Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 22(5), 353-360, 2016

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

GPS destekli imge çakıştırma yöntemi ile hareketli nesnelerin tespiti

Moving object detection by using GPS assisted image registration method

Barış GÖKÇE[1], Güray SONUGÜR[2]*

[1]Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye.
bgokce@aku.edu.tr

[2]Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, Türkiye.
gsonugur@aku.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 09.11.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 03.02.2016 doi: 10.5505/pajes.2016.68915
* Yazışılan yazar/Corresponding author Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada insansız kara araçlarının rotaları üzerinde bulunan hareketli nesneleri bilgisayar görme sistemleri kullanarak tespit edebilmesi için küresel konumlandırma sistemi destekli bir sistem geliştirilmiştir. Gerçek zamanlı çalışma öncesinde rota üzerinde belirlenen tüm koordinatlarda mobil aracın geçebileceği tüm yatay konumlardaki yalın arka planı temsil eden bir görüntü modeli oluşturulmuştur. Bu model görüntü matrislerinden çok daha küçük boyutlarda bir referans öznitelik matrisidir. Bu model elde edildiği koordinat bilgisi ile ilişkilendirilerek bilgisayar sistemi veri tabanında tutulur. Mobil aracın gerçek zamanlı hareketi sırasında belirlenen koordinatlara geldiği anda yakalan anlık görüntülerin öznitelik matrisleri ile koordinatla ilişkilendirilen model karşılaştırılır. İşlem sonucunda 2 boyutlu imge çakıştırma yöntemleri kullanılarak imge çerçeveleri hizalanır. Hizalanan çerçevelerin farkları alınarak sahneye sonradan dahil olan dinamik nesnelerin siluetleri elde edilir. Geliştirilen yaklaşım ile rota üzerindeki her bir koordinat için hafızada tutulan referans bilgiler sayesinde hareketli kameraların oluşturduğu gürültünün dengelenmesi için karmaşık ve yüksek maliyetli işlemlere gerek duyulmamaktadır. Yapılan deneysel çalışmalarda geliştirilen sistemin anlık arka plan imge çerçevesinde bulunan engelleri %90 doğrulukta algılayabildiği ve düşük maliyetli bilgisayar sistemleri ile %8 işlemci yükü ve 0.057 sn. çerçeve başına işlem süresi ile çalışabildiği anlaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Görüntü işleme, İnsansız kara aracı, Hareketli nesne tespiti, İmge çakıştırma

Abstract

In this study, a Global Positioning System (GPS) assistance based system has been developed for unmanned ground vehicles (UGV) to detect moving objects along their route using a computer vision system. Before the real time application of the UGV, image models were created that represents a default background in specified horizontal positions of the specified coordinates on the route. This model is a type of feature matrix which is much smaller than the pure image matrices. The model matrices were recorded in the system database and a database relation was created between the model and its coordinate. The feature matrices of the images captured when the moment UGV arrived to the determined coordinates are compared with the models belong to present coordinate. As a result of the evaluation image frames are aligned with 2D image registration methods. The silhouettes of the objects are obtained by subtracting aligned frames. Thus, using this developed approach, there is no need for costly solutions to compensate for the noise generated by the moving camera. It was observed from the experiments that the system was able to detect the objects with 90% accuracy and it was able to run with 8% CPU loading and 0.057 s processing time per frame.

Keywords: Image processing, Unmanned ground vehicle, Moving object detection, Image registration

1 Giriş

Günümüz teknolojisinde insansız araçlar üzerinde yoğunlaşan çalışmalar kameralardan alınan gerçek zamanlı görüntülerden hareketli ya da hareketsiz nesnelerin tespit edilmesi konusunda yapılan araştırmaların artmasına neden olmuştur [1],[2]. Özellikle insansız kara araçları, hava gözetleme sistemleri [3], araç sürüş yardımı sistemleri [4], insansız deniz altı araçları [5] konularında çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Bir insansız kara aracı için üzerindeki kameralar vasıtasıyla alınan çevresel görüntülerin yorumlanması büyük önem taşır. Bu tip araçlar üzerlerinde bulunan kameralar aracılığıyla elde ettikleri verileri kullanarak kendi uzamsal hareketlerine, haberleşme uygulamalarına, etkileşim sistemlerine yön vermektedirler. Bu nedenle nesne tespit ve tanıma uygulamaları bilgisayar görme sistemleri için vazgeçilmez unsurlardır.

Görüntü çerçevelerindeki nesnelerin tanınması işlemlerinde ilk aşama nesnenin doğru bir şekilde tespit edilmesidir. Tespit edilecek nesne ardışık çerçeveler arasında hareketsiz ya da hareketli olabilir. Hareketsiz nesneler için pek çok yaklaşım geliştirilmiştir ancak hareketli nesnelerin tespiti için ardışık imge çerçeveleri içerisinde gizlenmiş bulunan bilgi parçacıklarını açığa çıkartmak gereklidir. Hareketli nesne tespiti amacıyla en sık yapılan işlem video akış analizidir. Farklı zamanlarda alınan iki veya daha fazla görüntü çerçevesi, görüntüleme sistemi ile sahne arasındaki bağıl hareket hakkında bilgiler içerir. Bu bilgi; çerçeveler arasındaki gri seviye ve renk değişimleri şeklinde veya nokta, sınır çizgileri ve bölümlenmiş alanların uzamsal ve öznitelik değişimleri şeklindedir [6].

Bir insansız kara aracına kamera monte edildiğinde alınan görüntülerden hareketli nesneleri tespit etmek için klasik yöntemler kullanılamayabilir. Çünkü buradan alınan görüntülerdeki arka planın tamamı aracın hareketi nedeniyle hareketli olarak algılanır. Kullanılacak olan algoritmaların kamera hareketi nedeniyle hareketliymiş gibi görünen nesneler ile gerçekten hareketli nesneleri ayırt edebilmesi gerekir.

Sabit kameralar ile yapılan çalışmalarda farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan başlıcaları; arka plan kestirimi yöntemleri [7],[8] optik akış tabanlı yöntemler [9]-[11] ve ardışık çerçevelerin çıkarılmasına dayalı metotlardır [12]. Kameraların sabit olması nedeniyle genellikle kararlı sonuçlar

alınmaktadır ancak sahnede oluşabilecek ışık değişimleri, gölge etkisi, kamera titremesi, ağaç sallanma hareketi ve deniz dalgası vs. şeklindeki gürültülerin sönümlenmesi gerekir.

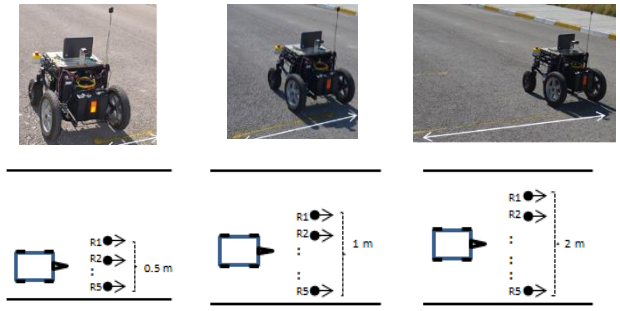
Hareketli kameralar ile nesne tespiti uygulamalarında da optik akış yöntemleri [13],[10] kararlı sonuçlar vermektedir. Bu yöntem öznitelik tabanlı veya alan tabanlı olarak uygulanabilmektedir [14]. Ancak kameranın hareketi de dâhil olmak üzere ardışık imge çerçeveleri arasındaki nesne hareketini tespit etme zaman aralıkları çok düşük olması gerektiğinden bilgisayar sistemleri için işlem yükü çok ağırdır. Bu nedenle özel donanımlar haricinde kullanılması uygun değildir [15]. Arka plan kestirimi yöntemlerinde ise sabit kameralar için kullanılan algoritmaların kullanılması hareketli kameralar için mümkün değildir. Hareketli kameralarda ardışık imge çerçeveleri arasında açısal ve uzamsal farklar bulunur. Bu nedenle hareketli nesnelerin tespit edilebilmesi için öncelikle iki çerçeve arasında kamera hareketi nedeniyle oluşan farkın dengelenmesi gereklidir. Bu yönteme imge çakıştırma
(image registration) [16] yöntemi denilmektedir. Dört adımda gerçekleştirilir [17]:

- Referans ve ardışık gelen imge çerçevelerinin özniteliklerinin çıkartılması,
- Özniteliklerin eşleştirilmesi,
- Dönüşüm modelinin belirlenmesi, (geometrik, lineer olmayan, izdüşel vs.),
- Dönüşüm gerçekleştirilerek imgenin yeniden elde edilmesi.

İmgenin yeniden elde edilmesini takiben arka plan kestirimi yöntemleri uygulanabilmektedir. Ancak her ardışık imge çerçevesi için yukarıda belirtilen adımların gerçekleştirilerek kamera hareketinin dengelenmesi bilgisayar sistemleri için ağır bir işlem yükü oluşturur. Bu nedenle gerçek zamanlı video akışlarında uygulanması zordur. Bu çalışmada bilgisayar sistemleri için ağır işlem yükü gerektirmeyen, yüksek bilgi depolama maliyetleri gerektirmeyen, yürütülebilir bir yaklaşım geliştirilmeye çalışılmıştır. 2. Bölümde yaklaşımın detayları açıklanacak, 3. Bölümde ise deneysel sonuçlar ifade edilecektir.

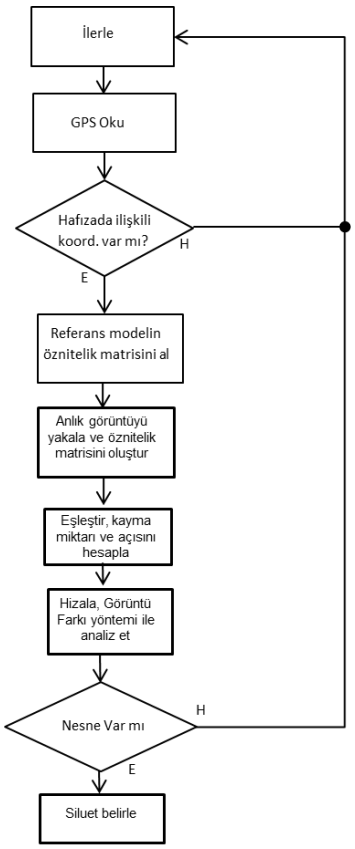
2 Yöntem

Kullanılan mobil araç programlandığı rotası boyunca yatay eksende yaklaşık olarak aynı noktalardan geçmektedir. Bu durumda herhangi bir K_i koordinatında yatay eksen boyunca aracın geçebileceği noktalardan alınacak yalın arka plan görüntüleri hemen hemen aynı karakteristikte olacaktır. Belirlenen K_i koordinatlarındaki arka planı temsil edebilecek bir görüntü nesnesi çıkarsanabildiği durumda anlık görüntüler ile kıyas edilerek görüntüdeki hareketli nesneler elde edilebilecektir. Bu çalışmada arka planı temsil etmesi için referans öznitelik matris modeli oluşturulmuştur. Bu modelin oluşturulması için; öncelikle araç üzerindeki kamera ile önceden belirlenmiş rota boyunca belirlenen K_i noktalarından yalın arka plan görüntü çerçeveleri alınır. Bu görüntü çerçeveleri referans görüntüler R_i olarak adlandırılmıştır. Bu çerçeveler Şekil 1'de gösterildiği gibi belirli yatay eksen aralıklarında ve belirli bir sayıda alınır. Bu çalışmada her bir koordinat için 5'er adet görüntü çerçevesi referans alınmıştır. Her bir R_i çerçevesinin öznitelikleri çıkarıldıktan sonra herbirinde ortak olan en güçlü öznitelikler belirlenir. Bu şekilde en güçlü özniteliklerden oluşan referans öznitelik matris modeli elde edilmiş olur. Bu model matrisi sistem hafızasına kaydedilir ve her bir model kendi Global Positioning System (GPS) koordinatı (K_i) ile sistem veri tabanında ilişkilendirilir. Bu model matrisleri mobil aracın gerçek zamanlı hareketi sırasında alınacak görüntülerle aynı arka plan özelliklerine sahip olacaktır. Bu şekilde K_i konumundaki boş arka plan sisteme öğretilmiş ve aracın engel belirlemesi ve çevresindeki nesneleri tespit edebilmesi için değerli bilgiler çıkarsayabilmesi sağlanmıştır. Bu çalışmada; mobil aracın yatay eksen üzerinde geçiş yapabileceği aralıklar 2 m ve 0.5 m arasında değiştirilmiştir. (Şekil 1) Çalışma 2 adımdan oluşmuş olup 1. adımda gerçek zamanlı işlemler öncesi bir defa yapılan hazırlık çalışması, 2. adımda ise gerçek zamanlı işlemler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1: Yatay eksen geçiş aralıkları.

Hareketli nesnelerin tespiti için oluşturulan sistemin genel akış algoritması Şekil 2'de verilmiştir. İnsansız kara aracı hareketli nesne tespiti için ilerlemeye başlamadan önce belirlenen güzergâha ait referans imgelerin öznitelik matris modeli oluşturulur.



Şekil 2: Mobil araç ilerleyişinde kullanılan genel akış şeması.

Bu model temel referans modeli olarak özniteliklerin karşılaştırılmasında kullanılacaktır. Oluşturulan algoritmaya göre araç belirlenen güzergâhta görüntü alarak ilerlemeye başlar ve eş zamanlı olarak GPS konumunu okur. Okuduğu konum hafızada ilişkili bir konum ise ilişkili konuma ait referans öznitelik matris modeli ile anlık görüntünün öznitelik matrisi nicel olarak eşleştirilir. Bu şekilde 2 boyutlu optik akış yöntemi ile iki matris arasındaki 2 boyutlu kayma vektörü hesaplanmıştır. Bu veriler kullanılarak çerçeve hizalama ve çerçeve çıkarma işlemleri gerçekleştirilip anlık görüntüde hareketli ya da hareketsiz bir nesne bulunup bulunmadığı analiz edilmiştir.

2.1 Referans öznitelik matris modelinin oluşturulması

Öncelikli hedef gerçek zamanlı görüntüler ile çalışırken bilgisayar sistemlerinin CPU ve hafıza kapasitelerini yormadan yüksek doğrulukta karşılaştırmalar yaparak sonuç almaktır. Aksi takdirde kararlı sistemler geliştirilse bile pratikte uygulama şansı bulunmayabilmektedir. Sistemin doğru olarak çalışabilmesi için uygulama öncesi gerçekleştirilmesi gereken bir takım hazırlıklar bulunmaktadır. Bu hazırlıklar aşağıdaki adımlarda gerçekleştirilir;

1. Adım:

Üniversite kampüsü içerisinde belirlenen bir rota boyunca GPS koordinatlarının (K_i) her belirgin değişimine karşılık gelen konumlardan boş yani hareketli nesne içermeyen arka plan imgeleri fotoğraflanmıştır ve bunlar referans imgeler olarak adlandırılmışlardır. Bu çalışmada her bir koordinat için 5 farklı referans imge kullanılmıştır. İmgeler her bir koordinat için Şekil 1'de verilen geçiş aralıkları dahilinde aracın geçebileceği farklı noktalardan ve farklı bakış açılarıyla fotoğraflanarak elde edilmiştir. Yapılan işlem Şekil 3'te ifade edilmiştir.



Şekil 3: Belirlenmiş koordinatlardan elde edilen referans imgeler.

2. Adım:

Bu adımda rota boyunca bulunan referans imgelerin öznitelikleri çıkartılmaktadır. Çalışmada kullanılan Matlab R2013a sürümünde imge üzerinde herhangi bir (x, y) konumunda bulunan her bir öznitelik 1x64 boyutunda bir vektör olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada SURF [18], Harris [19] ve FAST [20] olmak üzere başlıca 3 adet öznitelik çıkartma algoritması kullanılmıştır. Söz konusu algoritmaların performansları karşılaştırılarak mevcut arka planın karakteristiğine en uygun öznitelik çıkartma algoritmasının belirlenmesi amaçlanmıştır.

SURF algoritması bir imgedeki öznitelikleri bulurken farklı standart sapmaya sahip Gauss filtreler uygulanmış ölçek uzaylarında işlem yapmaktadır. Farklı ölçeklerde bulunan imgelerden DoG (Difference of Gaussians) [21] fonksiyonu uygulanarak, yerel en küçük ve en büyük noktaları öznitelik noktası olarak belirlenmektedir. Bu şekilde ölçekten bağımsız olan en kararlı noktalar öznitelik noktası olarak belirlenmektedir. FAST ve Harris algoritmaları daha çok imge üzerinde bulunan köşeleri öznitelik noktası olarak tespit etmektedir. FAST algoritması, piksellerin etrafında kesikli bir daire belirleyerek ışık şiddetinin değişimine göre bu pikselin köşe ya da kenar olup olmadığını tespit etmektedir. Harris ise basitçe farklı yönlerdeki gradyan değişimlerinden bir matris oluşturmakta ve bu matrisin öz değerlerine göre köşeleri belirlemektedir [22].

3. Adım:

Bu adımdaki amaç her bir koordinatı tek bir model matris ile temsil etmektir. Bu nedenle referans imgelerin hepsinde de ortak olan en kararlı özniteliklerin bulunması gereklidir. Bu matris, model öznitelik matrisi olarak adlandırılmıştır. Bu şekilde yazılımın çalışacağı bilgisayar sistemlerinde 3264x4928 veya 480x640 boyutlarındaki iki farklı imge çerçeve matrislerinin işlenmesi yerine arka planı temsil edecek çok daha küçük boyutlarda öznitelik matrisleri kullanılmıştır. Böylece bilgisayar CPU ve hafıza kapasitelerinde büyük ölçüde tasarruf sağlandığı gibi işlem hızında da büyük artışlar sağlanmıştır.

Bilgisayar sistemlerindeki işlem yükünü azaltmak ve daha net sonuçlar elde etmek için referans ve anlık imgeler 3 parçaya bölünerek değerlendirilmişlerdir. B_1 daha az detay bulunduran yol kısmını içerirken B_2 detay içeren kısımlardan oluşmuştur. B_3 bölümü rota dışında olduğu için dikkate alınmamıştır. Bölümlere ayrılmış örnek bir imge Şekil 4'te gösterilmiştir. İmgenin orta kısmı (B_2) yoğun işlem alanı olarak belirlenmiştir. İmgenin alt kısmı (B_1) aracın hareketi sırasında orta kısımda belirlenen nesne alt kısma geçeceğinden ve nesne büyüyeceğinden bilinen algoritmalar uygulanmış ancak herhangi bir performans karşılaştırması yapılmamıştır.



Şekil 4: Bölümlenmiş imge.

Referans imge setinin tamamında ortak olarak bulunan özniteliklerin hesaplanabilmesi için 1x64 boyutunda ifade edilen öznitelik vektörleri arasındaki uzaklıkların hesaplanarak en küçük olanın seçilmesi gereklidir. Vektörel uzaklıkların tespiti için bir takım yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışmada Öklid Uzaklığı (Euclidean Distance-ED), Toplam Mutlak Fark (Sum of Absoulute Differences-SAD) ve Normalize Edilmiş Çapraz Korelasyon (Normalised Cross Correlation-NCC) yöntemleri uygulanmıştır.

$R1$ ve $R2$ referans imgeleri öznitelikleri arasındaki uzaklıkların ifadesi:

ED Yöntemi:

$$Uzaklık_i = \sqrt[2]{\sum_{j=1}^{64}(R1_i(j) - R2_i(j))^2} \quad (1)$$

$R1$: 1. Referans imgeye ait öznitelik vektörleri

$R2$: 2. Referans imgeye ait öznitelik vektörleri

i: Öznitelik vektörlerine ait indis numaraları

j: Öznitelik vektörünün numarası

SAD Yöntemi:

$$Uzaklık_i = \sum_{j=1}^{64} |R1_i(j) - R2_i(j)| \quad (2)$$

ED ve SAD yöntemleri ile yapılan işlemlerde iki referans imgeye ait öznitelikler arasındaki vektörel uzaklıklar hesaplanmış ve birbirine en yakın vektörler ortak öznitelikler olarak eşleştirilmişlerdir. Bulunan sonuçlardan belirlenen eşik değerden büyük olan eşleşmeler elenmiştir. Bu şekilde $R1$ referans imgesine ait özniteliklere en yakın olan $R2$ referans imgesi öznitelikleri bulunmuş olmaktadır. Bu işlem diğer referans imgeler arasında da bir döngü içerisinde tekrarlanmıştır.

NCC Yöntemi:

$$Benzerlik_i = \frac{\sum_{i,j}(R1(i,j)-R1_{ort})(R2(i,j)-R2_{ort})}{\sqrt{\sum_{i,j}(R1(i,j)-R1_{ort})^2(R2(i,j)-R2_{ort})^2}} \quad (3)$$

ort: Aritmetik ortalama

Bu yöntemde ilk iki yöntemden farklı olarak vektörel uzaklık değil vektörlerin benzerliği hesaplanır. Bu nedenle oluşan değerler arasında en küçük değer değil en yüksek değer bulunmalıdır. Hesaplanan değer 1'e ne kadar yakın ise iki vektör birbirine o kadar benzer demektir [23].

Bu adım sonucunda; her bir GPS koordinatını temsil eden referans imge setinin tamamında ortak olarak bulunan en güçlü öznitelikler tek bir matris halinde tespit edilmiştir. Bu matris gerçek zamanlı görüntüler ile çalışırken rota üzerindeki GPS koordinatlarından alınacak anlık arka plan imgelerinin karşılaştırılacağı model öznitelik matrisidir.

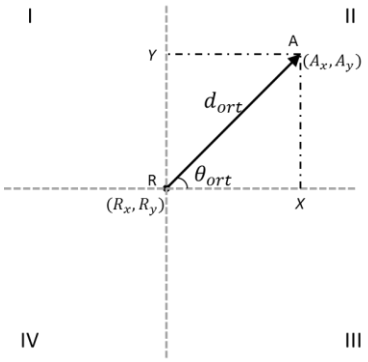
4. Adım:

Bu adımda o ana kadar elde edilen veriler hafızada depolanır. Hafızaya kayıt yapılırken sadece model matrisinin depolanması yeterli olmaz. GPS koordinat bilgisi ve kullanılan öznitelik çıkartma algoritması da model matrisle ilişkilendirilerek hafızada saklanır.

2.2 Gerçek zamanlı hareketli nesne tespiti

Gerçek zamanlı işlemlerin başlangıcında mobil araç kontrol sisteminin hafızasında rotası boyunca belirlenmiş her bir GPS koordinatı için boş arka planı temsil eden bir model matris oluşturulmuş durumdadır. Mobil araç belirlenen rota boyunca ilerlerken üzerinde bulunan GPS alıcı sistem sayesinde 500 ms.'de bir koordinat bilgilerini almaktadır. Zamansal bir döngü içerisinde bu bilgi hafızadaki koordinat bilgileri ile karşılaştırılır. Uyuşma sağlandığı anda aracın üzerinde bulunan kamera ile arka planın görüntüsü yakalanır. Bu görüntü anlık görüntü olarak adlandırılır. Anlık görüntünün hafızada ilişkili öznitelik çıkartma algoritması ile kendine has anlık öznitelik matrisi oluşturulur. Bu adımdan sonra model matris ile anlık öznitelik matrisinin eşleşen öznitelikleri ED, SAD ve NCC yöntemlerinden birisiyle hesaplanır. Hesaplama sonrası referans görüntü ile anlık görüntü arasındaki 2 boyutlu kayma vektörü yaklaşık olarak belirlenmiştir. Kayma vektörü uzamsal bir kayma mesafesi ve bir kayma açısından oluşmaktadır.

İmge çakıştırma yöntemlerinde kayma vektörünün doğru olarak belirlenmesi önemlidir. Aksi takdirde referans görüntü ve anlık görüntü tam olarak hizalanmaz ve görüntü çıkarma yöntemi uygulaması sonrası sonuç yeterli olmayabilir. Kayma vektörünü hesaplamak için Şekil 5'te ifade edilen koordinat sistemi kullanılır. Bu koordinat sistemi I, II, III, IV olmak üzere 4 bölgeye ayrılmıştır.



Şekil 5: Kayma vektörünün görsel ifadesi.

Yukarıdaki şekilde R, referans görüntü çerçevesi pikselini; A, anlık görüntü çerçevesi pikselini; d_{ort} ortalama kayma miktarını; θ_{ort}, ortalama kayma açısını; R_x ve R_y referans görüntü pikseline ait x ve y konumlarını, A_x ve A_y, anlık görüntü pikseline ait x ve y konumlarını ifade etmektedir.

Örnek olarak verilen $\overrightarrow{RA}$ vektörü II. bölgede oluşturulmuştur. Anlık görüntüde eşlenik olarak bulunan her bir pikselin referans görüntüye hizalanabilmesi için kayma vektörünün x ve y eksenlerine olan izdüşüm değerleri Denklem 4 ve 5'te gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$X = d_{ort} * \cos(\theta_{ort}) \quad (4)$$

$$Y = d_{ort} * \sin(\theta_{ort}) \quad (5)$$

Hizalama işlemi için anlık görüntüdeki piksellerin x ve y eksenlerinde hangi yöne hareket ettirileceklerini de bulmak gerekmektedir. Anlık görüntünün her bir pikselinin yeni x ve y koordinatları Şekil 5'te belirtilen farklı bölgeler için aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

I. bölge:

$$A_x(yeni): A_x + X \quad (6)$$

$$A_y(yeni): A_y + Y \quad (7)$$

II. bölge:

$$A_x(yeni): A_x - X \quad (8)$$

$$A_y(yeni): A_y + Y \quad (9)$$

III. bölge:

$$A_x(yeni): A_x - X \quad (10)$$

$$A_y(yeni): A_y - Y \quad (11)$$

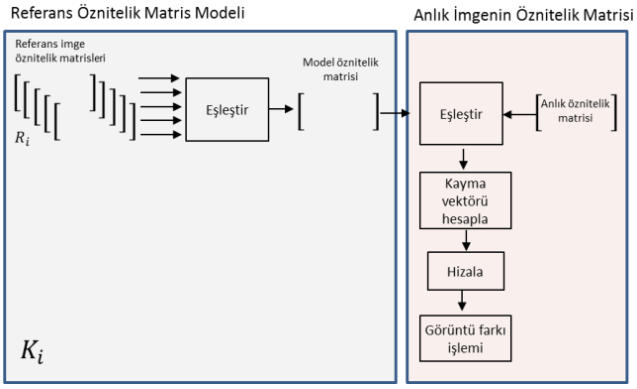
IV. bölge:

$$A_x(yeni): A_x + X \quad (12)$$

$$A_y(yeni): A_y - Y \quad (13)$$

Anlık görüntüde bulunan tüm pikseller referans görüntüdeki eşlenikleri ile hizalandıktan sonra Çerçeve farkı yöntemi [12] uygulanmıştır. Bu yöntem ile birbirine hizalanan anlık görüntü ve referans görüntü çerçevelerindeki tüm piksel değerleri aritmetik olarak birbirlerinden çıkartılır. Değişime uğramayan bölümlerde pikseller kendileriyle eş değer piksellerden çıkartıldıkları için değerleri 0'a yaklaşacaktır. Aksine, değişime uğrayan yani yalın arka plan görüntüsüne yabancı nesnelerin dahil olduğu bölgelerde piksel değerleri değişeceğinden çıkartma işlemi sonuçları 0'dan uzaklaşacaktır. Böylece farkı oluşturan nesnelerin silueti yaklaşık olarak ortaya çıkacaktır. Siluetlerin belirginleştirilmesi için eşikleme ve çeşitli morfolojik işlemlerin uygulanması gerekir. Bu çalışmada eşikleme için Otsu [24] yöntemi ile morfolojik olarak da açma ve kapama işlemleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuç görüntüde belirgin olarak görünen siluetlerin görüntüye sonradan dahil olan hareketli ya da hareketsiz nesne oldukları belirlenmiştir.

Rota üzerindeki K_i'nci koordinat noktasındaki hareketli nesne tespiti için gerçekleştirilen gerçek zamanlı işlemler Şekil 6'da ifade edilmiştir. Şekilde sistem hafızasında oluşturulan öznitelik matris modeli (solda) ile gerçek zamanlı hareketli nesne tespit modeli (sağda) görülmektedir.



Şekil 6: K_i koordinat noktası için hafızadaki bilgiler ile gerçek zamanlı bilgilerin karşılaştırılması.

Öncelikle kameranın hareketinden doğan gürültünün dengelenmesi yani imge çerçevelerinin referans imgeye geometrik olarak hizalanması gerekir. Bu işlem birinci bölümde de bahsedildiği üzere bir imge çakıştırma yöntemi olarak geometrik dönüşüm ile gerçekleştirilir.

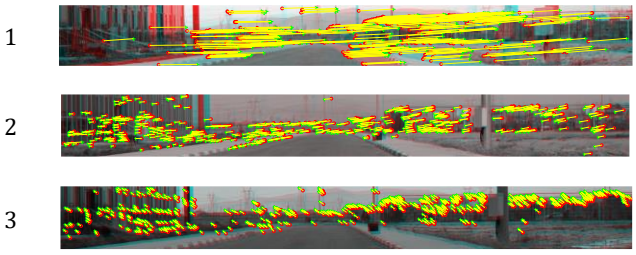
3 Deneysel sonuçlar

Çalışmada kullanılacak yöntemlerin belirlenebilmesi amacıyla öncelikle her K_i koordinatına karşılık olarak fotoğraflanan referans imgelerin hepsinde birden bulunan en güçlü özniteliklerden oluşan matris yukarıda ifade edilen yöntemler ile belirlenmiştir. Bu matris model matrisi olarak adlandırılmıştır. İmgelerin arka planlarındaki sahnenin karakterine göre kullanılabilecek yöntemler değişebilmektedir. Detaylı alanlarda SURF algoritması daha iyi sonuçlar verirken daha az detay barındıran yapıların bulunduğu sahnelerde Harris algoritması daha iyi sonuçlar vermektedir. K_1 ile K_{20} arasında alınan referans imge setlerinin SURF, Harris ve FAST öznitelik çıkartma algoritmaları ile öznitelikleri çıkartılmıştır. Bu öznitelikler ED, SAD ve NCC yöntemleriyle eşleştirilerek her bir koordinatta boş arka planı temsil eden model matrisler elde edilmiştir. Bu model matrisler ile anlık öznitelik matrislerinin eşleştirilmesi sonucu bulunan ortalama öznitelik sayıları Tablo 1'de gösterilmiştir. Bu tablodan da anlaşılacağı üzere B_2 gibi ayrıntılı arka planlarda en iyi sonucun SURF algoritması ve ED Yönteminin, B_1 gibi homojen arka planlarda ise Harris algoritması ile ED Yönteminin daha başarılı olduğu tespit edilmiştir. FAST algoritmasının ise her iki arka plan tipinde de başarısız olduğu tespit edilmiştir. Geçiş aralığı mesafesi azaldıkça tüm yöntemlerde elde edilen eşlenik öznitelik sayısının arttığı da gözlemlenmiştir.

Tablo 1: Farklı öznitelik çıkartma algoritmaları ve farklı karşılaştırma yöntemleri kullanılarak elde edilen eşlenik öznitelik sayıları.

Yatay resimleme aralığı (m)	Koordinat	Yöntem	Uzaklık (piksel)					
			SURF		HARRIS		FAST	
			B_1	B_2	B_1	B_2	B_1	B_2
2	K_1	ED	25	332	110.6	173	0	11
		SAD	19.6	219	85.66	149.30		10.3
		NCC	15.6	215.3	38.6	75.2	0	7.6
1	K_1	ED	31.3	419.6	95	165.60		12.3
		SAD	26	290.3	80.6	156.30		11
		NCC	25.3	282	36	68.6	0	7.3
0.5	K_1	ED	24.5	520.2	137	247.70		13.2
		SAD	20.6	388	115.8	237.30		10.5
		NCC	20.7	378.7	52.7	108	0	9.2

Yapılan deneysel çalışmada çeşitli koordinatlardan elde edilip hafızada depolanmış olan model matrisler ile anlık arka planlara ait öznitelik matrisleri eşleştirilmiştir. Eşleşen öznitelik noktalarının imge üzerindeki işaretlenmiş durumları Şekil 7'de verilmiştir. Bu eşleştirme işlemleri Şekil 1'de ifade edilen 3 farklı yatay eksen geçiş aralığında gerçekleştirilmiştir. Daha fazla ayrıntı içerdiği için bu işlemlerde B_2 bölümleri kullanılmıştır.



Şekil 7: (1) K_5 koordinatından 2 m geçiş aralığı için boş anlık arka plan imgesi ile elde edilen eşleştirme ve bölümleme sonuçları, (2) K_1 koordinatından 1 m geçiş aralığı için boş anlık arka plan imgesi ile elde edilen eşleştirme ve bölümleme sonuçları, (3) K_3 koordinatından 0.5 m geçiş aralığı için boş anlık arka plan imgesi ile elde edilen eşleştirme ve bölümleme sonuçları.

Tablo 2'de ise her bir eşleştirme işlemi için eşlenik noktalar arasındaki uzaklık ve açı değerlerinin ortalamaları ile bu ortalama değerlere ait standart sapmalar verilmiştir. Model ve

anlık imgelerin arasındaki kayma vektörü koordinatlarının standart sapmalarının düşük olması yapılan işlemi doğrulamıştır.

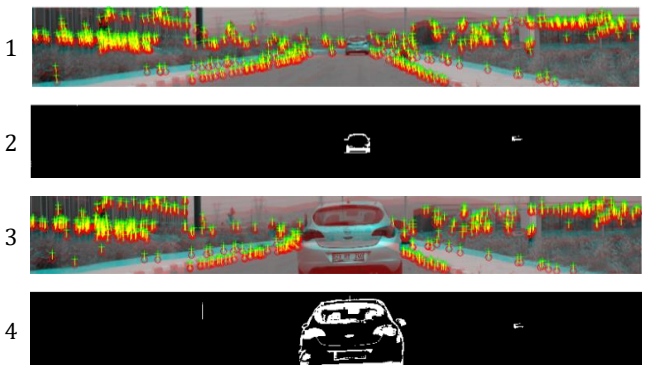
Tablo 2: Şekil 7'de ifade edilen eşleştirmelere ait uzaklık ve açı değerleri.

YGA (m)	OKM (piksel)	OKA (derece)	MSS	ASS
K_5 - 2 m	294.61	-2.72	41.54	1.77
K_1 - 1 m	83.66	-6.35	22.11	1.98
K_3- 0.5 m	41.09	37.39	5.73	3.04

Tabloda geçen YGA, yatay geçiş aralığını; OKM, ortalama kayma mesafesini; OKA, ortalama kayma açısını; MSS, mesafe standart sapma miktarını; ASS ise açı standart sapma miktarını ifade etmektedir.

Sahnedeki yabancı nesne siluetlerinin kesin olarak belirlenebilirliğini test etmek amacıyla K_1 ile K_5 arası koordinatlara farklı mesafelerde bulunan nesneler ile deneysel çalışmalar yapılmıştır. En iyi sonuçların alınması için Tablo 1'de belirlenen en iyi eşleştirme yöntemi ikilisi olan SURF algoritması ve ED yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmalarda hareketli nesne olarak otomobiller ve insanlar kullanılmıştır. Farklı geçiş aralığı ve kamera kaynağına farklı uzaklıkları içeren model ve anlık görüntüler kullanılmıştır. Şekil 7'de belirtilen deneme çalışmasında model öznitelik matrisini oluşturan referans imge seti 0.5 m yatay eksen geçiş aralığı üzerinden toplanmıştır. Şekil 7 (1)'de K_1 koordinatından alınmış ve içinde hareketli bir otomobil yer alan bir anlık imge çerçevesi ile sistem hafızasında ilişkili model arasındaki optik akış verilmiştir. Bu çerçevede bulunan hareketli nesne K_1 koordinatından 45 m uzaklıkta bulunmaktadır. Bu görüntü çerçevesine ait anlık öznitelik matrisi ile sistem hafızasında bulunan model matrisinin eşleştirilmesi sonucunda iki çerçeve arasındaki 2 boyutlu optik akış hesaplanmıştır. Kayma vektörü ortalamaları kullanılarak yapılan imge çakıştırma işlemi neticesinde kamera hareketinden kaynaklanan anlık çerçevedeki kayma dengelenmiş ve oluşan gürültü yok edilmiştir. Geri kazanılan çerçeve ile anlık çerçevenin aritmetik farkı neticesinde elde edilen nesne silueti Şekil 8(2)'de verilmiştir. K_1 koordinatındaki kamera kaynağına 10 m uzaklıkta bulunan nesnelerin tespiti için yapılan bir diğer çalışmada elde edilen görüntüler Şekil 8(3-4)'te verilmiştir. Yakın mesafede sahne gürültülerinden temizlenerek otomobil detayları daha net olarak elde edilmiştir. Görüntülerden anlaşılacağı üzere geliştirilen yaklaşım ile uzak ya da yakında bulunan nesneler net olarak tespit edilebilmektedir.



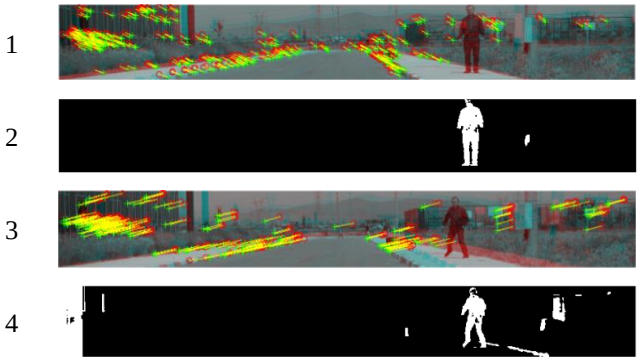
Şekil 8: K_1 koordinatından 45 m uzaklıkta nesne içeren anlık çerçeve ile model arasındaki optik akış (1), elde edilen nesne silueti (2), 10 m uzaklıkta nesne içeren anlık çerçeve ile model arasındaki optik akış (3), elde edilen nesne silueti (4).

Yukarıdaki görüntüler için hesaplanan kayma vektörlerinin ortalama değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Tabloda belirtilen kayma mesafesi ve kayma açısı eşleştirilen tüm öznitelikler için hesaplanmaktadır. Ancak bu değerler hatalı eşleşmelere karşı bir takım filtrelerden geçirilmektedir. Öncelikle aşırı büyük ve aşırı küçük değerler elenmektedir. Sonrasında hesaplanan ortalama değerlere standart sapma değerleri ilave edilerek ve çıkartılarak hesaplanan sınır değerlerin dışında kalan eşleşmeler elenmektedir. Bu eleme işlemi artık elenecek eşleşme kalmayıncaya kadar bir döngü içinde devam etmekte ve son ortalama değerler hesaplanmaktadır.

Tablo 3: Nesne uzaklığı değiştirilerek yapılan deneysel çalışmada K_1 koordinatında elde edilen kayma vektörü değerleri.

Nesne tipi	Nesne uzaklığı (m)	YGA (m)	OKM (piksel)	OKA (derece)	MSS	ASS
Oto	45	0.5	46.72	83.01	2.60	1.32
Oto	10	0.5	48.14	89.06	2.08	2.14

Model matrislerin elde edildiği geçiş aralığı mesafelerinin değiştirilmesinin nesne tespitine etkilerini belirlemek için yapılan deneysel çalışmada K_5 koordinatında bulunan kamera kaynağına 30m mesafede bulunan yaya görüntüleri analiz edilmiştir. Şekil 9(1)'de 0.5 m geçiş aralığı mesafesinden yakalanan referans çerçeveler ile elde edilen model matris ile anlık çerçeve arasındaki optik akış verilmiştir. Morfolojik işlemler ile gürültülerden arındırılan yaya siluetinin bulunduğu geri kazanılan çerçeve ise Şekil 9(2)'de verilmiştir. Görüldüğü gibi net bir siluet elde edilmiştir. Şekil 9 (3-4)'te ise 2 m geçiş aralığı mesafesinden elde edilen model ve anlık çerçeve arasındaki eşleştirmeye ait görüntü ikilisi verilmiştir. Şekil 9(3)'te iki çerçeve arasındaki kayma mesafesinin uzun olduğu görülmektedir. Şekil 9(4)'te verilen geri kazanılmış görüntüde siluetin belirgin olarak ortaya çıkmasına rağmen gürültülerin tam olarak yok edilemediği tespit edilmiştir.



Şekil 9: K_5 koordinatında 0.5 m geçiş aralığı ile elde edilen model ile nesne içeren anlık çerçeve arasındaki optik akış (1), elde edilen nesne silueti (2), 2 m geçiş aralığı ile elde edilen model ile nesne içeren anlık çerçeve arasındaki optik akış (3), elde edilen nesne silueti (4).

Geçiş aralığı değiştirilerek yapılan deneysel çalışmada; 2 m geçiş aralığında ortalama kayma mesafesinin 0.5 m geçiş

aralığına göre daha yüksek gerçekleştiği, eşleşen öznitelik sayısında ise belirgin bir azalma olduğu Tablo 4'ten anlaşılmaktadır. Bu durum açı standart sapmasında yüksek bir değer oluşmasını sağlamıştır. Standart sapmanın yüksek olması imge çakıştırma için kullanılan ortalama kayma vektörü değerlerinin hata payını yükseltmektedir. Bu nedenle Şekil 8 (4)'te görüldüğü gibi geri kazanılan çerçevede yaya silueti yanında gürültüler de oluşmuştur. Ancak, 0.5 m geçiş aralığı bulunan çalışmada eşleşen öznitelik sayısının yüksek olması ile birlikte standart sapma değerleri düşük gerçekleşmiştir. Böylece daha kesin olan kayma vektörü değerleri ile geri kazanılan sonuç çerçevesinde yaya silueti daha net bir şekilde elde edilmiştir.

Tablo 4: Geçiş aralığı değiştirilerek yapılan deneysel çalışmada K_5 koordinatından elde edilen kayma vektörü değerleri.

Nesne Tipi	YGA (m)	EÖS	OKM (piksel)	OKA (derece)	MSS	ASS
Yaya	2 m	240	153.96	-13.58	16.13	3.77
Yaya	0.5 m	378	66.65	25.71	5.3	1.47

Yukarıdaki tabloda EÖS ifadesi eşleşen öznitelik sayısını göstermektedir. Hareketli ya da hareketsiz nesnelerin kamera lensinden uzaklaştıkça görüntüdeki hacimleri azalmaktadır ve belirleyici niteliklerinin gürültülerden ayırt edilmesi zorlaşmaktadır. Ayrıca geçiş mesafesi arttıkça gürültü oranı yükseldiği için bir görsel belirleme eşiği belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda belirlenen eşik uzaklıklar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: Otomobil ve yayaları %90 doğrulukta tespit için gerekli eşik uzaklıklar.

YGA (m)	Nesne uzaklığı (m)		Doğruluk oranı (%)
	Otomobil	Yaya	
2	35	33	90
1	42	36	90
0.5	49	40	90

Geçiş aralığı mesafeleri arttıkça eşleşen öznitelik sayısının azalması nedeniyle ortalama kayma vektörünün hata payının arttığı bu nedenle de otomobil ve yayaların tespit mesafelerinin kısaldığı Tablo 5'te verilen değerlerden anlaşılmaktadır. Ancak doğru tespitler için yeterli uzaklıklar elde edilmiştir.

Sistemin çalışma hızı ile ilgili denemelerde öncelikle bilgisayarın CPU kullanım oranı gözlemlenmiştir. Deneme çalışmalarında 4 çekirdekli 2.8 GHz işlemciye sahip 4 GB RAM kapasiteli bir bilgisayar kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Yöntemlerin bilgisayar sistemi performans karşılaştırması.

Yöntem	İmge çözünürlüğü	CPU yükü (%)	Çerçeve başına işlem süresi (sn)
GD[25]+ÇF[12]	3264x4928	%99	5.475
	480x640	%56	0.177
GD+Gauss [26]	3264x4928	%99	5.91
	480x640	%61	0.24
GY	3264x4928	%7	0.043

Tabloda belirtilen GD kısaltması Geometrik Dönüşüm Yöntemini, ÇF kısaltması Çerçeve Farkı Yöntemini, GY kısaltması ise geliştirilen yaklaşımı ifade etmektedir.

Tablodaki ilk iki yöntemde nesne tespiti için sürekli olarak ardışık çerçeveler için çerçeve matrislerinin tamamının karşılaştırılması suretiyle işlem yapma zorunluluğu bulunmaktadır. Bir başka deyişle 3264x4928 boyutunda görüntü matrisleri üzerinde ardışık olarak dönüştürme ve çerçeve çıkarma işlemleri yapılmaktadır. Bu türden yüksek boyutlu matris işlemlerinin hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için yüksek maliyetli bilgisayar sistemleri gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan bilgisayar sistemiyle yapılan deneme çalışmalarında %99 CPU yüklenmesi ve 5.475 sn. gibi pratikte kullanılması imkânsız bir çerçeve başına işlem zamanı elde edilmiştir. Bu nedenle 3264x4928 çözünürlüğe sahip kaliteli görüntülerde küçük ölçekli bilgisayar sistemleriyle bu yöntemlerin kullanılması mümkün değildir. Ancak, 480x640 çözünürlükteki daha az kaliteli görüntülerde çerçeveler arası kısa aralıkta yer değiştirme ile yani kameranın bulunduğu mobil aracın hızını oldukça düşürerek sonuç alınabilmektedir. Bu şekilde bile CPU %56 oranında yüklenmektedir. Mevcut yöntemde ise saniye başına yakalanan imge çerçevesinin anlık öznitelik matrisiyle hafızada kayıtlı mevcut GPS koordinatına ait model matrisin karşılaştırması ve çerçeve kaydırma işlemi yapılmaktadır. Model matrisler hafızada mevcut bulunduğundan karşılaştırma işlemi en yüksek çözünürlükteki çerçeveler için bile milisaniyeler mertebesinde sürmektedir.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada mobil aracın rotası üzerinde belirli aralıklarla alınan konumların GPS koordinatlarıyla bu konumlara ait yalın arka plan imgelerinden oluşturulan model ilişkilendirilmiş ve sistem hafızasına kaydedilmiştir. Kaydedilen bilgi yalın arka plan görüntüsünün tamamı değil sadece bu görüntüyü en doğru şekilde modelleyen bir öznitelik matrisidir. Bu yöntem ile mobil araç üzerinde bulunan kameranın hareketinden kaynaklanan hareketli nesne tespitindeki zorluklar aşılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda otomobiller için 49 m ve yayalar için 40 m uzaklıktan %90 doğrulukta sonuçlar elde edilmiştir. Bu şekilde yüksek çözünürlükteki görüntülerin işlenip hareketli ya da hareketsiz nesnelerin tespiti için gerekli olan bilgisayar sistemi kapasitesi ve hacmi en aza indirgenmiştir. İhtiyaç duyulan bilgisayar sistemi kapasitesinin düşmesi maliyetleri de düşürdüğü gibi sistem hacmi ve ağırlığının azalması sonucu enerji tüketimi de azalacaktır.

5 Teşekkür

Bu araştırma makalesi Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel araştırma projeleri komisyonunun 14. FEN. BİL. 37'nolu projesi kapsamında yapılmış çalışmadır. Destek sağlayan ilgili kuruluşlara teşekkür ederiz.

6 Kaynaklar

[1] Shimizu S, Yamamoto K, Wang C, Satoh Y, Tanahashi H, Niwa Y. "Moving object detection by mobile stereoomni-directional system (SOS) using spherical depth image". *Pattern Analysis and Applications*, 9(2-3),113-126, 2006.

[2] Gamez DAM, Devy M. "Active vision-based moving objects detection from a motion grid". *Mobile Robots (ECMR). IEEE 2013 European Conference*, Barcelona, Spain, 25-27 September 2013.

[3] Yu Q, Medioni G. "Map-Enhanced detection and tracking from a moving platform with local and global data association". *IEEE Workshops on Motion and Video Computing*, Austin, TX, USA, 23-24 February 2007.
[4] Kong H, Audibert J, Ponce J. "Detecting abandoned objects with a moving camera". *IEEE Transactions on Image Processing,* 19(8), 2201-2210, 2010.
[5] Foresti GL, Gentili S. "A vision based system for object detection in underwater images". *International Journal of Pattern Recognition*, 14(2), 167-188, 2000.
[6] Chen X. "Application of matlab in moving object detection algorithm". *Future BioMedical Information Engineering 2008 FBIE '08 International Seminar on*, Wuhan, China, 18 December 2008.
[7] Jarraya SK, Hammami M, Ben-Abdallah H. "Accurate background modeling for moving object detection in a dynamic scene". *Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA), 2010 International Conference on*, Sydney, Australia, 1-3 December 2010.
[8] Spagnolo P, Orazio TD, Leo M, Distante A. "Moving object segmentation by background subtraction and temporal analysis". *Image and Vision Computing,* 24(5), 411-423, 2006.
[9] Yu X, Chen X, Gao M. "Motion detection in dynamic scenes based on fuzzy c-means clustering". *International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, Rajkot, India, 11-13 May 2012.
[10] Kim J, Ye G, Kim D. "Moving object detection under free-moving camera". *IEEE 17th International Conference on Image Processing,* Hong Kong, China, 26-29 September 2010.
[11] Zhang Y, Kiselewich SJ, Bauson WA, Hammoud R. "Robust moving object detection at distance in the visible spectrum and beyond using a moving camera". *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition,* New York, USA, 17-22 June 2006.
[12] Weng M, Huang G, Da X. "A new ınterframe difference algorithm for moving target detection". *Image and Signal Processing (CISP) 3rd International Congress*, Yantai, China, 16-18 October 2010.
[13] Roth S, Black MJ. "On the spatial statistics of optical flow". *International Journal of Computer Vision,* 74(1), 33-50, 2007.
[14] H Liu, Hong TH, Herman M, Chellappa R. *Accuracy vs. Efficiency Trade-Offs in Optical Flow Algorithms*. Editors: Buxton B, Cipolla R. Lecture Notes in Computer Science, 271-286, Cambridge, UK, Springer Berlin Heidelberg, 1996.
[15] Ren Y, Chua CS, Ho YK. "Statistical background modeling for non-stationary camera". *Pattern Recognition Letters*, 24(1-3), 183-196, 2003.
[16] Sappa AD, Dornaika F, Ger´onimo D, L´opez A. "Registration-Based moving object detection from a moving camera". *Workshop on Perception Planning and Navigation for Intelligent Vehicles*, Nice, France, 26 September 2008.
[17] Cheraghi SA, Sheikh UU. "Moving object detection using image registration for a moving camera platform". *Control System Computing and Engineering (ICCSCE) IEEE International Conference on*, Penang, Malaysia, 23-25 November 2012.
[18] Bay H, Tuytelaars T, Van Gool L. *Surf: Speeded up Robust Features*. Editors: Leonardis A, Bischof H, Pinz A. Computer Vision-ECCV 2006, 404-417, Graz, Austria: Springer Berlin Heidelberg, 2006.
[19] Harris C, Stephens M. "A combined corner and edge detector". *Alvey Vision Conference*, Manchester, UK, 31 August - 2 September 1988.
[20] Rosten E, Drummond T. *Machine Learning for High-Speed Corner Detection*. Editors: Leonardis A, Bischof H, Pinz A. Computer Vision-ECCV 2006, 430-443, Graz, Austria, Springer Berlin Heidelberg, 2006.
[21] Wilson HR, Giese SC. "Threshold visibility of frequency gradient patterns". *Vision Research*, 17(10), 1177-1190 1977.
[22] Erhan C, Tazehkandi AA, Yalcin H, Bayram I. "Traffic sign detection and recognition fusing feature descriptors". *Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, Haspolat, TRNC, 24-26 April 2013.
[23] Martin J, Crowley JL. *Comparison of Correlation Techniques*. Editors: Rembold U, Dillmann R, Hertzberger LO, Kanade T. Intelligent Autonomous Systems IAS 4, 86-93, Karlsruhe, Germany, IOS Press, 1995.
[24] Otsu N. "A Threshold selection method from gray-level histograms". *Automatica*, 11(285-296), 23-27, 1975.
[25] Gonzalez RC, Woods RE, Eddins SL. *Digital Image Processing Using MATLAB*. 2nd ed. Gatesmark, USA, 2009.
[26] Stauffer C, Grimson WEL. "Adaptive background mixture models for real-time tracking". *IEEE Computer Society Conference on ComputerVision and Pattern Recognition*, Fort Collins, CO, USA, 23-25 June 1999.