

Kızılötesi İmgelerde Küçük Nesne Tespiti için Hızlı ve Gürbüz Bir Otomatik Nesne Tespit Algoritması

A Fast and Robust Automatic Object Detection Algorithm to Detect Small Objects in Infrared Images

Muhammet ÖZBAY, Mehmet Cihan ŞAHİNGİL
TÜBİTAK BİLGEM İLTAREN
Ankara, Türkiye
{muhammet.ozbay, mehmet.sahingil}@tubitak.gov.tr

Özetçe— Kızılötesi (KÖ) imgelerde otomatik nesne tespiti birçok askeri savunma sistemi için hayati önem taşımaktadır. Bu aşamanın, tespit oranı yüksek ve hatalı tespit oranı düşük bir şekilde yapılması, takip eden algoritmaların performansını, dolayısıyla sistemin genel performansını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada KÖ imgelerde küçük ve ışma değeri yüksek nesnelerin tespitinin hızlı ve gürbüz bir şekilde yapılabilmesi için bir algoritma önerilmiştir. Nesnelerin görünürlüğünün artırılması için top-hat dönüşümü kullanılmış, nesne boyutlarının daha doğru hesaplanması ve hatalı tespit oranının düşürülmesi için iki katmanlı eşikleme algoritması önerilmiştir. Son olarak art işleme yöntemleri ile küçük nesneler ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler — Kızılötesi; Nesne Tespiti; Küçük ve Noktasal Nesne; Morfolojik Top-Hat.

Abstract—Automatic object detection in infrared images is a vital task for many military defense systems. The high detection rate and low false detection rate of this phase directly affect the performance of the following algorithms in the system as well as the general performance of the system. In this work, a fast and robust algorithm is proposed for detection of small and high intensity objects in infrared scenes. Top-hat transformation and mean filter was used to increase the visibility of the objects, and a two-layer thresholding algorithm was introduced to calculate the object sizes more accurately. Finally, small objects extracted by using post processing methods.

Keywords — Infrared; Object Detection; Small and Dim Object; Morphological Top-Hat.

I. GİRİŞ

KÖ sahnelerde otomatik nesne tespiti, gelişen detektör teknolojisi ile beraber günümüzde yükselen bir eğilim göstermektedir [4]-[7]. KÖ detektörlerin pasif olması, maliyetlerinin düşmesi, yüksek çözünürlüklere çıkabilmesi ve menzilin yüksek olması (20-30 km), savunma alanında bu detektörlere olan rağbeti artırmaktadır. Otomatik nesne tespiti birçok Elektro-Optik Kızılötesi (EO IR) savunma sisteminde önemli bir yere sahiptir. Bu aşamada elde edilen sonuçlar, sistemin takip eden algoritmalarının (Otomatik Nesne Takibi (ONT), Otomatik Tehdit Teşhisi (OTT)) performansını;

dolayısıyla sistemin genel performansını doğrudan etkilemektedir.

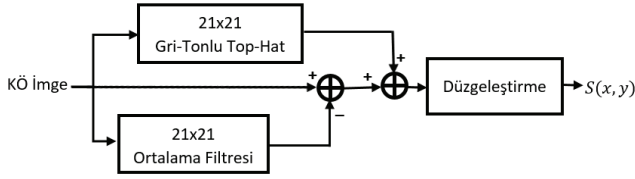
Bir sisteme karşı, tehdit oluşturabilecek nesnelerin uzak mesafelerden tespit edilebilmesi, ilgili nesne için tepki mekanizmalarının daha erken harekete geçirilebilmesini sağlamakta ve sisteme ek zaman kazandırmaktadır. Yüksek mesafelerden tespit yapılmak istenildiğinde ise, nesnelerin detektör üzerindeki izdüşümlerinin noktasal hale gelmesi, sinyal gürültü oranının (SNR) düşmesi gibi problemler ortaya çıkmaktadır. Nesnelerin boyutuyla beraber arkaplandan ayırt ediciliğinin de düşmesi, basit nesne tespit algoritmalarının başarısını düşürmekte, bundan dolayı daha karmaşık algoritmalar kullanılmak zorunda kalmaktadır. Algoritma karmaşıklığının artması da ilgili işlemler için harcanan süreleri artırabilmekte ve gerçek zamanlı çalışma özelliğinin kaybolmasına neden olabilmektedir. Bu çalışmada küçük boyutlu nesnelerin otomatik tespiti için, yüksek hızda ve düşük SNR değerlerinde çalışabilecek bir algoritma önerilmiştir. Önerilen yöntem, tek bir imge üzerinden tespit gerçekleştirmektedir.

KÖ bir imgede küçük boyutlu nesnelerin ortaya çıkarılması bildirinin II. bölümünde, nesneler üzerinden art işleme yöntemleri ile eleme yapılması ise bildirinin III. bölümünde detaylandırılmaktadır. Algoritmanın KÖ görüntüler üzerindeki test sonuçları ve son değerlendirme sırasıyla IV. ve V. bölümlerde verilmiştir.

II. KÜÇÜK BOYUTLU NESNE TESPİTİNİN YAPILMASI

KÖ imgelerde düşük SNR'lı nesnelerin arkaplandan ayırt ediciliğinin artırılması, ilgili nesnelerin tespiti açısından büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle ön işleme algoritmaları kullanılmakta ve nesnenin çevresine göre görünürlüğü artırılmaktadır. Nesnenin sadece kendi etrafındaki ya da bütün görüntüdeki piksellerden ayırt ediciliğinin artması, nesne tespiti için kullanılacak eşikleme yöntemlerinin de değişmesine neden olmaktadır. Nesne, sadece kendi etrafındaki piksellere baskın bir durumda ise yerel eşikleme algoritmaları kullanmak, imgenin genelindeki piksellere baskın bir durumda ise genel eşikleme algoritmaları kullanılmak daha etkili sonuçlar vermektedir.

Genel eşikleme yöntemlerinin kullanılması yerel yöntemlere göre daha hızlı bir şekilde yapılabilen ve algoritmaya ek zaman kazandırmaktadır. Bu bildiride genel eşikleme yöntemlerine imkân sağlayacak bir arkaplan baskılama metodu kullanılmıştır (Şekil 1). Algoritmaya girdi olarak 8-bitlik gri tonlu (gray-scale) KÖ imgeler verilmektedir.



Şekil 1: Arkaplan baskılama işlemi

Gri tonlu top-hat dönüşümü, arkaplan baskılanmasında ve küçük boyutlu nesnelerin ortaya çıkarılmasında yaygın olarak kullanılan ve tehdidin kayda değer bir şekilde çevresinden ayrışmasını sağlayan morfolojik bir yöntemdir [6]. Bu çalışma kapsamında kullanılan KÖ imgelerdeki yüksek ışımaya sahip nesnelerin ortaya çıkarılması için açık top-hat dönüşümü kullanılmıştır [1].

Top-hat dönüşümünde kullanılan yapısal elementin boyutu ve şekli, tespit edilmek istenilen nesnenin özelliklerine göre seçilmektedir. Bu çalışmada 21x21 boyutunda ve disk şeklinde bir yapısal element kullanılmıştır. Yapısal elementin disk şeklinde olmasının nedeni, çalışma kapsamında tespiti yapılacak nesne şeklinin yuvarlaklık oranının yüksek olmasıdır. Yapısal elementin boyutu da tespiti yapılacak nesnenin uzak mesafelerden başlayıp daha yakın mesafelere gelebileceği, bu nedenle boyutunun artabileceği ihtimali düşünülerek seçilmiştir. Yapısal elementin boyutunun, tespiti yapılacak nesnenin boyutundan küçük olması top-hat uygulanmış imgede ilgili nesnenin kaybolmasına ya da küçük parçalar halinde imgede kalmasına neden olmaktadır. Bu parçalar da noktasal nesne gibi görünmekte ve hatalı tespit oranını artırmaktadırlar.

Bir KÖ imgede küçük hedeflerin ışımaları ile özellikle gökyüzü arkaplanına ait ışımlar arasında ani geçişlerin olduğu görülmektedir. Ayrıca arkaplanın tespit edilmek istenilen nesnelere göre daha geniş alana sahip olduğu ve homojen dağılımlar gösterdiği görülmektedir (Şekil 2). Bu bilgiler ışığında alçak-geçiren süzgeçler ile arkaplan kestirimi yapılabilmektedir. Bu çalışmada arkaplan kestiriminde düşük-geçiren süzgeç olan 21x21 boyutunda bir ortalama filtresi (OF) kullanılmıştır. OF boyutunun tespit edilecek nesnelere göre çok büyük ya da çok küçük olması, arkaplan kestirimi performansını etkilemektedir. Bu nedenle OF büyüklüğü, arkaplan kestiriminin beklenen doğrulukta yapılabilmesi ve tespit edilecek en büyük nesne bölgelerin de arkaplana dâhil olmaması göz önüne alınarak belirlenmiştir. OF sonucunda elde edilen imge, orijinal imgeden çıkarılarak arkaplanı baskılanmış bir görüntü elde edilmektedir. Elde edilen görüntüde ufuk çizgileri ve nesne boyutları top-hat dönüşümüne göre daha belirgin hale gelmektedir.

İki farklı arkaplan baskılanmasında sonra elde edilen görüntüler toplanıp arkaplanı baskılanmış ve nesne boyutları belirginleştirilmiş bir görüntü elde edilmiştir. Arka plan baskılama işleminden sonra eşikleme yönteminin daha iyi

çalışabilmesi için bu aşamada elde edilen imge üzerinde düzgeleştirme (normalizasyon) işlemi yapılmıştır. Orijinal KÖ ve arka plan baskılanması yapılarak elde edilen imgeler sırası ile Şekil 2 ve Şekil 3 ile verilmiştir.



Şekil 2: Orijinal imge[8].

Şekil 3: Arkaplan eleme uygulanmış imge.

Bu aşamada elde edilen imgenin genelinden *ptile* yöntemi ile bir genel eşik seviyesi (th) hesaplanmaktadır [3]. Hesaplanan bu eşik değeri iki katsayı ile ağırlıklandırılıp, (1) numaralı denklem ile gösterildiği gibi iki ayrı yeni eşik seviyesi elde edilmektedir.

$$th_1 = \alpha * th, \quad th_2 = \beta * th, \quad \alpha > \beta \quad (1)$$

th_1 eşik seviyesi imgedeki sadece güçlü parlamaları (2) ön plana çıkarmakta, th_2 ise güçlü parlamalar ile birlikte zayıf parlamaları (3) da ön plana çıkarmaktadır (Şekil 4 ve Şekil 5).

$$I_1(x,y) = 1, \quad S(x,y) \geq th_1 \quad (2)$$

$$I_1(x,y) = 0, \quad S(x,y) < th_1$$

$$I_2(x,y) = 1, \quad S(x,y) \geq th_2 \quad (3)$$

$$I_2(x,y) = 0, \quad S(x,y) < th_2$$



Şekil 4: th_1 ile elde edilen imge (I_1).

Şekil 5: th_2 ile elde edilen imge (I_2).

İki seviyeli eşikleme işleminden elde edilen I_2 imgesi bağlı bileşenler algoritması ile etiketlenmektedir [2]. Bağlı bileşenler algoritmasında komşuluk kriteri, 8 farklı yön ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$) ve bir piksel uzaklık olarak belirlenmiştir.

Bu aşamadan sonra I_2 imgesindeki bütün etiketli alanlar I_1 imgesi üzerinden sorgulanmaktadır. I_2 imgesindeki etiketli alanın bir kısmı, I_1 imgesindeki etiketli en az bir alan ile örtüşüyorsa I_2 imgesindeki etiketli alan sabit bırakılmakta, örtüşmüyorsa ise ilgili alan silinmektedir. Bu işlem sayesinde hem nesnelerin alanları doğru hesaplanabilmekte (tespit edilmeye çalışılan nesnenin kenarlarına gidildikçe ışıma seviyesi azalmaktadır) hem de birden fazla sıcak bölgesi bulunan nesneler tek nesne olarak ortaya çıkarılabilmektedir.

Tek eşik seviyesi kullanıldığında nesne alanlarının daha doğru hesaplanabilmesi için eşik seviyesinin düşürülmesi yolunun seçilebileceği de bilinmektedir. Fakat bu durumda hatalı tespit oranı artmaktadır. Bu çalışma kapsamında önerilen yöntem ile hatalı tespit oranı artırılmadan bu işlem gerçekleştirilebilmiştir. Nesne şekillerinin doğru hesaplanabilmesi de art işleme kısmında daha doğru eleme yapılmasına olanak sağlamaktadır. İki katmanlı eşikleme sonucunda elde edilen imge Şekil 6 ile verilmiştir.



Şekil 6: Farklı etiketleme işleminden elde edilen imge.

III. NESNE ÖZELLİKLERİNE GÖRE ART İŞLEME

İki katmanlı eşikleme işleminden sonra imge üzerinde kalan etiketli bölgeler üzerinden, tespiti yapılacak nesnenin ön bilgileri kullanılarak eleme işlemi yapılmaktadır. Çalışma kapsamında tespit edilmeye çalışılan nesneler; belirli boyutların üzerinde olmayan, yuvarlaklık derecesi yüksek ve çevresindeki arkaplana göre pozitif kontrasta sahip olan (sıcak, parlak) nesnelerdir. İlk olarak 500'den fazla piksele sahip olan nesneler elenmektedir. Piksel sayısı, kamera görüş alanına (Field of View, FOV) ve görüntü çözünürlüğüne göre değişkenlik göstermektedir. Daha sonra kalan bölgelerde (4) numaralı denklem ile hesaplanan yuvarlaklık derecesine göre ikinci bir eleme yapılmaktadır.

$$Y.D = \left(\frac{Alan}{\pi R_{maks}^2} \right) \left(\left| \log \left(\frac{1}{1000} Alan \right) \right| + 1 \right) \quad (4)$$

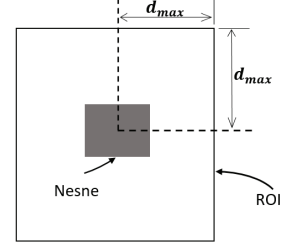
(4) numaralı denklemde kullanılan R_{maks} , ilgili nesnenin merkezinden kenarlarına olan uzaklıkların en büyük değerini ifade etmektedir. Tespit edilmeye çalışılan nesneler tek ya da birkaç piksel boyutunda iken tam yuvarlak olamamakta ancak nesne alanı büyüdükçe yuvarlaklık derecesi 1'e yaklaşmaktadır. Bu nedenle alanı küçük olduğu için düşük yuvarlaklık derecesine sahip olan nesnelerin bu aşamada elenmemesi amacıyla, (4) numaralı denklemde nesne alanlarına ait logaritmik değerlerin etkisi de göz önünde bulundurulmuştur. Nesne alanları azaldıkça, logaritmik kısımdan elde edilen değer büyümekte ve yuvarlaklık derecesinin artmasını sağlamaktadır.

Bu işlemden sonra orijinal imge kullanılarak kalan nesnelerin arkaplandan ayrışma miktarına göre eleme yapılmaktadır. Bu işlem, takip eden adımlar izlenerek gerçekleştirilmiştir.

- Kalan her bir etiketli bölgenin orijinal imgedeki ortalama parlaklık değeri hesaplanır.
- Etiketli bölgenin etrafında (etiketli bölge merkezde olacak şekilde) bir kare şeklinde bir ilgi alanı (ROI, Region of Interest) belirlenir (Şekil 7). Bu kare alanın bir kenarının uzunluğu, etiketli bölgenin en geniş kenarının uzunluğunun iki katına eşittir ($2d_{max}$).

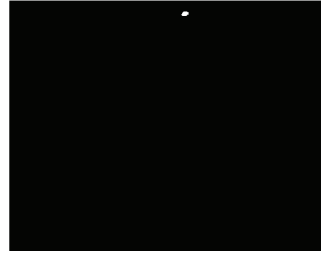
- Belirlenen alanda, etiketli bölge hariç geriye kalan arkaplan piksellerinin ortalama ışıma miktarı hesaplanır.
- *Nesne Işıması/Arkaplan Işıması* oranı hesaplandıktan sonra ilgili değer belirli bir eşik seviyesinin altında ise, etiketli bölge elenir.

Bu yöntemin genel amacı, tespit edilen nesneler üzerinde yerel eşikleme işlemi yapılmak istenmesidir.



Şekil 7: ROI seçimi

Yerel eşikleme işleminin bu aşamada yapılması, hem yerel eşikleme işleminin tespit performansından faydalanılmasını sağlamakta hem de işlem zamanından kazanç sağlamaktadır. Yerel eşikleme işlemindeki eşik değerinin belirlenmesi, bu aşamaya kadar kalan nesnelerin sayısının da göz önüne bulundurularak uyarlamalı olarak gerçekleştirilmektedir. Eğer sahnede çok fazla nesne kaldıysa eşik değeri bir miktar artırılmakta, eğer çok az nesne var ise eşik değeri bir miktar aşağıya çekilmektedir. Yerel eşikleme işleminden sonra kalan nesneler ile verilmiştir.



Şekil 8: Tespit edilen nesne ikili imgesi.



Şekil 9: Tespit edilen nesnenin orijinal imge üzerinde gösterimi.

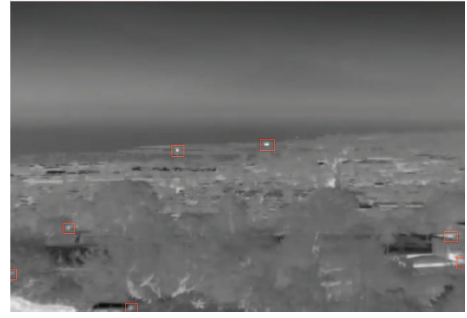
IV. TEST SONUÇLARI

Önerilen yöntemin performansı farklı KÖ görüntüler üzerinde test edilmiş ve sonuç görselleri verilmiştir. Test edilen KÖ görüntülerde, uzak mesafelerden çekilmiş yolcu ve savaş uçakları (Şekil 10 - Şekil 13), noktasal/küçük ve ışıması yüksek nesneler (Şekil 14 ve Şekil 15) bulunmaktadır. Testler MATLAB ortamında 4GB RAM ve 2.93GHz işlemci hızına sahip bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.

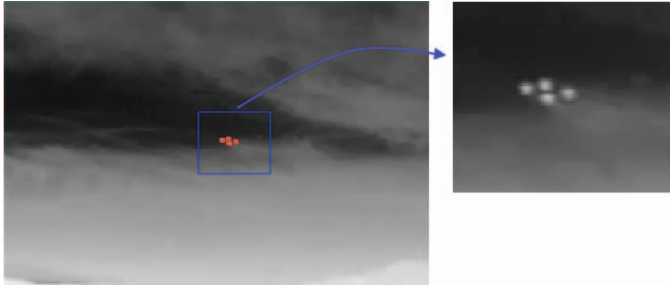
Testler esnasında 640x480 boyutlarında bir KÖ görüntünün işlenebilmesi için geçen ortalama süre 0.18s olarak ölçülmüştür. Algoritmanın test edildiği ortam (MATLAB) optimize olmadığı için daha optimize bir ortamda (C/C++) elde edilen bu sürenin daha düşük olacağı değerlendirilmektedir.



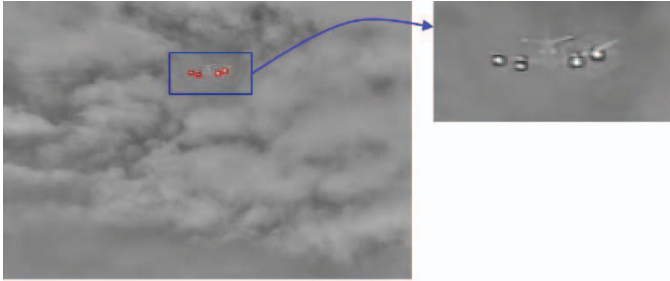
Şekil 10: Nesne tespiti sonucu-1 [9].



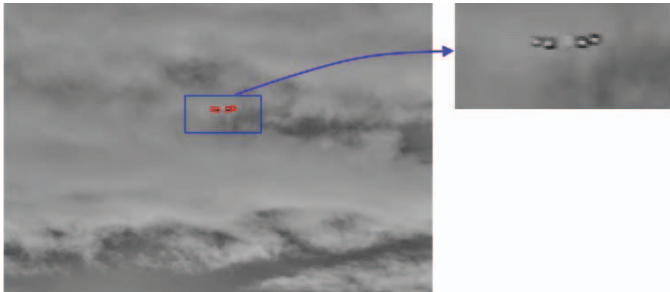
Şekil 15: Nesne tespiti sonucu-6 [13].



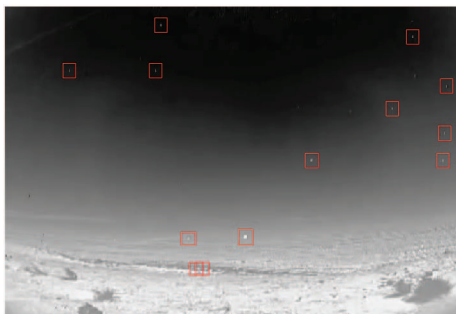
Şekil 11: Nesne tespiti sonucu-2 [10].



Şekil 12: Nesne tespiti sonucu-3 [11].



Şekil 13: Nesne tespiti sonucu-4 [11].



Şekil 14: Nesne tespiti sonucu-5 [12].

Sonuçlar incelendiğinde sahnelerdeki küçük ve ışıması yüksek nesnelerin tespit edilebildiği bunun yanında yüksek arkaplan gürültüsüne sahip görüntülerde (Şekil 14 - Şekil 15) de hatalı tespitlerin düşük olduğu görülmektedir.

V. SONUÇ

Bu bildiride KÖ bir sahnedeki küçük ve ışıması yüksek nesneleri hızlı ve otomatik olarak tespit edecek bir algoritma önerilmiştir. Gerçekleştirilen testler sonucunda algoritmanın tek çerçeve üzerinden hızlı tespit yapabildiği ve gerçek zamanlı uygulamalara olanak sağladığı görülmüştür. Bu sayede çeşitli KÖ banтта gözetleme yapan askeri ve sivil uygulamalarda kullanılabilecek imkânı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Edward R. Dougherty, Roberto A. Lotufo, "Hands-on Morphological Image Processing", *Tutorial Texts in Optical Engineering*, 2003.
- [2] Robert M. Haralick, Linda G. Shapiro, "Computer and Robot Vision", *Addison-Wesley Publishing Company, Cilt.1*, 1992.
- [3] W. Doyle, "Operation useful for similarity-invariant pattern recognition," *J. Assoc. Comput. Mach. Cilt. 9, s. 259-267*, 1962
- [4] Yao Yunping Zhang Wei Duan Chang, "An Infrared Small and Dim Target Detection Algorithm Based on the Mask Image", *IEEE The Tenth International Conference on Electronic Measurement & Instruments*, 2011.
- [5] Mina Farajzadeh, Ali Mahmoodi, Mohammad Reza Arvan, "Detection of Small Target Based on Morphological Filters", *IEEE 20th Iranian Conference on Electrical Engineering*, 2012.
- [6] Ozan Yardımcı, Seyit Tunç, İlkay Ulusoy Parnas, "Performance and Time Requirement Analysis of Top-Hat Transform Based Small Target Detection Algorithms", *Proc. of SPIE Vol. 9476*, 2015.
- [7] Chen Jinling, Zhang Jiming, Deng Linming, Niu Xiaoming, Wei Xueming, Xu Jing, Wu Jian, "Detection of Weak and Small Infrared Targets Under Complicated Background", *Proc. of SPIE Vol. 7658*, 2010.
- [8] Flir thermal binoculars, Mevcut: <https://www.youtube.com/watch?v=WrqTWHQLqok>.
- [9] 767 Approach with Zoom MWIR Thermal Camera InSB, Mevcut: https://www.youtube.com/watch?v=ZHaiAMUIG_o
- [10] FLIR thunderbirds air Show, Mevcut: <https://www.youtube.com/watch?v=gjDwjIE5UdI>
- [11] 747 Thermal Imaging Camera MWIR InSb, Mevcut: <https://www.youtube.com/watch?v=cAuVWuLAqio>
- [12] F-22 AN/AAR-56 Missile Launch Detector (MLD), Mevcut: <https://www.youtube.com/watch?v=rUj3JTeInVI>
- [13] Santa Barbara Harbor MWIR video Produced by IRCameras, Mevcut: <https://www.youtube.com/watch?v=cYLUDIGtegg>