

ÖZET

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARIYLA YÜKSEK İRTİFALARDA HİBRİT YAKLAŞIMLA HAREKETLİ HEDEFLERİN TESPİT EDİLMESİ

5 Buluş, yüksek irtifalarda insansız hava araçları (İHA) üzerinde bulunan kameralar aracılığıyla gözlemlenen bölgelerdeki hareketli nesnelerin tespitini sağlayan bir yöntem ile ilgilidir. Buluş konusu yöntem sayesinde, hibrit bir yaklaşım ile yüksek hızda çalışma gereksinimini koruyup harmanlayarak yüksek irtifalarda başarılı nesne tespiti sağlanmaktadır.

İSTEMLER

1. Buluş, insansız hava araçlarıyla yüksek irtifalarda hibrit yaklaşımla hareketli hedeflerin tespit edilmesi yöntemi ile ilgili olup,

- 5 - İnsansız hava aracı (İHA) kamerası ile çekim yapılarak nesne görüntülerinin alınması,
- Alınan görüntülerin YOLOv4 yöntemi kullanılarak aday nesnelerin tespit edilmesi,
- Kanade–Lucas–Tomasi (KLT) algoritması ile optik akış hesaplamasının gerçekleştirilmesi,
- 10 - Kanade–Lucas–Tomasi (KLT) algoritması ile hesaplanan optik akış bilgisi kullanılarak epipolar kısıtlar ve vektör-akış kısıtlarının hesaplanması,
- Üretilen nesne tespit bilgilerinin tespit füzyonu aşamasında birleştirilmesi,
- 15 - Son aşamada elde edilen çıktıların yer kontrol istasyonuna Real Time Streaming Protocol (RTSP) aracılığıyla iletilmesi

adımlarını içermesi ile karakterize edilmektedir.

2. Buluş istem 1'deki gibi bir yöntem ile ilgili olup, Kanade–Lucas–Tomasi (KLT) algoritmasında ardışık üç görüntü arasındaki değişimin hesaplanması ile karakterize edilmektedir.
- 20
3. Buluş istem 1'deki gibi bir yöntem ile ilgili olup, hatalı tespitleri azaltmak için gri seviye imge farkı görüntülerine “binary thresholding” uygulanması ile karakterize edilmektedir.

25

TARİFNAME

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARIYLA YÜKSEK İRTİFALARDA HİBRİT YAKLAŞIMLA HAREKETLİ HEDEFLERİN TESPİT EDİLMESİ

Teknik Alan

- 5 Buluş, yüksek irtifalarda insansız hava araçları (İHA) üzerinde bulunan kameralar aracılığıyla gözlemlenen bölgelerdeki hareketli nesnelerin tespitini sağlayan bir yöntem ile ilgilidir.

Önceki Teknik

- 10 Teknikte yer alan hareketli hedef tespit yöntemleri sabit kameralar, Onvif PTZ kameralar ve İHA kameralarında halihazırda uygulanmaktadır. Ancak, İHA kameraları özelinde mevcut yöntemler yüksek irtifalarda tek başına yetersiz kalmaktadır. Örneğin, derin öğrenme tabanlı nesne tespit yöntemleriyle yüksek irtifalarda başarı sağlayabilmek için kompleks modellere ihtiyaç duyulmakta, bu da gerçek-zamanlı çalışma ve düşük güç tüketimi gereksinimini sağlayamamaktadır.
- 15 Aynı zamanda, bu tür yöntemler doğrudan nesnenin hareketli olup olmamasından bağımsız olarak nesne tespiti yapmakta, hareket bilgisinin elde edilmesine olanak sağlayamamaktadır. Ek olarak, bu tür yöntemler yüksek irtifalarda insan gibi tespit edilmesi oldukça kritik olan bir hedefi tespit etmede düşük başarıma sahiptir. Hareketli nesne tespiti için optik akış tabanlı yöntemler de mevcuttur. Optik akış
- 20 tabanlı hareket tespit yöntemleri ise ani kamera hareketleri, ışıklandırma değişiklikleri olduğu durumda başarısız sonuçlar üretmektedir. Bazı güçlü optik akış yöntemleri ile bu problemlerin üstesinden gelinebilmektedir, ancak bu tür yöntemlerle de İHA uygulamaları için oldukça kritik olan düşük güç tüketimi ve gerçek zamanlı çalışma gereksinimini sağlanamamaktadır.

Yüksek irtifalarda insansız hava araçları (İHA) üzerinde bulunan kameralar aracılığıyla gözlemlenen bölgelerdeki hareketli nesnelere tespit edilip operatöre bilgi verilmesi oldukça kritik bir görevdir. Ancak, yüksek irtifalarda hareket tespiti oldukça zorlaşmakta ve mevcut algoritmalar çok sayıda hatalı tespit bilgisi üretmektedir. Bu da mevcut algoritmaların yüksek irtifalarda kullanılabilirliğine engel olmaktadır.

Tekniğin bilinen durumunda yer alan Deep Learning for UAV-based Object Detection and Tracking: A Survey başlıklı yayın dokümanında İHA tabanlı nesne tespiti ve izlemesi için derin öğrenmenin kullanılmasından bahsedilmektedir. İlgili dokümanda optik akış algoritmaları ve füzyon değerlendirmelerinden bahsedilmektedir.³

Tekniğin bilinen durumunda yer alan CN112286230A sayılı Çin patent dokümanında, insansız hava araçları alanıyla, özellikle bir insansız hava aracı görsel görüntü algoritması, engellerden kaçınma adımları ve bunların bir bilgi füzyonu işleme sistemi açıklanmaktadır.

Teknikte var olan yöntemler incelendiğinde hibrit bir yaklaşım ile yüksek hızda çalışma gereksinimini koruyup harmanlayarak yüksek irtifalarda başarılı nesne tespiti sağlayan buluş konusu yöntemin gerçekleştirilmesi ihtiyacı duyulmuştur.

Buluşun Amaçları

Bu buluşun amacı, hibrit bir yaklaşım ile yüksek hızda çalışma gereksinimini koruyup harmanlayarak yüksek irtifalarda başarılı nesne tespiti sağlayan bir yöntemin gerçekleştirilmesidir.

Buluşun bir başka amacı, kamera görüntülerinden doğrudan nesnelere tespit etmek yerine çok sayıda potansiyel nesne tespiti bilgisini sağlayan bir yöntemin gerçekleştirilmesidir.

Buluşun Ayrıntılı Açıklaması

Buluş, insansız hava araçlarıyla yüksek irtifalarda hibrit yaklaşımla hareketli hedeflerin tespit edilmesi yöntemi ile ilgili olup,

- 5 - İnsansız hava aracı (İHA) kamerası ile çekim yapılarak nesne görüntülerinin alınması,
- Alınan görüntülerin YOLOv4 yöntemi¹ kullanılarak aday nesnelerin tespit edilmesi,
- Kanade–Lucas–Tomasi (KLT) algoritması² ile optik akış hesaplamasının gerçekleştirilmesi,
- 10 - Kanade–Lucas–Tomasi (KLT) algoritması² ile hesaplanan optik akış bilgisi kullanılarak epipolar kısıtlar ve vektör-akış kısıtlarının hesaplanması,
- Üretilen nesne tespit bilgilerinin (merkez_x, merkez_y, genişlik, yükseklik) tespit füzyonu aşamasında birleştirilmesi,
- Son aşamada elde edilen çıktıların yer kontrol istasyonuna Real Time
15 Streaming Protocol (RTSP) aracılığıyla iletilmesi

adımlarını içermektedir.

Buluş konusu yöntemde, hibrit bir yaklaşım ile mevcut yöntemlerdeki yüksek hızda çalışma gereksinimini koruyup harmanlayarak yüksek irtifalarda başarılı tespit sonuçları üretilmektedir. Bunun için geliştirilen hibrit yaklaşımda derin öğrenme
20 tabanlı bir nesne tespit yöntemi “aday nesne tespitçisi” kullanılmaktadır. Yöntemde kullanılan aday nesne tespitçisi kullanılarak kamera görüntülerinden mevcut yöntemlerin aksine doğrudan nesnelere tespit etmek yerine çok sayıda potansiyel nesne tespiti bilgisi sağlanmaktadır. Aday nesne tespitçisi, kamera görüntüleri üzerinde hesaplanan optik akış hesabı ile sağlanan ek hareket bilgileri ile
25 birleştirilir. Optik akış hesabı üzerinde uygulanan epipolar kısıt, akış-vektör sınır kısıtları sayesinde hareketli noktaların tespiti düşük hata ile sağlanır. Optik akış ile kameradan alınan ardışık üç görüntü ile “üç imge farkı alma” işlemi uygulanır. Bu

yöntemlerden elde edilen sonuçlar “hedef füzyonu” aşamasında belirli bir eşik değerine göre hesaplanarak birleştirilir. Böylelikle mevcut yöntemlerin eksiklerini kapatarak güçlü bir hareket tespit yöntemi elde edilmiştir. Aynı zamanda, mevcut yöntemlere göre bu hibrit yaklaşım gerçek zamanlı İHA uygulamalarında önem arz eden yüksek hız, düşük güç tüketimi ve yüksek başarıımı dengeli bir şekilde sağlamaktadır.

Aday nesne tespiti:

Buluş konusu yöntemde, aday nesne tespiti aşamasında derin öğrenme tabanlı bir mimari ile aday nesnelere tespit edilir. Burada nesne tespiti yöntemi, doğrudan nesneyi tespit etmek için kullanılmak yerine çok sayıda aday nesne üretmek için kullanılmıştır. Bu sayede hareketli olan bölgelerin daha yüksek doğrulukta tespit edilmesi sağlanır. Aday nesne tespiti için YOLOv4 yöntemi kullanılmıştır.¹

Derin öğrenme tabanlı mimari hava görüntülerinden toplanmış insan ve araç örnekleri ile eğitilerek, araç ve insan tespiti yapabilen bir yöntem geliştirilmiştir. Burada tespit edilen nesnelere için çok düşük bir eşik değeri belirlenerek (0.1) yöntemin çok sayıda aday nesne üretmesi sağlanır. Yöntemde tespit edilen bir nesnenin o sınıfa ait olup olmadığı olasılığı formül I ile belirlenmektedir.

$$AdayNesne = Pr(Sınıf_i \vee Nesne) * Pr(Nesne) \text{ (Formül I)}$$

Burada $Pr(Sınıf_i \vee Nesne)$ nesnenin o sınıfa ait olma olasılığını, $Pr(Nesne)$ ise tespit bilgisinin nesne olma olasılığını göstermektedir. Burada 0.1 değerinden büyük olasılığa sahip olan her nesne, aday nesne olarak kabul edilir. Bu adımda üretilen aday nesnelere daha sonra füzyon adımında kullanılır. Aday nesnelere $(merkez_x, merkez_y, yükseklik, genişlik)$ şeklinde bir nesne kutusu ile ifade edilmektedir.

Optik Akış ile Üç İmge Farkını Alma:

Bu adımda kameradan alınan görüntülerden optik akış hesabı yapılarak hareket eden nesnelere tespit edilmektedir. Üç imge farkı alma işlemini yapabilmek için gerekli olan optik akış hesaplama adımında literatürde başarımını kanıtlamış bir algoritma olan Kanade–Lucas–Tomasi (KLT) algoritması kullanılmaktadır.²

KLT algoritması ardışık iki görüntü arasındaki değişimi hesaplayarak görüntülerdeki hareket değişimlerini hesaplar.

Bu adımda optik akış algoritmasını ardışık iki görüntüye uygulamak yerine üç görüntü üzerinde uygulanmıştır. Örneğin n. görüntü sabit tutularak, görüntü n ve görüntü n-1 arasında, görüntü n ve görüntü n+1 arasında optik akış hesabı yapılır.

$$OptikAkış1 = KLT(görüntü_n, görüntü_{n-1}) \text{ (Formül II)}$$

$$OptikAkış2 = KLT(görüntü_n, görüntü_{n+1}) \text{ (Formül III)}$$

Ortadaki görüntünün bir önceki ve bir sonraki görüntü ile arasındaki iki akış elde edildikten sonra bu optik akış bilgisi kullanılarak aşağıdaki formüle göre n-1 ve n+1 numaralı görüntüler n numaralı görüntü üzerine formül VI'deki şekilde uygulanmaktadır.

$$PH = \begin{bmatrix} -x_1 & -y_1 & -1 & 0 & 0 & 0 & x_1x'_1 & y_1y'_1 & x'_1 \\ 0 & 0 & 0 & -x_1 & -y_1 & -1 & x_1y'_1 & y_1y'_1 & y'_1 \\ -x_2 & -y_2 & -1 & 0 & 0 & 0 & x_2x'_2 & y_2y'_2 & x'_2 \\ 0 & 0 & 0 & -x_2 & -y_2 & -1 & x_2y'_2 & y_2y'_2 & y'_2 \\ -x_3 & -y_3 & -1 & 0 & 0 & 0 & x_3x'_3 & y_3y'_3 & x'_3 \\ 0 & 0 & 0 & -x_3 & -y_3 & -1 & x_3y'_3 & y_3y'_3 & y'_3 \\ -x_4 & -y_4 & -1 & 0 & 0 & 0 & x_4x'_4 & y_4y'_4 & x'_4 \\ 0 & 0 & 0 & -x_4 & -y_4 & -1 & x_4y'_4 & y_4y'_4 & y'_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h1 \\ h2 \\ h3 \\ h4 \\ h5 \\ h6 \\ h7 \\ h8 \\ h9 \end{bmatrix} = 0$$

(Formül IV)

20 Burada PH, görüntüleri ortadaki görüntü n'e yamamak için hesaplanacak iki

görüntü arasındaki dönüşüm matrisini ifade etmektedir. Bu matriste x ve y noktaları optik akış ile hesaplanan iki görüntü arasında hareket eden noktaları göstermektedir. [h1,h2, ..., h9] ise yukarıdaki matris çarpımı sonucu elde edilecek olan iki görüntü arasındaki dönüşümü hesaplayan noktaları belirtmektedir. Daha sonra n-1 ve n+1 numaralı görüntüler formül V ve formül VI kullanılarak ortadaki görüntü n'e yamanır.

$$görüntü_{n1}(x,y) = görüntü_{n-1} \left(\frac{h1 * x + h2 * y + h3}{h7 * x + h8 * y + h9}, \frac{h4 * x + h5 * y + h6}{h7 * x + h8 * y + h9} \right)$$

(Formül V)

$$görüntü_{n2}(x,y) = görüntü_{n+1} \left(\frac{h1 * x + h2 * y + h3}{h7 * x + h8 * y + h9}, \frac{h4 * x + h5 * y + h6}{h7 * x + h8 * y + h9} \right)$$

(Formül VI)

Bu iki fonksiyon ile ortadaki görüntü n üzerine n-1 ve n+1 görüntülerinin yamandığı iki adet kesişim görüntüsü ($görüntü_{n1}$, $görüntü_{n2}$) oluşturulur. Daha sonra bu kesişim görüntüleri ile n numaralı görüntünün mutlak farkı alınarak iki adet *imge farkı* görüntüsü elde edilir. Bu oluşturulan imge farkı görüntülerinde kamera görüntülerinde hareketli olan bölgeler kestirilebilir. Fakat hatalı tespitleri azaltmak için gri seviye imge farkı görüntülerine “binary thresholding” uygulanarak, imge farkı görüntüsündeki düşük yoğunluk değerine sahip pikseller hareketsiz bölge olarak atanır. Böylelikle ortadaki görüntü n için n-1 ve n+1 görüntüleri kullanılarak üç imge farkı alma işlemi tamamlanmış olur. Üç imge farkı işlemi sonucunda kamera görüntüsündeki hareketli bölgeler elde edilir. Bu hareketli piksel bölgeleri (*merkez_x*, *merkez_y*, *yükseklik*, *genişlik*) bilgilerinden oluşan bir nesne kutusuyla ifade edilir.

Epipolar Kısıt ve Vektör-Akış Kısıtlarını Hesaplama:

Bu adımda bir önceki adımda KLT yöntemiyle hesaplanan optik akış bilgisi kullanılarak epipolar kısıtlar ve vektör-akış kısıtları hesaplanmaktadır. Bu sayede,

kamera görüntülerinde hatalı bir şekilde hareketli olarak tespit edilen fakat gerçekte hareketsiz olan bölgeler ayıklanır. Öncelikle, bir önceki adımda KLT ile hesaplanan iki görüntü arasında karşılıklı gelen noktalar ile “temel matris F ” hesaplanır.

$$p_2 * F * p_1 = 0 \text{ (Formül VII)}$$

- 5 Burada p_2 ortadaki görüntü olan n görüntüsündeki, p_1 ise görüntü $n-1$ 'deki iki görüntü arasında birbirlerine karşılık gelen (x,y) ile ifade edilen pikselleri ifade etmektedir. Temel matris hesaplandıktan sonra, bu matris kullanılarak bir önceki adımda hareketli nokta olarak belirlenen her bir noktanın epipolar doğruya olan uzaklığına bakılır.

$$[M_A \ M_B \ M_C] = F * [p_{1,x} \ p_{1,y} \ 1] \text{ (Formül VIII)}$$

Bu adımda temel matris ve n görüntüsündeki noktalar çarpılarak M vektörü elde edilir.

$$mesafe = [M_A \ M_B \ M_C] * [p_{2,x} \ p_{2,y} \ 1]^T \text{ (Formül IX)}$$

- Elde edilen M vektörü görüntü $n-1$ 'deki noktalar ile çarpılarak her bir nokta için epipolar doğruya olan mesafe elde edilmiş olur. Eğer hareketli olarak belirlenen nokta epipolar doğruya belirli bir eşik değeri uzaklığından daha uzaksa, bu noktalar hareketli olarak kabul edilir. Eğer önceki adımda hareketli olarak belirlenen noktalar epipolar doğru üzerinde ise bu noktalar yanlış hesaplanmış noktalar olarak kabul edilir ve hareketsiz noktalar olarak düzeltilir. Aynı zamanda üç imge farkı alma adımında yanlış bir şekilde hareketsiz olarak belirlenen ancak bu adımda hesaplanan epipolar doğruya uzak olan yeni hareketli noktalar da tespit edilir. Bu tespit bilgileri yine diğer adımlarda olduğu gibi (*merkez_x*, *merkez_y*, *yükseklik*,
- 15
- 20

genişlik) bilgilerinden oluşan bir nesne kutusuyla ifade edilir.

Buluş konusu yöntemde, epipolar geometri temel alınarak, görüntüdeki piksellerin epipolar doğruya olan uzaklığı ve akış-vektör kısıtları hesaplamakta ve hareketli bir kameradan hareket eden nesnelerin tespit edilmesi sağlanmaktadır.

5 Hedef Füzyonu:

Önceki adımdaki yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçlar bu aşamada belirli bir eşik değerine göre birleştirilir. Birbirlerinin eksikliklerini kapatan üç farklı yöntemin her birinin ayrı ayrı ürettiği nesne tespit bilgileri (*merkez_x*, *merkez_y*, *genişlik*, *yükseklik*) tespit füzyonu aşamasında birleştirilir. Bu adımda, yöntemler tarafından üretilen tespit bilgilerinin gerçekten hareketli bir hedef olup olmadığını belirlemek için, nesnelerin en az iki yöntem tarafından tespit edilip edilmediği hesaplanır. Tespit bilgilerinin füzyonu formül X kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$KesişimOranı = \frac{(A \cap B)}{(A \cup B)} \text{ (Formül X)}$$

Burada her yöntemin tespit ettiği nesnelere için (A kutuları), diğer yöntemlerin tespit ettiği nesnelere (B kutuları) bir kesişimi olup olmadığına bakılır. Eğer iki yöntemin tespit ettiği nesne kutularının kesişim oranı 0.5'ten büyükse tespit bilgisi doğru olarak kabul edilerek nesne "hareketli nesne" olarak işaretlenmektedir. İşaretlenen bu nesnelere ait (*merkez_x*, *merkez_y*, *genişlik*, *yükseklik*) koordinat bilgileri görüntüler üzerine çizdirilerek veya ayrı bir formatta kontrol bilgisayarına iletilebilir.

Referanslar:

[1] Bochkovskiy, A., Wang, C. Y., & Liao, H. Y. M. (2020). YOLOv4: Optimal speed and accuracy of object detection. arXiv preprint arXiv:2004.10934.

[2] Lucas, B. D., & Kanade, T. (1981, April). An iterative image registration
5 technique with an application to stereo vision.

[3] Xin Wu, Wei Li, Danfeng Hong, Ran Tao, Qian Du (13 November 2021). Deep Learning for UAV-based Object Detection and Tracking: A Survey