştirilir. Bu amaçla  $t_k^-$  için tahmin edilen ölçümü merkez olarak kabul eden bir doğrulama bölgesi  $V(t_k)$  aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$V(t_k) = [z(t_k) - \hat{z}(t_k^-)]^T S(t_k)^{-1} [z(t_k) - \hat{z}(t_k^-)] \leq \gamma \quad (11)$$

Bu eşitlikte;  $z(t_k)$  alınan ölçümü,  $\hat{z}(t_k^-)$  ise kestirimden elde edilen ölçümü ifade eder.  $[z(t_k) - \hat{z}(t_k^-)]$  farkı innovasyon " $v$ "u verir.  $S(t_k)$  ise  $S(t_k) = HP(t_k^-)H' + R(t_k)$  olarak hesaplanan innovasyonun kovaryansıdır. Burada;  $H$  ölçüm matrisi,  $P(t_k^-)$  tahmin edilen durum kovaryans matrisi,  $R(t_k)$  ölçüm gürültü kovaryansıdır. " $\gamma$ " ise gerçek ölçümün bu bölge içinde olma olasılığını belirleyen kapı eşiğidir. Eşik değeri ölçümün boyutuna göre gama " $\Gamma(\cdot)$ " fonksiyon tablosundan elde edilir.

### 3.3 Adım 3: GB Eklenen Model Olabilirlik Fonksiyonları

Genlik bilgisi hesaplamalara bu adımda eklenir. Her bir model için koşullanan durum tahminleri ve kovaryansları hesaplamak için OVİ algoritması kullanılır.  $t_k$  zamanındaki " $j$ "nci modelinin olabilirlik fonksiyonu,  $t_k$ 'da doğrulanan innovasyonların ortak olasılık yoğunluğudur ve aşağıdaki gibi gösterilir,

$$\Lambda_j(t_k) = \left( b + \sum_{m=1}^{m_k} e_j(m) \right) \frac{P_D V^{-m_k}}{m_k} \left( \frac{\gamma}{2\pi} \right)^{\frac{n_z}{2}} c_{n_z} \prod_{m=1}^{m_k} p_0(a_m) \quad (12)$$

$V$  doğrulama bölgesi,  $n_z$  ölçüm boyutu,  $c_{n_z}$  bu boyuta bağlı birim hiperküre hacmidir ve genel ifade ile  $c_n = \frac{\pi^{n/2}}{\Gamma(n/2+1)}$  olarak verilir.  $P_D$  tespit olasılığı olarak ifade edilir.  $e_j(m)$  ve  $b$  parametreleri ise,

$$e_j(m) = \exp \left( -\frac{1}{2} v_i(t_k)^T S(t_k)^{-1} v_i(t_k) \right) \frac{p_1(a_m) P_{FA}}{p_0(a_m) P_D} \quad (13)$$

$$b = \left( \frac{2\pi}{\gamma} \right)^{\frac{n_z}{2}} m_k c_{n_z}^{-1} \frac{1 - P_D P_G}{P_D} \quad (14)$$

Denklem (13) ve (14)'te  $P_G$  kapı olasılığı,  $P_{FA}$  yanlış alarm olasılığı,  $p_0(a_m)$  gürültü genliğinin,  $p_1(a_m)$  ise hedef genliğinin olasılık yoğunluk fonksiyonudur ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$p_0(a_m) = a_m \exp \left( \frac{a_m^2}{2} \right) \quad a_m \geq 0 \quad (15)$$

$$p_1(a_m) = \frac{a_m}{1+d} \exp \left( -\frac{a_m^2}{2(1+d)} \right) \quad a_m \geq 0 \quad (16)$$

Denklem (16)'da " $d$ " hedef için tahmin edilen sinyalin gürültüye oranı (SNR)'dir.

### 3.4 Adım 4: Model Güncelleme

Model olasılıkları, her modelin kullanılma olasılığına dayanarak aşağıdaki şekilde güncellenir,

$$\mu_j(t_k) = \frac{\Lambda_j(t_k) \sum_{l=1}^r p_{lj} \mu_l(t_{k-1})}{\sum_{l=1}^r \sum_{i=1}^r \Lambda_j(t_k) p_{lj} \mu_l(t_{k-1})} \quad (17)$$

### 3.5 Adım 5: Durum Kombinasyonu

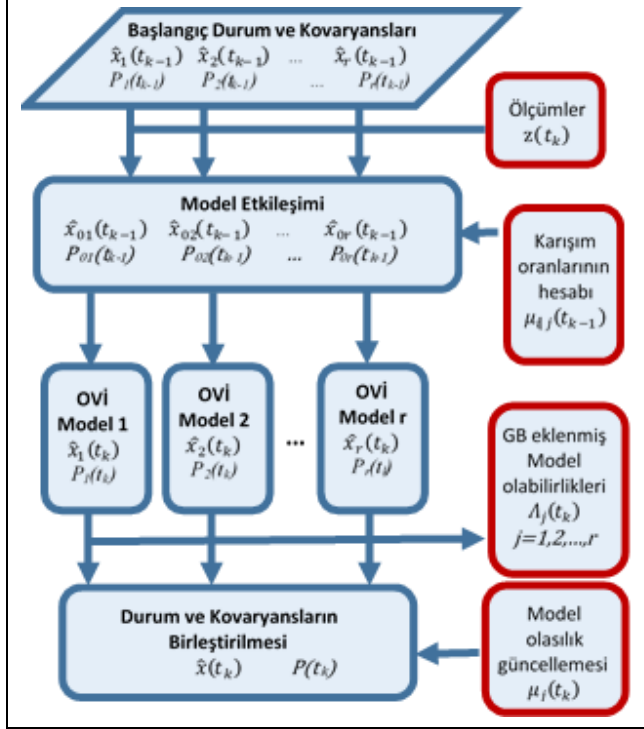
Mod'lara göre koşullanmış tahminler ve kovaryanslar, toplam tahmin  $\hat{x}(t_k)$  ve onun kovaryans matrisi  $P(t_k)$ 'ni bulmak için aşağıdaki şekilde birleştirilir;

$$\hat{x}(t_k) = \sum_{j=1}^r \mu_j(t_k) \hat{x}_j(t_k) \quad (18)$$



$$P(t_k) = \sum_{j=1}^r \mu_j(t_k) \left( P_j(t_k) [\hat{x}_j(t_k) - \hat{x}(t_k)] [\hat{x}_j(t_k) - \hat{x}(t_k)]^T \right) \quad (19)$$

Ayrıca EÇMOVİ-GB algoritmasının akış şeması özet olarak Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: EÇMOVİ-GB algoritmasının akış şeması.

#### 4 Deneysel çalışma

Bu kısımda önerilen metod 10 farklı özellikteki video verisi için deneyerek elde edilen sonuçlar sunulacaktır. Algoritmanın performansını denemek için yapılan çalışmalar değişik büyüklük ve hızdaki hava araçları için gerçek veriler kullanılarak, tek hedef için gerçekleştirilmiştir. Takibin başlatılması, sürdürülmesi ve sonlandırılması için Bölüm 2 ve 3'te verilen kurallar kullanılmıştır. Elde edilen performans değerlerinin kıyaslanması için yine olasılık temelli bir algoritma olan Olasılıksal Çoklu Hipotez İzleyici (OÇHİ) algoritması seçilmiştir [24],[25]. OÇHİ algoritması nokta ölçümle çalışan, optimal yapıda, olgunlaşmış bir algoritmadır. OÇHİ esnek bir yapıda olup değişik varyasyonları vardır, bu çalışmada söz konusu varyasyonlardan birisi olan homotetik OÇHİ algoritması kullanılmıştır [26]. Homotetik OÇHİ'nin standart yapıdan farkı, ölçüm kovaryansını adaptif olarak değiştirmesi ve bu sayede daha geniş bir alandaki ölçüm verisini değerlendirmeye almasıdır. Yapılan kıyaslamamızın adil olması için OÇHİ algoritmasına genlik bilgisi ilavesi de yapılmıştır (OÇHİ-GB). Denemelerde hem EÇMOVİ-GB hem de OÇHİ algoritması için aynı olasılık değerleri, aynı ölçüm değerleri ve aynı başlangıç değerleri kullanılmıştır. OÇHİ algoritması için ölçüm kovaryansına çarpan olarak ilave edilen 3 kademeli homotetik parametre  $\kappa_1=1$ ,  $\kappa_2=4$  ve  $\kappa_3=9$  olarak seçilmiştir [26].

Denemeler 250x250'lik bir alanda yapılmıştır. Takip başlama kararı verildikten sonra takip 30 örnek periyodu ( $T$ ) boyunca

gerçekleştirilmiş ve sonuçlar bu değerler için alınmıştır.  $P_{FA}=0.01$ ,  $P_D=0.97$  olarak seçilmiştir. Kapı eşiği " $\gamma=16$ " olarak seçilmiş olup, bu iki boyut için  $P_G=0.9997$  kapı olasılığına karşılık gelmektedir. Genlikte 30 birim değişikliği Sobel eşiği olarak seçilmiştir. Öncelikle 10 değişik video verisinin özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur. Burada her bir video verisinin; hız bilgisi, genlik bilgisi ve RST için SNR değeri, 5x5'lik bölgelerin standart sapmasının minimum SNR değeri, parazit yankı miktarları, hedefin büyüklüğü ve hesaplamaya sokulan video çerçeve periyodu bilgileri verilmiştir.

Tablo 1'de 5'nci sütun ESE verisinden üretilen, takibin başlatılması ve bitirilmesinde kullanılan 5x5'lik piksel değerlerinin standart sapma değerlerinin minimum SNR değerleri verilmiştir. Bölüm 2'de belirtildiği üzere, hedeften gelen standart sapma değerinin gürültüden kaynaklanan değerlere oranının en az 2 dB olması ortamda bir hedef olduğunu göstermekte ve üst üste iki defa aynı bölgede bu değer aşılmış ise takip başlatılmaktadır. Tablodaki değerler takip başlatıldıktan sonraki değerleri göstermektedir. Bu değerler her adım için hesap edilmektedir, zira bu değer 2dB'nin altına düştüğü durumda takip sonlandırılmaktadır.

Tablo 1: Video Verilerinin özeti.

V.V. No.	Min./Max. Hız	Ort. GB SNR	Ort. RST SNR	Min. SS SNR	Max. PY	Hedef Alanı	$\Delta t$
	$pksl/T$	$dB$	$dB$	$dB$	$adet$	$pksl$	$VÇ$
1	0.3/3	5.9	6	2.6	5	10x9	3
2	0.5/5.6	5.22	6.8	3.6	90	25x14	2
3	1.1/8	2.73	3	2.6	170	30x15	2
4	0.5/3	3.5	4.5	2.5	5	9x7	2
5	0.3/1.8	4	9	5.3	750	9x6	2
6	0.5/4	8.9	14	11	330	14x8	2
7	0.5/3	4.2	5.8	2.9	10	10x8	2
8	2/13	4.7	6.6	3.6	30	31x12	1
9	0.1/4.5	4.1	8	4.2	300	12x10	1
10	1/8.5	2.1	4.6	2.2	5	9x7	1

- V.V.No.: Video Veri Numarası.

- Ort. GB SNR: GB verisindeki ortalama SNR değeri

- Ort.RST SNR: RST verisindeki ortalama SNR değeri

- Min. SS SNR: Hedeften kaynaklanan Standart Sapma (SS)'nin Gürültüden kaynaklanan SS'ya olan oranının minimum değeri (tespit amaçlı).

- Max. PY Sayısı: Nokta ölçümdeki maksimum Parazit Yankı sayısı.

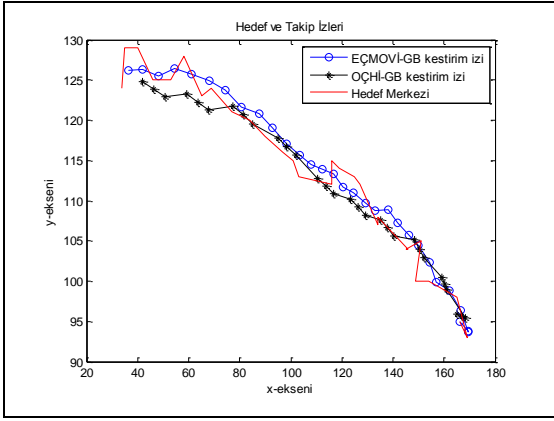
- Hedef Alanı: Hedefin yayıldığı piksel sayısı

-  $\Delta t$ : Video çerçeve periyodu (VÇ: video çerçeve sayısı)

Tablo 1'e bakıldığında değişik manevra durumları, değişik hedef büyüklükleri, değişik arka plan gürültüleri için ölçümler verileri görülmektedir. Burada;

- 1, 4, 7'nci video verileri düşük manevralı iken, 2, 3, 8 ve 10'uncu veriler yüksek manevralıdır,
- 5, 6 ve 9'uncu verilerde hedefin oluşturduğu sinyal şiddeti yüksek iken, 3 ve 10'uncu verilerde nispeten küçüktür,
- 3, 5, 6 ve 9'uncu verilerde parazit yankı oldukça fazla iken, 1, 4, 7 ve 10'uncu verilerde arka fon oldukça temizdir,
- 4, 5 ve 10'uncu verilerde hedef alanı küçükken, 2, 3 ve 8'nci verilerde hedef alanı oldukça büyüktür.

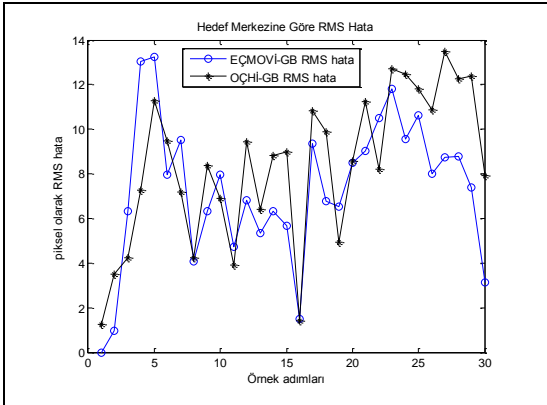
Bundan sonraki kısımda önerilen algoritmanın Tablo 1'de verilen video verileri için performansı ve OÇHİ algoritması ile kıyaslanarak verilecektir. Sonuçları tablo olarak vermeden önce, bir örnek olarak Tablo 1'deki ikinci deneme için her iki algoritma ile elde edilen hedef ve kestirim izleri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5: İkinci video verisi için hedef merkezi ve kestirim izleri. Takip algoritmalarından elde edilen kestirim değerlerinin hedefin merkezinden sapması RMS değeri olarak kullanılmıştır. Bu değer RMS Hata olarak tanımlanmakta ve aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır;

$$E_{RMS}(t) = \sqrt{(\hat{x}(t) - C_x(t))^2 + (\hat{y}(t) - C_y(t))^2} \quad (20)$$

Burada,  $\hat{x}(t)$  ve  $\hat{y}(t)$ ,  $x$  ve  $y$  eksenlerinde  $t$  anındaki kestirim değerlerini,  $C_x(t)$  ve  $C_y(t)$  ise  $t$  anında hedefin merkez değerlerini göstermektedir. Şekil 5'te verilen durum için süreç boyunca her iki algoritmadan elde edilen RMS hata değerleri Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6: İkinci video verisi için süreç boyunca oluşan EÇMOVİ-GB kestirimlerinin hedef merkezine göre RMS Hataları.

Ayrıca 10 değişik video verisi için her iki algoritma ile elde edilen sonuçlar özet olarak Tablo 2'de sunulmuştur. Başarım kriteri olarak takip için hesaplanan kestirim değerlerinin RMS (Root Mean Square) hataları kullanılmıştır. Bu amaçla Tablo 1'de verilen hedef alanı sütununa göre bir dikdörtgen olarak alınarak, merkezden köşeye olan uzaklık hesaplanır. Takip algoritmaları ile elde edilen kestirim değerlerinin merkeze göre RMS hata değerleri, hedefin merkezinden köşesine göre daha küçük olması durumunda kestirimin hedefin üzerine düştüğü kabul edilmiştir. Hedef merkezinden sapmanın ortalama ve maksimum değerleri de başarım kriteri olarak alınmış, süreç boyunca ortalama ve maksimum hata değerleri belirlenmiştir. Ayrıca işlemci kullanım (CPU) zamanı da bir başarım kriteri olarak alınmıştır. Kıyaslama amaçlı olarak EÇMOVİ-GB algoritmasının performansı Tablo 2'de, OÇHİ-GB algoritmasının performansı Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 2: EÇMOVİ-GB için deneme sonuçları.

V.V. No.	Ortalama Hata (pks)	Max. Hata (pks)	Başarı Yüzdesi (%)	CPU (sn)
1	4	8	90	0.04
2	7	12	100	0.14
3	9	13	100	0.15
4	3	7	93	0.04
5	5	17	80	0.57
6	3	8	100	0.28
7	3	6	100	0.04
8	6	11	100	0.09
9	2	6	100	0.25
10	3	9	97	0.05

Tablo 3: OÇHİ-GB için deneme sonuçları.

V.V. No.	Ortalama Hata (pks)	Max. Hata (pks)	Başarı Yüzdesi (%)	CPU (sn.)
1	2	5	100	0.08
2	10	16	93	0.5
3	11	18	93	0.71
4	2	3	100	0.08
5	6	14	56	3.75
6	87	186	10	1.01
7	2	3	100	0.08
8	12	18	93	0.22
9	29	52	16	1.8
10	2	4	100	0.16

Tablo 2 ve 3'te verilen performans sonuçlarına bakıldığında;

- EÇMOVİ-GB algoritması tüm video verileri için takibi sürdürdüğü, diğer taraftan OÇHİ-GB algoritması 5, 6 ve 9'nci algoritmalarda takibi sürdürmemiştir. Bu verilerin hepsinde parazit yankı miktarı yüksektir,
- OÇHİ-GB algoritmasının ortalama ve maksimum hatası 1, 4, 7 ve 10'uncu verilerde EÇMOVİ-GB algoritmasının hatalarından daha küçüktür. Bu verilerin ortak özellikleri parazit yankıların az olmasıdır,
- Parazit yankı sayısı arttıkça EÇMOVİ-GB algoritmasının performansı belirgin bir şekilde OÇHİ-GB algoritmasının performansının üzerine çıkmaktadır,
- Tüm denemelerde CPU zamanı hesaplanmış ve EÇMOVİ-GB algoritmasının performansının OÇHİ-GB algoritmasının performansının oldukça üzerinde olduğu görülmüştür,
- Manevrası yüksek ve parazit yankısı nispeten düşük olan 2 ve 8'nci verilere bakıldığında iki algoritmada takibi sürdürmekle birlikte, EÇMOVİ-GB algoritmasının performansı OÇHİ-GB algoritmasına göre daha iyi olduğu görülmektedir.

Denemeler sonucunda teklif edilen metodun hedefin tespitinde ve takibinde tüm durumlar için istenilen başarımlarını sağladığı görülmektedir. Yapılan kıyaslamada OÇHİ-GB algoritmasının performansı düşük parazit yankılarda EÇMOVİ-GB algoritmasının performansından daha iyi olduğu görülmektedir. Diğer taraftan parazit yankı miktarı arttıkça EÇMOVİ-GB algoritmasının performansı, OÇHİ-GB'nin performansını geçmektedir. Yüksek parazit yankı miktarlarında EÇMOVİ-GB'nin açık bir üstünlüğü vardır. Ayrıca yüksek manevralarda da EÇMOVİ-GB'nin üstünlüğü vardır. İşlemci kullanım süresi bakımında da EÇMOVİ-GB'nin üstünlüğü açıktır. Özellikle yoğun parazit yankılı ortamlarda OÇHİ-GB algoritması gerçek zamanlı çalışmada zorlanırken, EÇMOVİ-GB algoritması süreci gerçek zamanlı olarak devam ettirebilmektedir.

## 5 Sonuçlar

Bu çalışmada uçan nesnelerin video sistemleri ile otomatik olarak tespiti ve takibi için bir metot geliştirilmiş ve gerçek veriler kullanılarak uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda video verisi bir ara veri olan ESE verisine çevrilmiş ve bu veriden GB'ne sahip nokta ölçüm elde edilmiştir. Takip algoritması olarak kullanılan EÇMOVİ-GB algoritmasında elde edilen nokta ölçüm verisi kullanılmıştır. Ayrıca, ESE verisine çevrilen video çerçevesi küçük piksel parçalarına ayrılmış ve bu parçaların standart sapma değerlerine bakılarak hedef tespiti yapılmıştır. Hedef tespitinin durumuna göre takip başlatma ve sonlandırma kararı verilmiş, buna bağlı olarak takibin otomatik olarak başlatılması ve sonlandırılması gerçekleştirilmiştir.

Teklif edilen algoritma tek hedef için, değişik durumlara sahip gerçek ölçümler üzerinde denenmiştir. Bu denemelerde farklı manevra şekillerine, değişik SNR seviyeleri ve parazit yankı sayılarına ve birbirlerinden ayırılabilir seviyede farklı hedef büyüklüklerine sahip ölçümler kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda OÇHİ-GB algoritması ile kıyaslanmış ve gerçek zamanlı, otomatik video takibi için önerilen metodun değişik koşullardaki performansının başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bundan sonraki çalışmalarda birden çok hedefin tespiti ve takibi için algoritmanın genişletilmesi hedeflenmektedir.

## 6 Kaynaklar

- [1] Cao X, Yang L, Guo X. "Total variation regularized RPCA for irregularly moving object detection under dynamic background". *IEEE Transactions on Cybernetics*, 46(4), 1014-1027, 2016.
- [2] Rozantsev A, Lepetit V, Fua P. "Detecting flying objects using a single moving camera". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 39(5), 879-892, 2017.
- [3] Chandran R, Raman N. "A review on video-based techniques for vehicle detection, tracking and behavior understanding". *International Journal of Advances in Computer and Electronics Engineering*, 2(5), 07-13, 2017.
- [4] Xu Y, Dong J, Zhang B, Daoyun X. "Background modeling methods in video analysis: A review and comparative evaluation". *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, 1(1), 43-60, 2016.
- [5] Chen M, Wei X, Yang Q, Li Q, Wang G, Yang MH. "Spatiotemporal GMM for background subtraction with superpixel hierarchy". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 40(6), 1518-1525, 2018.
- [6] Elharrouss O, Abbad A, Moujahid D, Riffi J, Tairi H. "A block-based background model for moving object detection". *Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis*, 15(3), 17-31, 2016.
- [7] Maddelena L, Petrosino A. "Background subtraction for moving object detection in RGBD data: A survey". *Journal of Imaging*, 4(5), 71, 2018.
- [8] Barron JL, Fleet DJ, Beauchemin SS. "Performance of optical flow techniques". *International Journal of Computer Vision*, 12 (1), 43-77, 1994.
- [9] Colque RVHM, Caetano C, De Andrade MTL, Schwartz WR. "Histograms of optical flow orientation and magnitude and entropy to detect anomalous events in videos". *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 27(3), 673-682, 2017.
- [10] Kroeger T, Timofte R, Dai D, Van Gool L. "Fast optical flow using dense inverse search". *Computer Vision-European Conference on Computer Vision (ECCV) 2016*, Amsterdam, The Netherlands, 11-14 October 2016.
- [11] Zhang J, Ding Y, Xu H, Yuan Y. "An optical flow based moving objects detection algorithm for the UAV". *IEEE 4th International Conference on Computer and Communication Systems*, Singapore, 23-25 February 2019.
- [12] Singh G, Saha S, Sapienza M, Torr P, Cuzzolin F. "Online real-time multiple spatiotemporal action localisation and prediction". *International Conference on Computer Vision (ICCV 2017)*, Venice, Italy, 22-29 October 2017.
- [13] Liang R, Yan L, Gao P, Qian X, Zhang Z, Sun H. "Aviation video moving-target detection with inter-frame difference". *IEEE 3rd International Congress on Image and Signal Processing*, Yantai, China, 16-18 October 2010.
- [14] Zhu M, Wang H. "Fast detection of moving object based on improved frame-difference method". *IEEE 2017 6th International Conference on Computer Science and Network Technology*, Dalian, China, 21-23 October 2017.
- [15] Wei H, Peng Q. "A block-wise frame difference method for real-time video motion detection". *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 15(4), 1-13, 2018.
- [16] Shi G, Suo J, Liu C, Wan K, Lv X. "Moving target detection algorithm in image sequences based on edge detection and frame difference". *IEEE 3rd Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC)*, Chongqing, China, 3-5 October 2017.
- [17] Pakfiliz AG. "Automatic detection of aerial vehicle in cloudy environment by using wavelet enhancement technique". *Radioengineering*, 26(4), 1169-1176, 2017.
- [18] Gonzalez RC, Woods RE. *Digital Image Processing*. 2nd ed. New Jersey, USA, Prentice Hall, 2001.
- [19] Han DS, Juan ROS, Jung MW, Cha HW, Kim HS. "Development of a novel fast rotation angle detection algorithm using a quasi-rotation invariant feature based on sobel edge". *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, 9(2-6), 33-36, 2017.
- [20] Bar-Shalom Y, Li XR. *Multitarget-Multisensor Tracking: Principles and Techniques*. Connecticut, USA, YBS Publishing, 1995.
- [21] Bar-Shalom Y, Li XR, Kirubarajan T. *Estimation with Applications to Tracking and Navigation: Theory, Algorithms and Software*. New York, USA, Wiley, 2001.
- [22] Rashid M, Sebt MA. "Tracking a maneuvering target in the presence of clutter by multiple detection radar and infrared sensor". *2017 Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, Tehran, Iran, 2-4 May 2017.
- [23] Gupta S, Mazumdar SG. "Sobel edge detection algorithm". *International Journal of Computer Science and Management Research*, 2(2), 1578-1583, 2013.
- [24] Stone LD, Streit RL, Corwin TL, Bell KL. *Bayesian Multiple Target Tracking*. 2nd ed. MA, USA, Artech House, 2013.
- [25] Li X, Willett P, Baum M. and Y. Li, "PMHT approach for underwater bearing-only multisensory-multitarget tracking in clutter". *Journal of Oceanic Engineering*, 41(4), 831-839, 2016.
- [26] Efe M, Ruan Y, Willett P. "The pedestrian PMHT". *Fifth International Conference on Information Fusion*, Annapolis, MD, USA, 8-11 July 2002.