



Detection and Tracking of Moving Objects with Unmanned Aerial Vehicles

Elif Ece ELMAS^{1,*} Mustafa ALKAN²

¹National Defence University, Alparslan Defence Sciences and National Security Institute, Department of Military Electronic Systems Engineering, 06654, Bakanlıklar/ANKARA

²Gazi University, Faculty of Technology, Department of Computer Engineering, 06500, Yenimahalle/ANKARA

Graphical/Tabular Abstract

Article Info:

Research article
Received: 4.11.2022
Revision: 28.11.2022
Accepted: 28.11.2022

Highlights

- Optical flow
- MATLAB GUI
- Unmanned Aerial Vehicle

Keywords

Unmanned Aerial Vehicle
Image Processing
Optical Flow
Motion Detection
Object Tracking

The usage areas of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) systems are becoming widespread and diversified thanks to the developments in technology. UAVs are used for many different purposes. In this article, an Optical Flow method is proposed for the detection and tracking of moving objects with images acquired by a camera on a flying UAV. A software using Optical Flow methods developed in the MATLAB Graphical User Interface environment has been developed for real-time detection and tracking of moving objects in the snapshots taken from the cameras of an UAV. For the selection of the most suitable optical flow algorithm for the solution of the problem, the methods used in Optical Flow methods, which are gathered under the main classes of difference techniques, field-based techniques, energy-based techniques and phase-based techniques, were applied and the results obtained were compared. General structure of detection and tracking of moving objects with a UAV (Figure A).

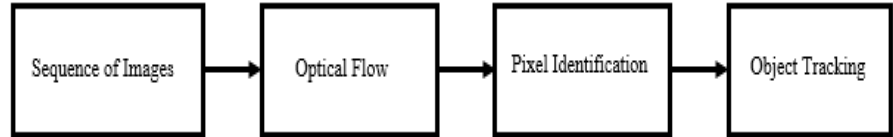


Figure A. General structure of detection and tracking of moving objects with a UAV

Purpose: In this article, it is aimed to implement a software that uses Optical Flow methods developed in the MATLAB Graphical User Interface environment for real-time detection and tracking of moving objects from snapshots taken from the cameras of a UAV.

Theory and Methods: Optical flow algorithms, which are frequently used in the literature, are examined for tracking moving objects in the images taken from the cameras of an unmanned aerial vehicle. Each method has been tested using the “Translating and Diverging Tree sequences”. The vectorial results of the tested algorithms of the direction and intensity in the image were examined.

Results: According to the results of the optical flow algorithm examined for tracking moving objects, it was seen that the best results for the “Translating and Diverging Tree sequences” were obtained from the Horn & Schunck and Lucas & Kanade methods.

Conclusion: In this article, real-time detection and tracking of moving objects from images taken from a vertical camera is done with a software using Optical Flow methods developed in MATLAB. In order to select the most suitable Optical Flow algorithm, the difference, area, energy and phase-based methods used in Optical Flow methods were tested in MATLAB environment and the results obtained were compared. An application has been written in the MATLAB GUI Interface environment to detect and track moving objects with the Optical Flow method from the images taken from the drone's camera. The obtained results were found to be quite successful.



Detection and Tracking of Moving Objects with Unmanned Aerial Vehicles

Elif Ece ELMAS^{1,*} Mustafa ALKAN²

¹Millî Savunma Üniversitesi, Alparslan Savunma Bilimleri ve Millî Güvenlik Enstitüsü, Askerî Elektronik Sistemler Mühendisliği Anabilim Dalı, 06654, Bakanlıklar/ ANKARA

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06500, Teknikokullar/ANKARA

Abstract

With the developments in technology, the usage areas of Unmanned Air Vehicle (UAV) systems become widespread and diversify. Nowadays, UAVs are used for many different purposes such as remote sensing, photogrammetry, traffic control and monitoring of large facilities. UAVs used for remote sensing and photogrammetry can be equipped with different sensor systems which can be in the form of video, digital, thermal and infrared camera according to their intended use. In this paper, an Optical Flow method is proposed for the detection and tracking of moving objects with the images obtained with the camera found in a Flying UAV. The main problem to be solved when trying to detect objects moving from a flying UAV is to separate the changes in the image caused by the movement of the vehicle from moving objects. Within the scope of this paper, it was done with MATLAB Graphical User Interface developed Optical Flow methods for real-time detection and tracking of moving objects from snapshots taken from a quadcopter camera. Field-based techniques, energy-based techniques and phase-based techniques used in Optical Flow methods were tested and the results obtained were compared in order to select the most suitable Optical Flow algorithm.

Makale Bilgisi

Araştırma makalesi
Başvuru: 4.11.2022
Düzeltilme: 28.11.2022
Kabul: 28.11.2022

Keywords

Unmanned Aerial Vehicle
Image Processing
Optical Flow
Motion Detection
Object Tracking

Anahtar Kelimeler

İnsansız Hava Aracı
Görüntü İşleme
Optik Akış
Hareket Tespiti
Nesne Takibi

İnsansız Hava Araçlarıyla Hareketli Nesnelerin Tespit ve Takibi**

Öz

Teknolojide elde edilen gelişmelerle birlikte İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemlerinin kullanım alanları yaygınlaşmakta ve çeşitlenmektedir. Günümüzde İHA'lar uzaktan algılama, fotogrametri, trafik denetimi ve büyük tesislerin gözetimi gibi birçok farklı amaçla kullanılmaktadırlar. İHA'lar tarafından fotogrametri ve uzaktan algılama görevlerinin yerine getirilmesi istediğinde video, dijital, termal ve kızıl ötesi kamera gibi farklı algılayıcı sistemler yerleştirilebilmektedir. Bu makalede uçan bir İHA'da bulunan kamerayla elde edilen görüntülerle hareketli nesnelerin tespiti ve takibi için bir Optik Akış yöntemi önerilmiştir. Uçan bir İHA'dan hareket eden nesnelere tespit etmeye çalışırken çözülmesi gereken asıl problem, aracın hareketinin neden olduğu görüntüdeki değişiklikleri hareketli nesnelere ayırmaktır. Bu makalede, bir İHA'nın kameralarından alınan anlık görüntülerden hareketli nesnelerin gerçek zamanlı olarak tespit ve takip edilmesi için MATLAB Grafiksel Kullanıcı Arayüzü ortamında geliştirilen Optik Akış yöntemlerinin kullanıldığı bir yazılım ile yapılmıştır. En uygun Optik Akış algoritmasının seçilebilmesi için Optik Akış yöntemlerinde kullanılan; fark teknikleri, alan tabanlı teknikler, enerji tabanlı teknikler ve faz tabanlı teknikler ana sınıfları altında toplanan yöntemler uygulanarak, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Teknolojide elde edilen gelişmelerle birlikte İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemlerinin kullanım alanları yaygınlaşmakta ve çeşitlenmektedir. İHA'lar, uzaktan algılama, istihbarat ve güvenlik amaçlı kullanım, kıyı ve sahil şeritlerinin izlenmesi, hassas bölgelerin gözlenmesi (havaalanları, yollar, tren rayları, nehirler,

** Bu çalışma, Bir İnsansız Hava Aracı Gerçekleştirme Ve Hareketli Nesnelerin Tespit Ve Takibinde Kullanımı tezinden düzenlenmiştir.

barajlar, boru hatları, vb.), haritacılık, arama/kurtarma çalışmaları, meteorolojik verilerin takibi, yangın izleme, tarımsal uygulamalar, kentsel dönüşüm çalışmaları, doğal afetlerin gözlemlenmesi, şehir içi trafik uygulamaları vb. alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [1].

“İHA, kendisini kullanan insanı taşımayan, kaldırma kuvveti oluşturmak için aerodinamik kuvvetleri kullanan, kendi başına uçabilen veya uzaktan kumanda edilebilen, sarf edilebilir veya yeniden kullanılabilir ve öldürücü veya öldürücü olmayan faydalı yük taşıyabilen motorlu hava aracı olarak tanımlanmaktadır [2]”. İHA’lar tarafından icra edilecek görev özelinde olmak üzere, görüntüleme, veri toplama, ölçüm yapma, vb. işlemlere yönelik olarak taşınan tüm sistemler, hedefin algılanması-işaretlenmesi, algılayıcı sistemleri, mühimmatlar, kendini koruma sistemleri ve iz azaltıcı/artırıcı sistemler Görev Sistemleri ya da Faydalı Yük olarak tanımlanmaktadır.

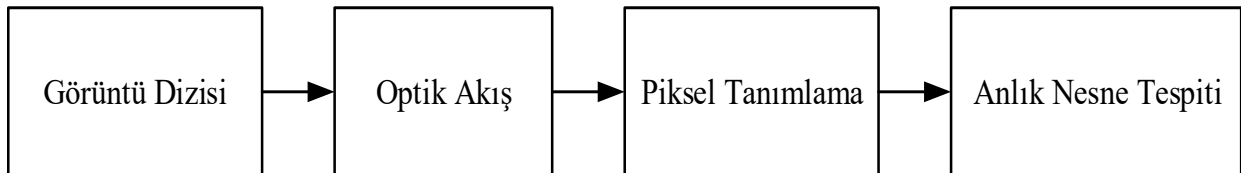
Günümüzün görev sistemlerinin önemli bir kısmını görüntü sensörleri oluşturmaktadır. Günümüzde Elektro Optik (EO) ve Kızılötesi (IR) kameralar ile Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) sistemleri sıklıkla kullanılan görüntü sensörlerindedir. Bu sensörlere ilaveten askeri uygulamalar kapsamında kullanılan Hiperspektral ve Multispektral kameralar da yer almaktadır. Lazer mesafe bulucu ve lazer işaretleyici sistemler kullanılarak hedeflerin mesafe ve hız bilgisi anlık olarak yüksek doğrulukta alınmaktadır. Ayrıca lazer güdümlü mühimmatlar için de hedefler işaretlenebilmektedir. Sinyal istihbaratının sağlanması amacıyla haberleşme ve elektronik istihbarat faydalı yükleri ile yön belirleme (D/F) sistemlerinden fazlaca faydalanılmaktadır. Kimyasal, biyolojik radyolojik ve nükleer (KBRN) tespit sensörleri, ile manyometreler, karbondioksit, metan ve hidrokarbon tespit eden sensörlerden İHA’larda yararlanılmaktadır. Aktif uzaktan algılama yöntemlerinden LIDAR (Light Detection and Ranging) da uzaklık ölçümü için lazer darbeleri ve ışık kullanarak arazinin ve yerdeki nesnelerin üç boyutlu görüntülerinin hassas olarak ölçülerek belirlenmesini sağlamaktadır. Haberleşme için kullanılan faydalı yükler aracılığıyla ses ve veri, çok daha uzun mesafelere ya da normal yöntemlerle kapsanamamış olan alanlara iletilebilmektedir [2,3].

Bu makalede, bir İHA da bulunan normal bir kameradan alınan anlık görüntülerden hareketli nesnelerin gerçek zamanlı olarak tespit ve takip edilmesi için bir Optik Akış yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem, kameradan alınan görüntü çerçevelerinin bir optik akış algoritması ile karşılaştırılarak değişikliklerin izlenmesine dayanmaktadır [4].

2. HAREKETLİ NESNELERİN TESPİT VE TAKİP YÖNTEMLERİ (DETECTION AND TRACKING METHODS OF MOVING OBJECTS)

Makalenin bu bölümünde, bir İHA’nın kameralarından alınan görüntülerden hareketli nesnelerin tespit ve takip edilmesi ele alınmıştır. Sayısal görüntülerden hareketli nesne tespiti ve takibi, bilgisayarlı görü [5] (computer vision) alanı içerisindedir. Bilgisayarlı görüş alanında hareket analizi en önemli araştırma başlıklarından birisidir. Görüntülerdeki hareket analizi görüntü işleme konusundaki pek çok problemin, görsel takip, hareket yapısı vb gibi, temelini oluşturmaktadır [6].

Uçan bir İHA’dan hareket eden nesnelere tespit etmeye çalışırken çözülmesi gereken asıl problem, aracın hareketinin neden olduğu görüntüdeki değişiklikleri hareketli nesnelere ayırmaktır. Bu durumda problem hareketli kamerayla hareketli nesnelerin tespiti gibi çözülmesi çok daha zor bir hal almaktadır [7-10]. Şekil 1’de hareketli nesnelerin bir İHA ile tespit ve takip işleminin genel yapısı görülmektedir.



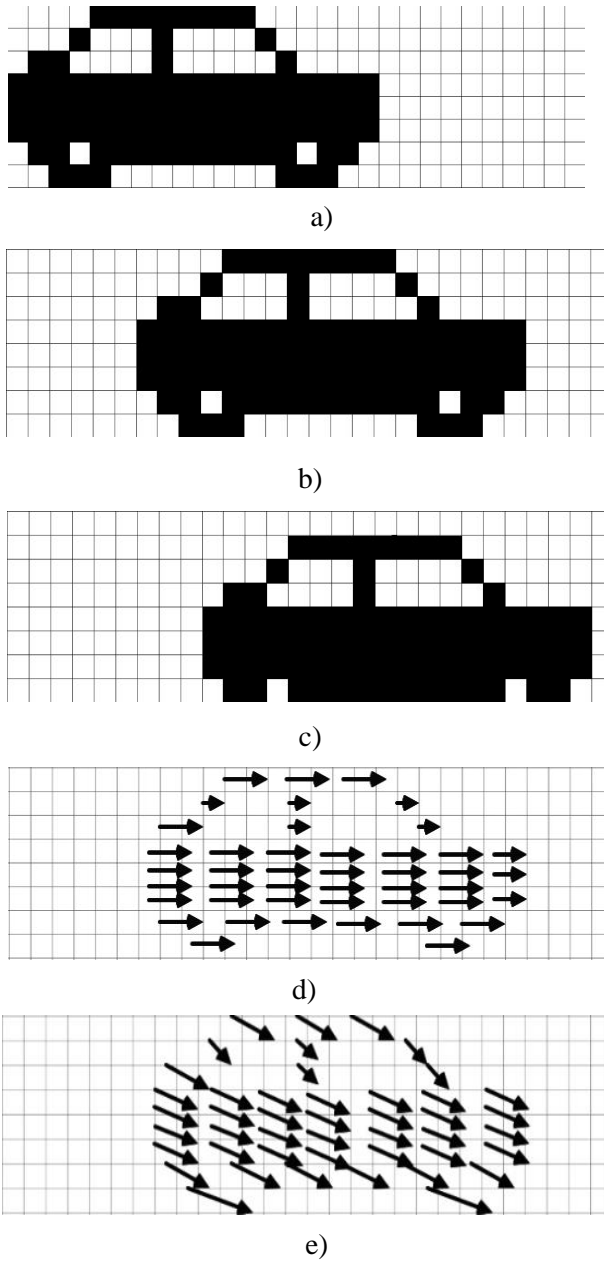
Şekil 1. Hareketli nesnelerin bir İHA ile tespit ve takip işleminin genel yapısı (Figure 1. General structure of detection and tracking of moving objects with a UAV)

Görüntü dizilerinin işlenmesindeki temel problem Optik Akışın veya görüntü hızlarının ölçülmesi zorluğudur. Optik Akış, iki boyutlu hareket alanına yaklaşık bir hesaplama yapmaktadır [11-16]. Şekil 1’de görülen tespit ve takip işleminde bir görüntü dizisinden hareketli nesnelerin, konum, boyut ve hız gibi özellikleri elde edilmektedir.

2.1 Optik Akış (Optical Flow)

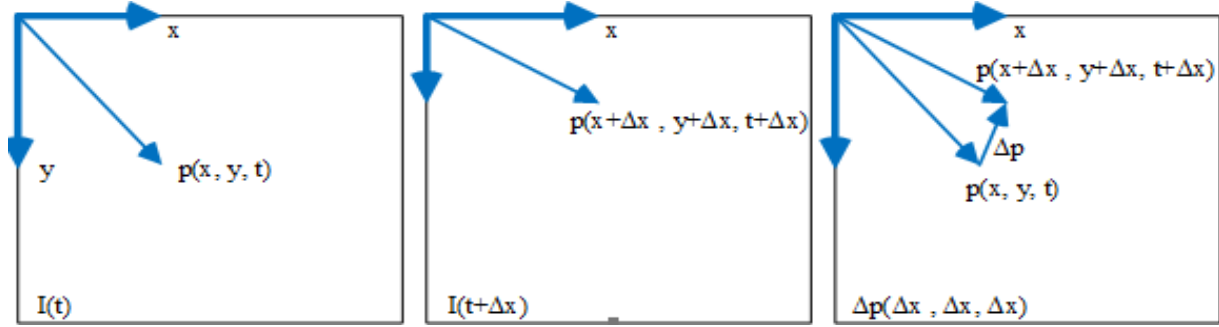
Görüntü dizilerinin işlenmesindeki temel problem Optik Akış'ın veya görüntü hızlarının ölçülmesi zorluğudur. Optik Akış, iki boyutlu hareket alanına yaklaşık bir hesaplama yapmaktadır [17,18].

Şekil 2 a, b ve c'de bir otomobilin üç görüntü karesi boyunca hareketlerini görülmektedir. Şekil 2 d ve e de ise Optik Akış algoritmasının otomobilin birinci ile ikinci görüntü arasındaki ve ikinci ile üçüncü görüntü arasındaki sınır piksellerinin yer değişimlerinin vektörel olarak hız ve yönünü göstermektedir. Şekil 2 d'de otomobil soldan sağa doğru aynı düzlem üzerinde düz bir şekilde ilerlediği için Şekil 2 d'de görüldüğü gibi ilerlemenin yönü ve şiddeti de vektörel olarak aynı yönde olduğu görülmektedir. Otomobil Şekil 2 b'deki konumundan Şekil 2 c konumuna geçerken hem ileri yönde hareket etmiş hem de bir kare aşağı yönde ilerlemiştir. Bu nedenle Şekil 2 e'de görüldüğü gibi ilerlemenin yönü ve şiddeti de değişmiştir. Bu şekildeki görüntülerden tespit edilen nesne hareketlerinin vektörel gösterime Optik Akış denilmektedir.



Şekil 2. Bir otomobilin hareketinin vektörel olarak yönü ve şiddeti (Figure 2 Vector direction and intensity of a car's movement)

Bilindiği gibi 2-boyutlu bir P noktası zamanın içinde $p(x, y, t)$ ile belirtilir. Burada P noktası $I(t)$ çerçeve görüntüsünün elemanıdır ve $p(x, y, t) \in I(t)$ 'dir. Görüntü uzayında ise bir köşe noktası, $p(x, y)$ koordinatları ile gösterilmektedir. Belirtilen (x, y) koordinatları, piksel koordinat sisteminde tanımlanabilmektedir. Bir t anında alınan bir video çerçeve görüntüsü $I(t)$ olarak ifade edilirse, bu çerçeveye göre, $p_i(x_i, y_i, t)$ noktaları, ait oldukları $I(t)$ çerçeve görüntülerinde, başlangıç piksel koordinat sisteminin orijininde, ucu p_i de bulunan $p_i(x_i, y_i, t)$ yer vektörleri ile ifade edilebilir. Bu durum Şekil 3'te gösterilmiştir [19].



Şekil 3. Optik akış (Figure 3 Optical Flow)

Şekil 3'de görüldüğü üzere, yer değiştirme vektörlerinin geçen Δt süresiyle ölçeklendirilmesiyle, noktaların anlık hız vektörleri, elde edilmektedir. Δp yer değiştirme vektörleri 2-boyutlu olduğundan, v hız vektörleri de 2-boyutludur. Hız vektörlerinin $v(v_x, v_y)$ şeklinde iki bileşeni vardır. O halde, izleme amacıyla belirlenen her bir nokta için, ardışık iki çerçevenin işlenmesinden sonra bir hız vektörü veya eşdeğer olarak bir yer değiştirme vektörü karşılık gelmektedir.

Optik Akış hesaplamaları için birçok farklı yöntemler geliştirilmiştir. Barron ve diğerleri [20] yaptıkları çalışmada Optik Akış için geliştirilmiş farklı algoritmaların özelliklerini ve başarımlarını incelemiştir. Thacker ve diğerlerinin [21] 2008 yılında yayınladıkları Optik Akış tekniklerinin başarımları ile ilgili çalışmada her bir yöntem ayrıntılı bir şekilde irdelenmiştir. Raudies'in [22] yaptığı çalışmayı genişleterek, başka Optik Akış algoritmalarının da özellikleri ile ilgili yaptığı kapsamlı çalışmanın sonuçlarını 2013 yılında yayınlamıştır. Raudies bu makalesinde, Optik Akış için geliştirilen algoritmaların MATLAB uygulamaları ile gerçek görüntü dizilerinden elde edilen hareket tahminleri vektörel çıktıları ile göstermiştir. Optik akış yöntemleri 4 ana başlık altında sınıflandırılmaktadır [20][23].

1. Fark Yöntemleri, uzamsal-zamansal şiddet türevlerinden görüntü hızını hesaplamaktadır. Bu yöntemler, görüntü parlaklığının uzamsal-zamansal türevlerini temel alan kısıtları kabul etmektedir. Çözüm denklemleri, görselleştirilmiş parçacık görüntü modelinin hemen hemen her yerde yumuşak değiştiği varsayarak, Lagrange türevi kullanılarak türetilmektedir. Bu yöntemlere Horn & Schunck [24], Lucas & Kanade [25], Nagel [26], Uras ve diğ. [27] örnek olarak verilebilir.

2. Eşleştirme Yöntemleri, ilk görüntüdeki piksellerin komşuları ile ikincil piksellerin adayları arasındaki benzerlik özelliklerini eşleştirerek görüntü yer değişimlerini hesaplamaktadır. Bu yöntemler, diferansiyel yöntemlere kıyasla gürültüye karşı daha az hassastır. Ancak, gereken karşılaştırmaların sayısı göz önüne alındığında, işlem zamanı uzundur. Bazı yöntemler hesaplama süresini azaltan özellik çıkarma teknikleriyle birlikte kullanılır. Bu yöntemlere Anandan[28], Little ve diğ.[29] örnek olarak verilebilir.

3. Enerji Temelli Yöntemler hız ayarlı filtre çıkısındaki enerji bilgisini kullanırlar. Bu sınıftaki bazı yöntemler Fourier domenine dayanmaktadır. Bu yöntemlere Heeger[30], Shizawa & Mase[31] örnek olarak verilebilir.

4. Faz Temelli Yöntemler hız ayarlı filtre çıkısındaki faz bilgisini kullanırlar. Bu yöntemlere Fleet & Jepson[32], Sun ve diğ.[33] örnek olarak gösterilebilir.

Bütün farklılıklarına rağmen, bu yöntemlerin çoğu üç adımlık bir süreç izlemektedirler [20]:

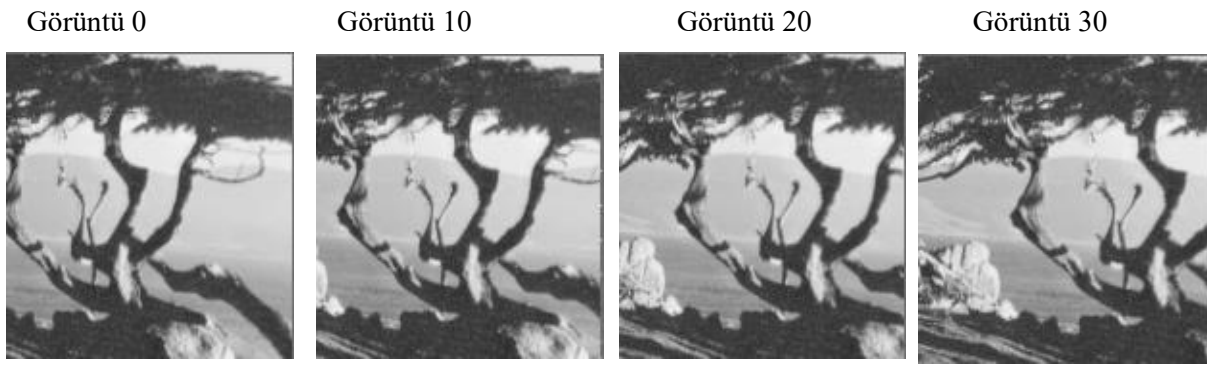
1. Görüntü de istenilen işaret yapısını edinmek ve işaret/gürültü oranını arttırmak amacıyla alçak-geçiren veya bant-geçiren filtre kullanarak ön-filtrelenmesi ya da yumuşatılması,

2. Hızın normal bileşenlerinin hesaplanması için uzay-zamansal türevlerin elde edilmesi gibi temel ölçümlerin bulunması,
3. İki boyutlu akış alanının üretebilmesi amacıyla ön filtreleme ve temel hesaplamaların entegrasyonunun gerçekleştirilmesi.

Optik akış yöntemlerinin karşılaştırması (Comparison of optical flow methods)

Makalede kullanılmak üzere en uygun Optik Akış algoritmasının seçilebilmesi için Raudies'in yaptığı çalışma temel alınarak, Optik Akış yöntemlerinde kullanılan fark, alan eşleştirme, enerji tabanlı ve faz tabanlı ana sınıfları altında toplanan yöntemler MATLAB ortamında uygulanarak, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Her bir yöntem "Bir Ağacın Kayan Görüntü Dizisi [34]" kullanılarak sınanmıştır. Bir Ağacın Kayan Görüntü Dizisini oluşturan imgelerin dizinin başından ortasından ve sonlarından alınan birkaç örneği Şekil 4'te görülmektedir.



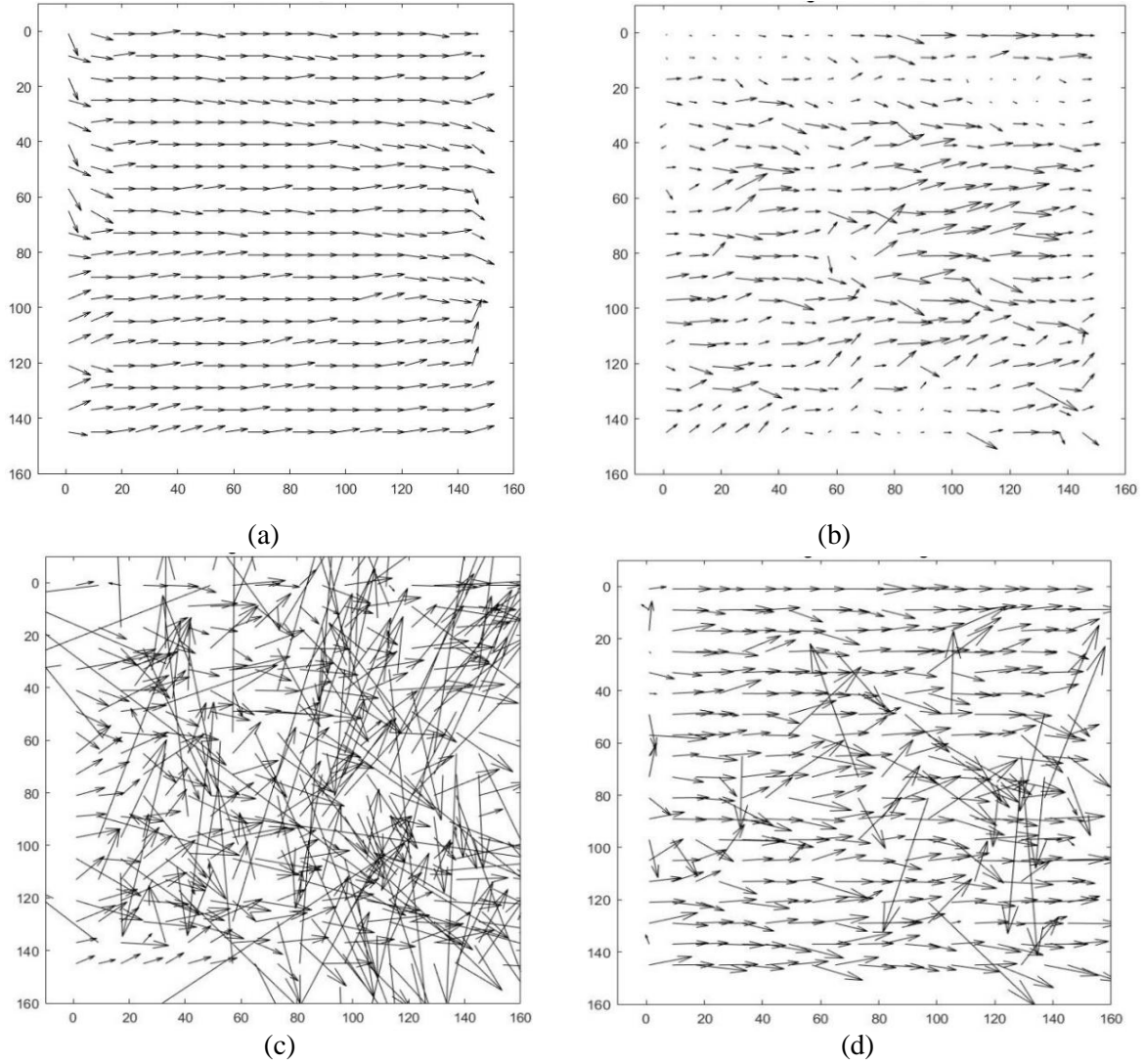
Şekil 4. Bir Ağacın Kayan Görüntü Dizisinin birkaç imge örneği (Figure 4 Example of several images of a Tree's Floating Image Sequence)

Bir Ağacın Kayan Görüntü Dizisi David Fleet tarafından üretilmiştir. Bir Ağacın Kayan Görüntü Dizisi, optik akış yöntemlerinin, kamera hareket tahmininin ve hareket algoritmalarının başarımlarının sınanması ve niceliksel değerlendirilmesi için yaygın olarak kullanılmıştır. Dizideki görüntüler, 150x150 piksellik gri seviyeli görüntülerden oluşmaktadır. Görüntüler [34] numaralı referanstan alınmıştır.

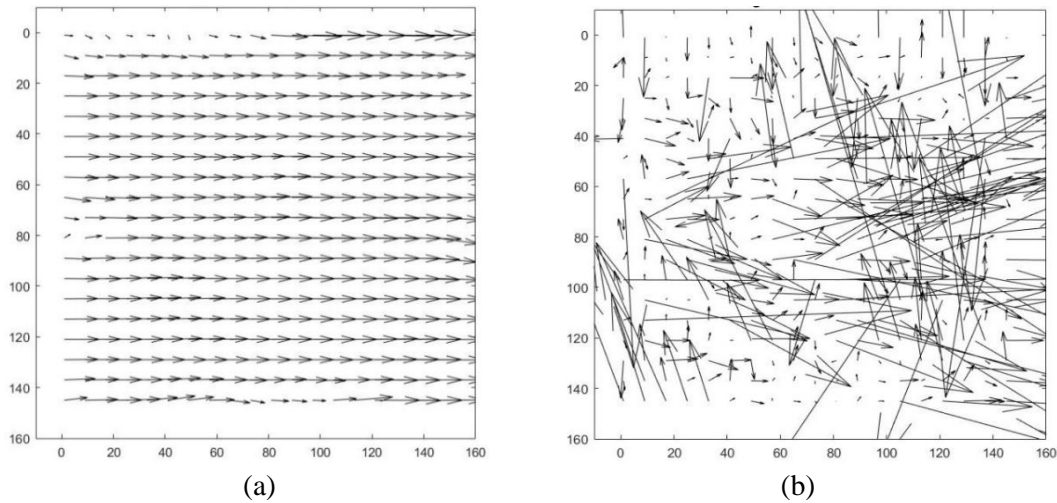
Şekil 4'te gösterilen Bir Ağacın Kayan Görüntü Dizisi kullanılarak, farklı algoritmalara göre elde edilen yön ve şiddete ait vektörel sonuçlar Şekiller 5 – 8'de verilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan değerlendirme kriterleri olarak açısız hata ve akış bitiş noktası için ortalama ve standart sapma değerleri ve akış alanının yoğunluğu kullanılmıştır. Her bir optik akış yöntemi, aynı görüntü dizisi ile değerlendirilmiş ve hata sonuçları ve yoğunluk Çizelge 1'de verilmiştir. Değerlendirme çizelgesinde, AHO, açısız hata için derece cinsinden ortalama değerini, ABNO, her pikseldeki akış bitiş noktası için piksel cinsinden ortalama değerlerini, AHSS, açısız hatanın derece cinsinden standart sapmasını, SNSS, akış son noktası için piksel cinsinden standart sapmasını göstermektedir.

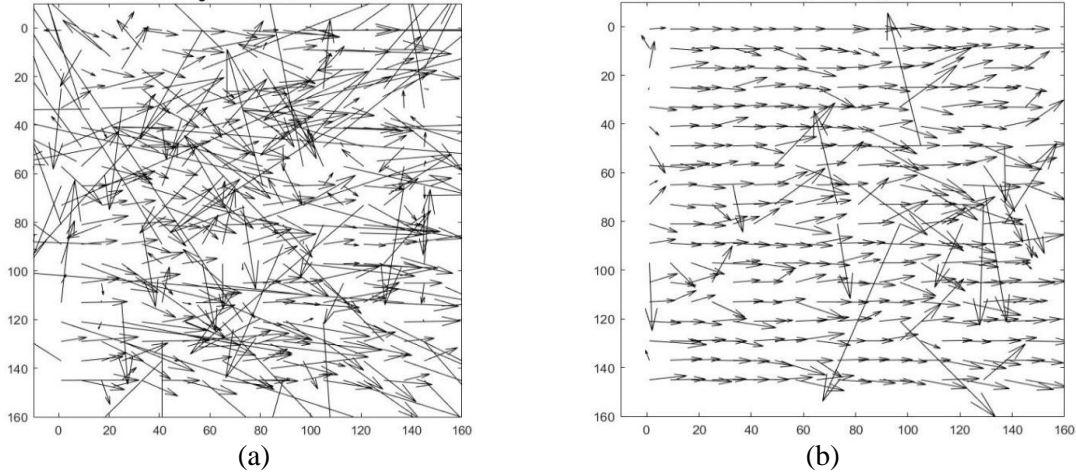
Yoğunluk ölçümü için, kare başına 15 pikselden daha büyük yer değiştirmelerin sınanan yöntemden kaynaklanamayacağı kabul edilmiştir. Bu nedenle, hata hesaplamasında yalnızca kare başına 15 pikselden küçük akış normuna sahip pikseller dikkate alınmıştır. Ölçülen yoğunluk, geçerli ya da var sayılan akış ölçümleriyle görüntüdeki piksellerin yüzdesini göstermektedir.



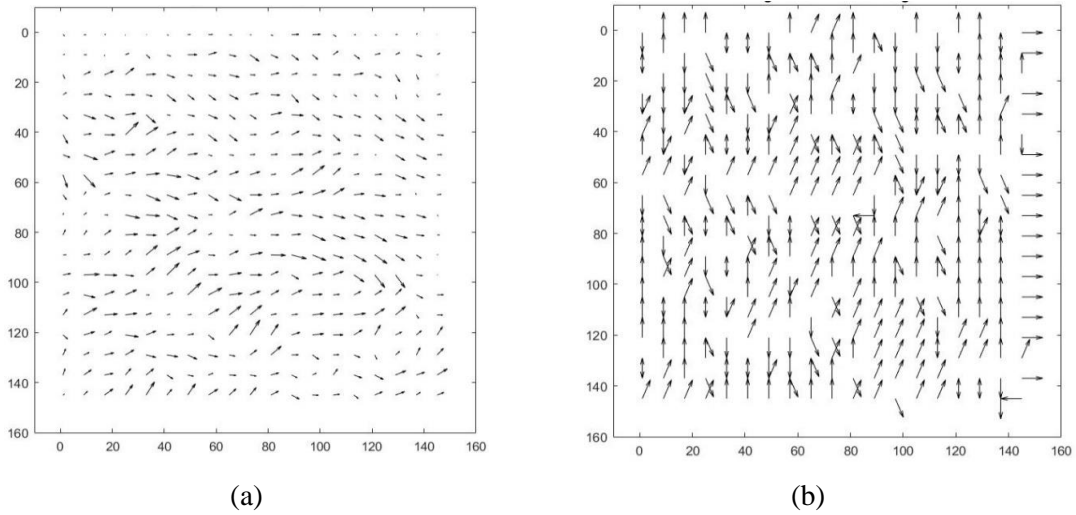
Şekil 5. Bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi a) Horn Schunck b) Lucas Kanade c) Nagel d) Uras ve diğ. (Figure 5 Example of a scrolling image sequence of a tree a) Horn Schunck b) Lucas Kanade c) Nagel d) Uras et al.)



Şekil 6. Bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi a) Anandan b) Little ve diğ. (Figure 6 Example of a scrolling image sequence of a tree a) Anandan b) Little et al.)



Şekil 7. Bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi a) Heeger b) Shizawa & Mase (Figure 7 Example of a scrolling image sequence of a tree a) Heeger b) Shizawa & Mase)



Şekil 8. Bir ağacın kayan görüntü dizisinin örneklenmesi a) Fleet & Jepson b) Sun ve diğ. (Fig. 8 Example of a scrolling image sequence of a tree a) Fleet & Jepson b) Sun et al.)

Değerlendirme çizelgesinde, AHO, açılma hatası için derece cinsinden ortalama değerini, ABNO, her pikseldeki akış bitiş noktası için piksel cinsinden ortalama değerlerini, AHSS, açılma hatasının derece cinsinden standart sapmasını, SNSS, akış son noktası için piksel cinsinden standart sapmasını göstermektedir.

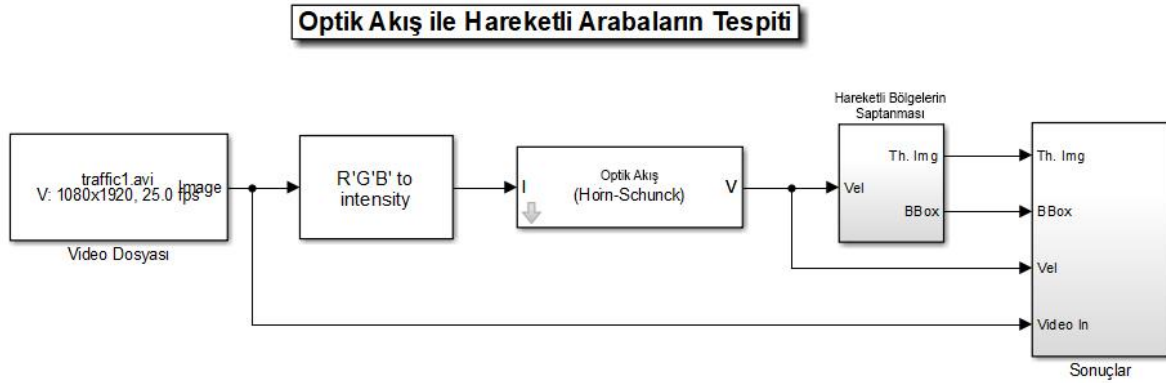
Çizelge 1. Farklı optik akış yöntemleri için hata sonuçları ve yoğunluk (Table 1. Error results and density for different optical flow methods)

	AHO	ABNO	AHSS	SNSS	Yoğunluk
Horn & Schunck	51,673	3,604	39,182	3,211	97,313
Lucas & Kanade	45,100	1,527	42,135	3,394	96,680
Nagel	62,099	4,979	47,853	4,259	65,989
Uras ve diğ.	75,877	2,592	49,535	4,258	76,233
Anandan	54,993	5,702	50,770	3,728	75,531
Little ve diğ.	74,178	5,323	47,227	4,493	55,437
Heeger	83,655	3,997	48,651	4,766	81,866
Shizawa & Mase	47,542	4,800	43,743	3,553	84,684
Fleet & Jepson	61,576	4,373	45,775	3,132	90,975
Sun ve diğ.	41,244	4,030	49,683	4,728	55,008

Sonuçlara göre, Horn & Schunck yönteminin daha yoğun sonuç verdiği, Sun ve diğ. Yönteminin ise en seyrek sonuçları verdiği görülmektedir. Açısal hata ortalamasında ise Shizawa & Mase'nin daha iyi, Sun ve diğ. ve Lucas & Kanade'nda kötü sonuçlar vermediği görülmektedir. Akış bitişi noktası ortalaması değerleri Lucas & Kanade'nı en iyi, Uras ve diğ.'nin ise yeterli olabileceği değerlendirilmektedir. Standart sapmaların tüm dizilerde neredeyse aynı olduğu, aralarında çok belirgin farkların bulunmadığı görülmektedir. Sonuçlara göre bir ağacın kayan görüntü dizisi için değerlendirme çizelgesine göre en iyi sonuçları Horn & Schunck ve Lucas & Kanade yöntemlerinden elde edildiği görülmektedir.

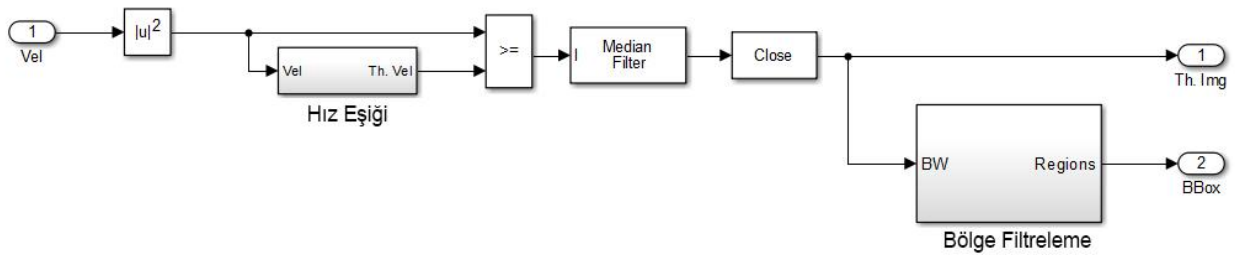
3. MATLAB SİMULİNK UYGULAMASI (MATLAB SIMULINK APPLICATION)

MATLAB özellikle mühendislik alanında en çok yararlanılan programlardan biri [35]'dir. Simulink, ise MATLAB ile bütünleşik olarak çalışan görsel benzetim ortamıdır. MATLAB Simulink, çok zengin bir blok kütüphanesi barındırmaktadır ayrıca sürekli zamanlı ve ayrık zamanlı sistemleri içeren hibrit sistemleri desteklemektedir. Benzetimi yapılmak istenen sistem, bu blokları sürükle-bırak yöntemiyle çok kolay bir şekilde kısa sürede kurulabilmektedir. MATLAB Simulink ortamında geliştirilmiş "Optik Akış Kullanarak Otomobil Takip Etme" uygulamasına ait bir Simulink modeli Şekil 9'da verilmiştir.



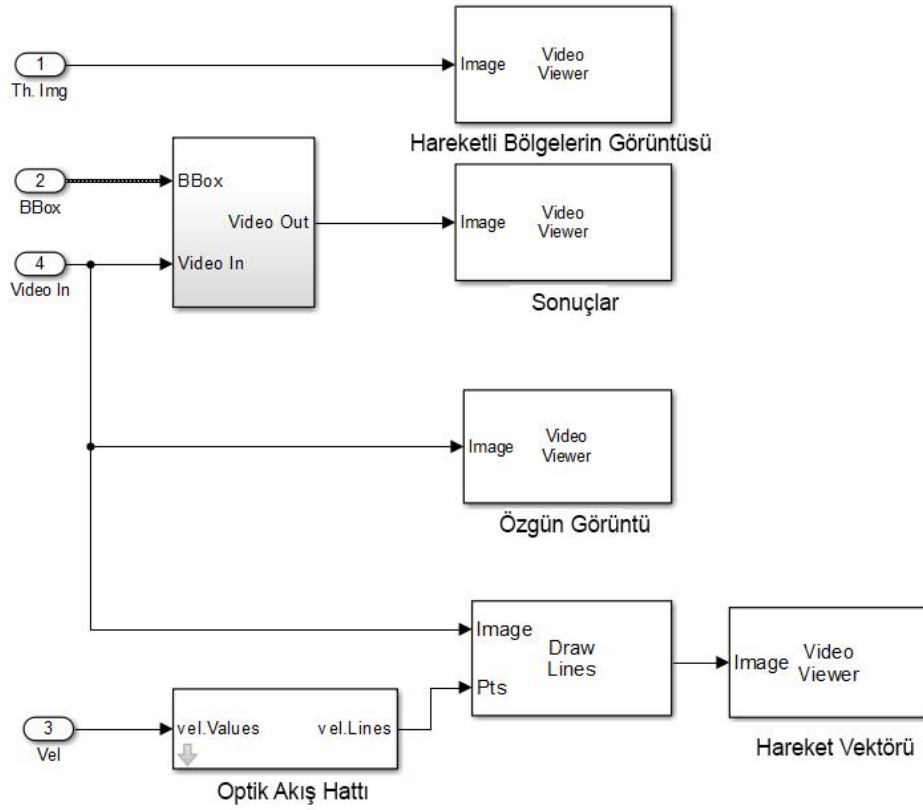
Şekil 9. Optik Akış Kullanarak Otomobil Takip Etme uygulamasına ait bir Simulink modeli (Figure 9 A Simulink model of Automobile Tracking Using Optical Flow)

Şekil 9'da bulunan Hareketli Bölgelerin Saptanması Bloku Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Hareketli Bölgelerin Saptanması Bloku Simulink modeli (Figure 10 Simulink model of the Detection of Movable Zones Block)

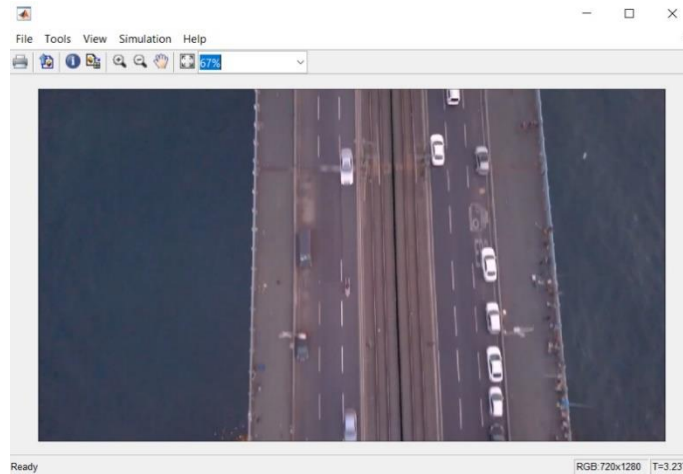
Şekil 9'da gösterilen Sonuçlar Bloku Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. Sonuçlar Bloku'nun Simulink modeli (Figure 11 Simulink model of Results Block)

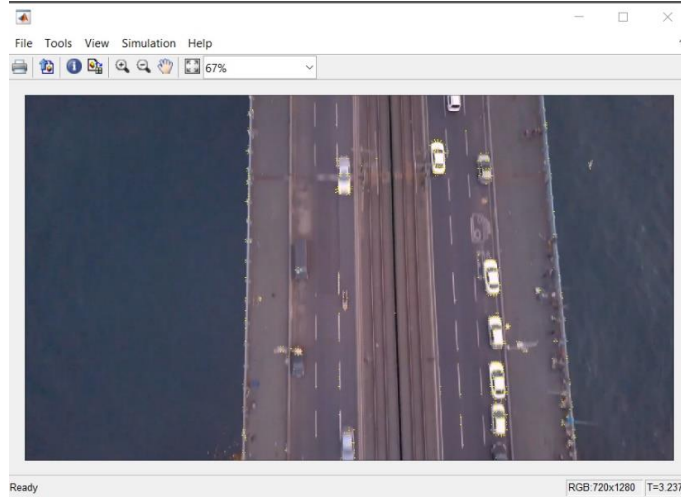
Şekillerden de görüldüğü gibi Simulink modeli temel olarak “Hareketli Nesnelere Bulma” ve “Nesne Sınır Kutusu Belirleme” olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Hareketli Nesnelere Bulmak için, Simulink'teki optik akış bloğu kullanılmaktadır. Optik akış bloğu, görüntü yoğunluğu değerini okumakta ve optik akış yöntemlerinden birini kullanarak hareketli nesnelere bulmaktadır. Hareketli nesneyi görüntünün arka planından ayırdıktan sonra, nesne için sınır kutusunu ve karşılık gelen kutu alanını elde etmek için blob analiz bloğundan yararlanılmaktadır. Burada sadece belirli bir boyuttan daha büyük olan sınır kutuları görüntülenmektedir. Kutunun boyutları izlenecek nesneye göre belirlenmektedir.

Şekiller 12-15'te Optik Akış Kullanarak Otomobil Takip uygulamasının benzetim sonuçları verilmiştir. Simulink modelinde diğer Optik Akış yöntemleri de bulunmasına rağmen Şekillerde gösterilen sonuçlar sadece Horn Schunck yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Şekiller, video 3,237'ci saniyede iken modelin çalışması dondurularak alınmıştır. Şekil 12'de 3,237'ci saniyedeki özgün görüntü görülmektedir.



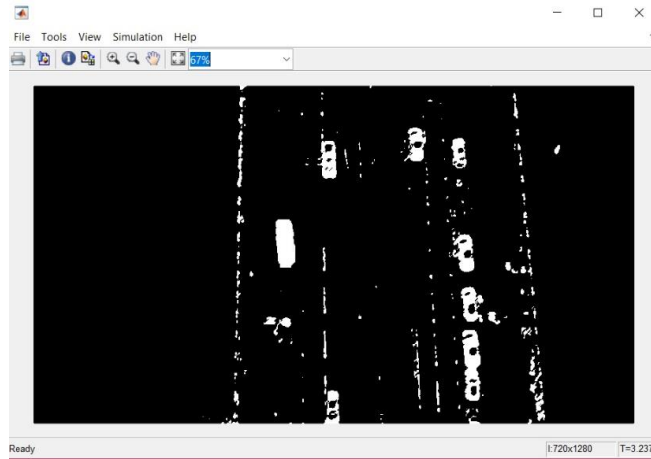
Şekil 12. Özgün görüntü (Figure 12 Original image)

Şekil 13'de 3,237'ci saniyedeki hareketli araçların vektörel yön ve hızları görülmektedir.



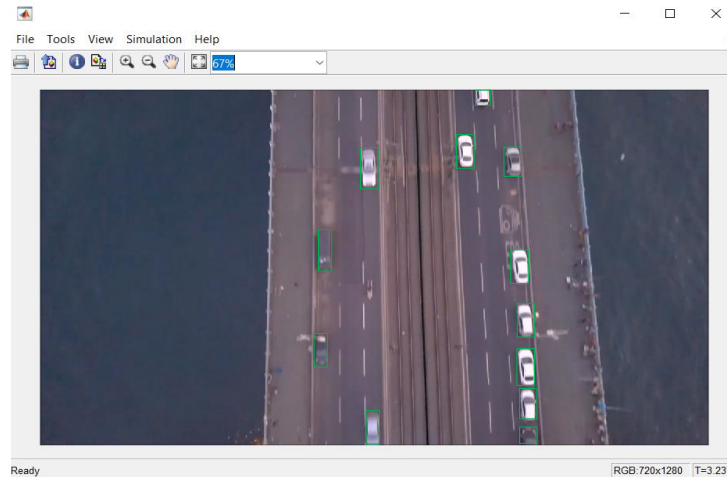
Şekil 13. Hareketli araçların vektörel yön ve hızları (Figure 13 Vector directions and speeds of moving vehicles)

Şekil 14'te 3,237'ci saniyedeki hareketli araçların ikili sayı özellik görüntüleri görülmektedir.



Şekil 14. Hareketli araçların ikili sayı özellik görüntüleri (Figure 14 Binary number property images of moving vehicles)

Şekil 15'te 3,237'ci saniyedeki hareketli araçlar çerçeve içinde görülmektedir.



Şekil 15. Hareketli araçlar (Figure 15 Moving vehicles)

4. İNSANSIZ HAVA ARACI SİSTEMİNİN YAZILIM VE DONANIMI (UNMANNED AERIAL VEHICLE SYSTEM SOFTWARE AND HARDWARE)

Bu bölümde, bir İHA genel sistemin ve alt sistemlerin için gerekli olan donanım ve yazılım mimarileri verilmiştir.

4.1 İnsansız Hava Aracı (Unmanned Aerial Vehicle)

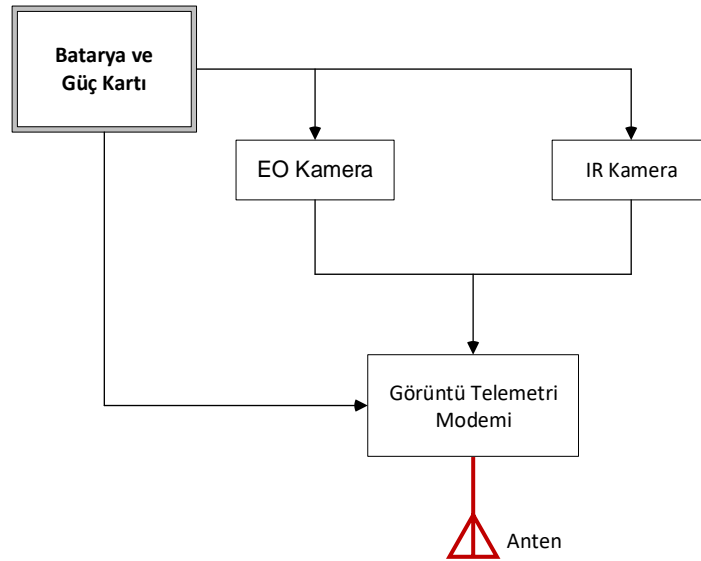
Bu makalede İHA olarak bir dörütuçar gerçekleştirilerek testlerde kullanılmıştır. Dörütuçarlar, 6 serbestlik derecesinde hareket edebilmektedirler [36, 37]. Bu hareket serbestlikleri sadece dörütuçarın dört motorunun hızı olmak üzere 4 denetim girişi vardır. Dörütuçarlar, durumlarını değiştirmeden dikey z ekseninde hareket ederken, yatay x ve y eksenlerinde hareket edebilmelidirler. Sadece 4 denetim girişi ile 6 serbestlik derecesini denetlemek mümkün olmadığından, istenen x, y, z konumlarına ve istenen bir istikamete uçurabilmek için denetleyiciler tasarlanmalıdır. Sapma ve yalpa açıları korunurken, dörütuçar yunuslama yapabilmelidir. Şekil 16’da gerçekleştirilen dörütuçar görölmektedir.



Şekil 16. Gerçekleştirilen dörütuçar (Figure 16 Built quadrotor)

4.2 Faydalı Yük (Payload)

İnsansız hava araçlarının gerçekleştirilmek istenilen görev kapsamında gövdesinde taşıdığı ekipmanlardır. Faydalı yük kamera, telemetri sistemleri, mühimmat, SAR gibi uçuş görevinin gerçekleştirilmesine yönelik ihtiyaç duyulan birçok farklı araç ve sistem olarak insansız hava araçlarında bulunabilmektedir. Şekil 17’de faydalı yükün işlevsel yapısı gösterilmiştir.



Şekil 17. Faydalı yükün işlevsel yapısı (Figure 17 Functional structure of the payload)

4.3 MATLAB Grafiksel Kullanıcı Arayüzü Tabanlı Uygulama (MATLAB Graphical User Interface Based Application)

Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (Graphical User Interface (GUI)) [38], kullanıcıların elektronik cihazlarla görsel gösterge temsilleri aracılığıyla etkileşime girdiği bir tür grafiksel kullanıcı arayüzüdür. Bu makalede bir İHA 'nın kamerasından alınan görüntülerden Optik Akış yöntemi ile hareketli nesnelere tespit ve takip etmek için MATLAB Grafiksel Kullanıcı Arayüzü ortamında bir uygulama yazılmıştır. Şekil 18'de GUI arayüzü görülmektedir.

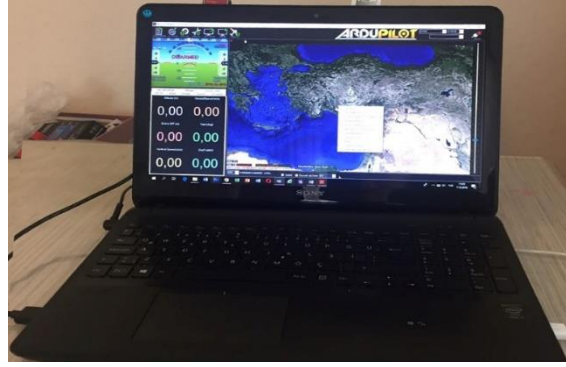


Şekil 18. Hareketli nesne tespiti ve takibi için geliştirilen MATLAB GUI arayüzü (Figure 18 MATLAB GUI interface for moving object detection and tracking)

Şekil 18'de görülen GUI olay tabanlı programlandığı için arayüzde bulunan kameranın çalıştırılması, görüntü aktarımı ve Optik Akış gibi her bir nesne için programlama dosyasında callback olarak adlandırılmış olan birçok ayrı alt rutin programlama parçaları bulunmaktadır. Bu tür programlamada MATLAB GUI hem bir arayüz olarak çalışmakta hem de her bir olaya ait alt program parçalarını birbirinden bağımsız olarak çalıştırmaktadır.

Yer kontrol istasyonu (Ground control station)

Yer kontrol istasyonu, insansız hava araçlarını denetlemek için kullanılan sistemlerdir. Yer kontrol istasyonu ile uçuş sırasında uçuş süresi, batarya durumu, pozisyonu gibi insansız hava aracı tarafından hayati önem taşıyan verilerin anlık takibi yapılmaktadır. Ayrıca altlık harita üzerinden insansız hava aracının mevcut konumu gözlemlenebilmekte böylece uçuş öncesinde otonom veya manuel olarak güzergah oluşturulabilmekte, hava aracı ile çekilen fotoğraflar düzenlenebilmekte, koordinat bilgileri kaydedilebilmektedir. Bu çalışmada ücretsiz açık kaynak kodlu Mission Planner [39] yer kontrol istasyonu yazılımı kullanılmıştır. Şekil 19'da bu çalışmada kullanılan yer kontrol istasyonu görülmektedir.



Şekil 19. Gerçekleştirilen yer kontrol istasyonu (Figure 19 Built ground control station)

5. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu makalede, bir İHA'nın kameralarından alınan anlık görüntülerden hareketli nesnelerin gerçek zamanlı olarak tespit ve takip edilmesi MATLAB ortamında geliştirilen Optik Akış yöntemlerinin kullanıldığı bir yazılım ile yapılmıştır. En uygun Optik Akış algoritmasının seçilebilmesi için Optik Akış yöntemlerinde kullanılan fark, alan, enerji ve faz tabanlı yöntemler MATLAB ortamında test edilerek, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her bir yöntem "Bir Ağacın Kayan Görüntü Dizisi" kullanılarak sınanmıştır. İHA'nın kamerasından alınan görüntülerden Optik Akış yöntemi ile hareketli nesnelere tespit ve takip etmek için MATLAB GUI Arayüzü ortamında bir uygulama yazılmıştır. Bu yazılım gerçekleştirilen bir dörtüçerle uygulanarak optik akış yöntemi ile gerçek zamanlı deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda, bir İHA'nın kameralarından elde edilen anlık görüntülerin tespitinde en başarılı yöntemin Horn Schunck optik akış yöntemi olduğu değerlendirilmektedir. Ayrıca çalışmada bir İHA genel sistemin ve alt sistemlerin için gerekli olan donanım ve yazılım mimarileri ile Hareketli nesne tespiti ve takibi için geliştirilen MATLAB GUI arayüzü ortamında yazılan uygulama paylaşılmıştır ve test edilmiştir. Kameralardan alınan anlık görüntüde hareketli nesnenin tespitinin uygulama ile gerçekleşebileceği görülmüştür. Sonraki çalışmalarda hareketli nesnelerin takibinde yapay zekâ algoritmalarının da kullanılabilmesi ve MATLAB Simulink ile birlikte farklı simülasyon ortamları da kullanılarak sonuçların değerlendirilebileceği önerilmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma, "Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri" tarafından 07/2017-02 kodu ile desteklen, "Bir İnsansız Hava Aracı Gerçekleştirme Ve Hareketli Nesnelerin Tespit Ve Takibinde Kullanımı" adlı tezden çıkarılmıştır. Yazarlar, destekleri için Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri'ne teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] C. Karaağaç, "İHA Sistemleri Yol Haritası Geleceğin Hava Kuvvetleri 2016-2050", STM, 2016.
- [2] "Türkiye İnsansız Hava Aracı Sistemleri Yol Haritası", Savunma Sanayi Müsteşarlığı, (2011).
- [3] R. Cömert, U. Avdan, ve E. Şenkal, "İnsansız hava araçlarının kullanım alanları ve gelecekteki beklentiler", IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, BEÜ, Zonguldak, 2012.
- [4] G.R. Rodríguez-Canosa, S.J. Thomas, J. del Cerro, A.Barrientosand B.A.MacDonald, "A Real-Time Method to Detect and Track Moving Objects (DATMO) from Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) Using a Single Camera", Remote Sensing, 4(4), 1090-1111, 2012.
- [5] K. Güllü, "Bilgisayarla Görüye Giriş, Ders 8 – Optik Akış (Optical Flow)", Ders Notu, Kocaeli Üniversitesi, 2017.

- [6] R. Malhotra, "Detection and Segmentation Of Moving Objects In Video Using Optical Vector Flow Estimation", Master Of Science, University Of Saskatchewan, Saskatchewan, 2008.
- [7] C.R. del-Blanco, F. Jaureguizar and N. García, "An Efficient Multiple Object Detection and Tracking Framework for Automatic Counting and Video Surveillance Applications", *Consumer Electronics, IEEE Transactions on*, 58, 3, 2012.
- [8] A. Roy, S. Shindeandand. K.D. Kang, "An Approach for Efficient Real Time Moving Object Detection", *Ecological Society of America ESA- Annual Meeting*, 2010.
- [9] A.F.M.S. Saif, A.S. Prabuwoand Z.R. Mahayuddin, "Moving Object Detection Using Dynamic Motion Modelling from UAV Aerial Images", *The Scientific World Journal*, 2014, 890619, 2014.
- [10] M. Yazdiand and T. Bouwmans, "New Trends on Moving Object Detection in Video Images Captured by a moving Camera: A Survey", *Computer Science Review*. 28, 157–177, 2018.
- [11] A.H. Açarçipek, "Horn ve Schunck Optik Akış yöntemi ile hareket vektörlerinin gerçek zamanlı veya videolar üzerinden gerçekleşmesi (Matlab)", *Sayısal İşaret İşleme Tasarım ve Uygulama Ders Notu*, No: 040100487, 2017.
- [12] S.G. Ebrahimi, "Shadow Aware Object Detection And Vehicle Identification Via License Plate Recognition", *Degree of Master of Science, Eastern Mediterranean University, Gazimağusa, North Cyprus*, 1-6, 200).
- [13] B. Gökçe, G. Sonugür, "GPS destekli imge çakıştırma yöntemi ile hareketli nesnelerin tespiti", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(5), 353-360, 2016.
- [14] L.W.X. Cejnog, "Implementation and Evaluation of Differential Optical Flow Methods", *Unpublished Thesis, Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciencias Exatas*, 2013.
- [15] B.B. Örtten, "Moving Object Identification And Event Recognition In Video Surveillance Systems", *Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*, 2005.
- [16] E. Özüntürk, "Optik Akış ile Hareket Tespiti", *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*, 2007.
- [17] O. Şencan, "Otonom Mobil Robotlarda Optik Akış Tabanlı Görsel Eş Zamanlı Lokalizasyon ve Haritalama", *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2010.
- [18] M.F. Talu, "Nesne takip yöntemlerinin sınıflandırması", *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(18), 45-63, 2010.
- [19] M.S. Temiz, "Video Görüntülerinden Hareketli Nesnelerin Çıkarılması ve Hareket Yörüngelerinin Belirlenmesi", *Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2011.
- [20] J.L.Barron, D.Fleet and S.Beauchemin, "Performance of optical flow techniques", *International Journal of Computer Vision*, 12(1), 43–77, 1994. DOI: 10.1007/BF01420984).
- [21] Thacker, N. A., Clark, A. F. Barron, J.L. and Ross Beveridge, J., Courtney, P., Crum, W. R., Ramesh, V., and Clark, C. (2008). Performance characterization in computer vision: A guide to best practices, *Computer Vision and Image Understanding*, 109(3), 305 - 334.
- [22] İnternet: Raudies, F. (2013) Optic flow. Scholarpedia, 8(7), 30724 http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.scholarpedia.org%2Farticle%2FOptic_flow%23Definitions_of_optic_flow&date=2018-12-25. Son Erişim Tarihi: 24.08.2018.

- [23] E. Özüntürk, "Optik Akışla Hareket Tespiti", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017].
- [24] B.K.P. Horn and B.G. Schunck, "Determining optical flow", *Artificial Intelligence*, 17, 185-203, 1981.
- [25] B.D. Lucas and T.Kanade, "An iterative image registration technique with and application to stereo vision", In *Proceedings of Imaging Understanding Workshop*, 121-130, 1981.
- [26] H.H. Nagel, "On the estimation of optical flow: relations between different approaches and some new results", *Artificial Intelligence* 33, 299-324, 1987.
- [27] S. Uras, F. Girosi, A. Verri and V.T orre, "A computational approach to motion perception", *Biological Cybernetics*, 60, 79-87, 1988.
- [28] P. Anandan, "A computational framework and an algorithm for measurement of visual motion", *International Journal of Computer Vision*, 2:283-310, 1989.
- [29] J.J. Little, H.H. Bulthoff and T.A. Poggio, "Parallel optical flow using local voting", In *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Vision*, Tampa, 454-459, 1988.
- [30] D.J. Heeger, "Optical flow using spatiotemporal filters", *International Journal of Computer Vision*, 1(4), 279-302, 1988.
- [31] M. Shizawa and K. Mase, "A unified computational theory for motion transparency and motion boundaries based on eigenenergy analysis", In *Proceedings of IEEE Computer Vision and Pattern Recognition Conference CVPR'91*, 289-295, 1991.
- [32] D. Fleet and A.D. Jepson, "Computation of component image velocity from local phase information", *International Journal of Computer Vision*, 5(1), 77-104, 1990.
- [33] D. Sun, S. Rothand and M.J. Black, "Secrets of optic flow estimation and their principles", In *Proc. of Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) San Francisco*, 2432-2439, 2010.
- [34] İnternet: Raudies. F., Optic Flow Estimation. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fgithub.com%2Ffraudies%2Foptic-flow-estimation+&date=2018-12-26>. Son Erişim Tarihi: 24.08.2018.
- [35] İnternet: Matlab. URL: <https://www.mathworks.com/> Son Erişim Tarihi: 24.09.2022.
- [36] İnternet: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.aliexpress.com%2Fitem%2FDIY-Full-Set-2-4GHz-4-Aixs-Quadcopter-RC-Drone-630mm-Frame-Kit-MINI-PIX-GPS%2F32851262028.html%3Fspm%3Da2g0s.9042311.0.0.4f4d4c4dzEybRq+&date=2018-12-25>. [Son Erişim Tarihi: 24.08.2018].
- [37] İnternet: <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fdevelopers.google.com%2Fmaps%2Fdocumentation%2F+&date=2018-12-25>. [Son Erişim Tarihi: 24.08.2018].
- [38] İnternet: MATLAB GUI URL: <https://www.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html> Son Erişim Tarihi: 24.09.2022.
- [39] İnternet: Ardupilot URL: <https://ardupilot.org/planner/> Son Erişim Tarihi: 24.09.2022.