

**KAMERA GÖRÜNTÜLERİNDEN HAREKETLİ
HEDEF TESPİTİ**

**DETECTION of MOVING TARGETS FROM VIDEO
SEQUENCES**

DERYA ÖZKAN

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

ELEKTRİK ve ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2011

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Alper URAZ

Üye (Danışman) : Prof. Dr. Hüseyin DEMİRCİOĞLU

Üye : Prof. Dr. Salim KAYHAN

Üye : Doç. Dr. Atila YILMAZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yakup ÖZKAZANÇ

ONAY

Bu tez/...../..... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Adil DENİZLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

KAMERA GÖRÜNTÜLERİNDEN HAREKETLİ HEDEF TESPİTİ

Derya ÖZKAN

ÖZ

Bu tez çalışmasında, kamera görüntülerinden hareketli hedef tespiti için kullanılan bazı yöntemler incelenmiş ve bu yöntemlerin uygulama sonuçları sunulmuştur. Hareketli hedef tespiti, sabit ve hareketli kamera görüntüleri için ayrı ayrı ele alınmış, hedef tespiti her iki durum için farklı yöntemler gerektirmiştir.

İlk olarak, eşikleme yöntemlerinden biri olan Otsu yöntemi incelenmiş ve uygulanmıştır. Otsu yöntemi ile imgeler iki veya daha fazla gri seviyeli olarak gösterilebilmiştir. Bu yöntem ile kamera ve hedefin hareketine bakılmaksızın görüntülerdeki olası hedefler bulunabilmiştir.

Sabit kamera görüntülerinden hareketli hedef tespiti için arkaplan çıkarım yöntemlerinden Zamansal Fark ve Yaklaşık Ortanca Süzgeçleme Yöntemleri incelenmiş ve gerçekleştirilmiştir. Her iki yöntemle de etkin bir şekilde hedef tespiti yapılabilmektedir.

Hareketli kamera görüntülerinden hareketli hedef tespiti için görüntülerdeki arkaplan hareketini yok etmek gerekmektedir. Bu işlem Harris öznitelik noktaları algılayıcısı, Düzgelenmiş Çapraz İlinti yöntemi ve RANSAC yöntemlerinin birlikte kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Düzgelenmiş Doğrudan Doğrusal Dönüşüm ve RANSAC algoritması ardışık imgeler arasındaki homografi matrisini bulmak için kullanılmıştır. Bulunan homografi matrisi ile arkaplanda görülen hareket yok edilmiş ve imgeler hizalanmıştır. Ardından Zamansal Fark yöntemi hareketli hedeflerin tespiti için kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hareketli Hedef Tespiti, Otsu Yöntemi, Arkaplan Çıkarımı, Öznitelik Noktaları Eşleştirme, RANSAC, Homografi Dönüşüm Matrisi, İzdüşümsel Dönüşüm, İmge Hizalama, Arkaplan Hareketini Yok Etme

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin DEMİRCİOĞLU, Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü.

DETECTION of MOVING TARGETS FROM VIDEO SEQUENCES

Derya ÖZKAN

ABSTRACT

In this thesis, some methods for detecting moving targets from video sequences were analyzed and the experimental results concerning these methods were presented. Moving target detection was examined for stationary and non-stationary camera images and target detection were required different algorithms for each case.

Firstly, Otsu method was examined and tested. With Otsu method, the image can be represented as two or more gray-levels. Otsu method can detect possible targets from video sequences whether the camera and target are in motion, or not.

For moving target detection from stationary camera two methods of background subtraction, which are called Temporal Differencing and Approximated Median Filtering were examined and tested. Both methods were found to be successful in detecting the targets.

For moving target detection from non-stationary camera, compensation of the apparent movement of the background is required. This movement compensation processs was implemented with Harris feature point detection, Normalized Cross Correlation (NCC) and Random Sample Consensus (RANSAC) algorithms. The Direct Linear Transformation (DLT) and RANSAC algorithms were used to estimate the homography matrix between consecutive images. With this homography matrix the appearent movement of the background was compensated and the images were aligned. Following this, Temporal Differencing was used to detect moving targets.

Keywords: Moving Target Detection, Otsu Method, Background Subtraction, Feature Point Matching, RANSAC, Homography Matrix, Projective Transformation, Image Alignment, Compensation of Background Movement

Advisor: Prof. Dr. Hüseyin DEMİRCİOĞLU, Hacettepe University, Department of Electrical and Electronics Engineering.

TEŐEKKÜR

Bu çalıőmanın oluőturulmasında bilgisi, tecrübesi ve yakın ilgisi ile bana yol gösteren Prof. Dr. Hüseyin DEMİRCİOĞLU'na, desteğinden ve yardımlarından dolayı sonsuz teőekkürlerimi sunuyorum.

Tüm hayatım boyunca yanımda olan ve bugünlere gelmemde her türlü emeği harcayan sevgili aileme en içten teőekkürlerimi sunuyorum. Yüksek lisans çalıőmalarıma sağladığı olanaklar ile destek olan ASELSAN A.Ő.'ye, desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen tüm arkadaşlarıma teőekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
	<u>Sayfa</u>
1. GİRİŞ	1
2. OTSU YÖNTEMİ İLE HEDEF TESPİTİ	7
2.1. Giriş.....	7
2.2. OTSU Yöntemi.....	9
2.2.1. OTSU İkili Eşikleme Yöntemi	11
2.2.2. OTSU Çoklu Eşikleme Yöntemi	13
2.3. Matematiksel Biçimbilim.....	15
2.3.1. Yapısal Eleman.....	16
2.3.2. Aşınma.....	17
2.3.3. Genişleme.....	17
2.3.4. Açılış ve Kapanış	18
2.4. Bağlı Bileşen Etiketleme	20
2.5. Uygulama Sonuçları.....	21
3. SABİT KAMERA İLE HAREKETLİ HEDEF TESPİTİ	30
3.1. Giriş.....	30
3.2. Zamansal Fark Yöntemi.....	32
3.3. Yaklaşık Ortanca Süzgeçleme Yöntemi (YOS).....	33
3.4. Uygulama Sonuçları.....	35
4. HAREKETLİ KAMERA İLE HAREKETLİ HEDEF TESPİTİ	41
4.1. Giriş.....	41
4.2. Öznitelik Noktalarının Belirlenmesi.....	41

4.2.1.	Moravec Öznitelik Noktaları Belirleme Yöntemi	43
4.2.2.	Harris Öznitelik Noktaları (Kenar ve Köşe) Belirleme Yöntemi.....	47
4.3.	Öznitelik Noktaları Eşleştirmesi.....	51
4.4.	İki Boyutlu İzdüşümsel Geometri ve Dönüşümleri.....	55
4.4.1.	İzdüşümsel Geometri	56
4.4.2.	Perspektif Kamera Modeli.....	58
4.4.3.	İki Boyutlu İzdüşümsel Dönüşümlerin Sıradüzeni	60
4.5.	RANSAC Yöntemi ve Homografi Dönüşüm Matrisinin Bulunması	64
4.5.1.	RANSAC Yöntemi ile Yanlış Eşleştirmelerin Elenmesi	64
4.5.2.	Homografi Dönüşüm Matrisinin Bulunması	67
4.6.	Uygulama Sonuçları.....	71
5.	SONUÇ	83
	KAYNAKLAR	86
	SÖZLÜKÇE	90
	ÖZGEÇMİŞ	91

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Ev imgesi ve ev imgesinin histogramı	10
Şekil 2.2 : Lena imgesi ve Lena imgesinin histogramı	10
Şekil 2.3 : “Ev” imgesinin sırasıyla iki seviyeli ve üç seviyeli gösterimi	11
Şekil 2.4 : “Lena” imgesinin sırasıyla iki seviyeli ve üç seviyeli gösterimi	11
Şekil 2.5 : Yapısal eleman örnekleri	16
Şekil 2.6 : Giriş imgesi (a) ve aşınma işlemi sonucu elde edilen imge (b)	17
Şekil 2.7 : Giriş imgesi (a) ve genişleme işlemi sonucu elde edilen imge (b)	18
Şekil 2.8 : Giriş imgesi (a) ve açılış işlemi sonucu elde edilen imge (b)	19
Şekil 2.9 : Giriş imgesi (a) ve kapanış işlemi sonucu elde edilen imge (b)	20
Şekil 2.10 : İkili imge (a) ve bağlı bileşen imgesi (b)	21
Şekil 2.11 : Termal kamera ile çekilmiş yol video dizininin 50. çerçevesi ve çerçevenin histogram çizgesi	22
Şekil 2.12 : Termal kamera ile çekilmiş yol video dizininin 50. çerçevesinin iki seviyeli gösterimi	23
Şekil 2.13 : Termal Kamera ile çekilmiş yol video dizininin 50. çerçevesinin 2 seviyeli gösterimine kapanış işleminin uygulanması sonucu elde edilen ikili imge (a) ve olası hedeflerin etiketlenmesi (b)	24
Şekil 2.14 : Termal kamera ile çekilmiş yol video dizininin 448. çerçevesi (a) ve çerçevenin histogramı(b)	25
Şekil 2.15 : Termal kamera ile çekilmiş yol video dizininin 448. çerçevesinin iki seviyeli gösterimi	26
Şekil 2.16 : Termal kamera ile çekilmiş yol video dizininin 448. çerçevesinin 2 seviyeli gösterimine kapanış işleminin uygulanması sonucu elde edilen ikili imge (a) ve olası hedeflerin etiketlenmesi (b)	26
Şekil 2.17 : Termal kamera ile çekilmiş köy yolu video dizininin 862. çerçevesi (a) ve çerçevenin histogram çizgesi (b)	27

Şekil 2.18 : Termal kamera ile çekilmiş köy yolu video dizininin 862. çerçevesinin iki seviyeli gösterimi.....	28
Şekil 2.19 : Termal kamera ile çekilmiş köy yolu video dizininin 862. çerçevesinin 2 seviyeli gösterimine kapanış işleminin uygulanması sonucu elde edilen iki seviyeli imge (a) ve olası hedeflerin etiketlenmesi (b).....	28
Şekil 3.1 : Genel arkaplan çıkarım yönteminin akış şeması	31
Şekil 3.2 : Yol imgesinin Zamansal Fark yöntemi ile elde edilen hareketli bölgeleri.....	36
Şekil 3.3 : İç mekan imgesinin Zamansal Fark yöntemi ile elde edilen hareketli bölgeleri	37
Şekil 3.4 : Trafik imgesinin Zamansal Fark yöntemi ile elde edilen hareketli bölgeleri	37
Şekil 3.5 : Yol imgesinin YOS yöntemi ile elde edilen hareketli bölgeleri	39
Şekil 3.6 : İç mekan imgesinin YOS yöntemi ile elde edilen hareketli bölgeleri ...	39
Şekil 3.7 : Trafik imgesinin YOS yöntemi ile elde edilen hareketli bölgeleri.....	40
Şekil 4.1 : Hareketli kamera görüntülerinden hareketli hedef tespitinin akış şeması	42
Şekil 4.2 : Sağ üst çapraz yöndeki 3x3'lük bir pencere için yoğunluk değişimi hesaplamaları.....	44
Şekil 4.3 : Moravec yönteminin farklı durumlardaki gösterimi.....	44
Şekil 4.4 : Moravec işleci uygulanmış test imgeleri	46
Şekil 4.5 : Harris yöntemi uygulanmış test imgeleri	51
Şekil 4.6 : İlinti yöntemi ile eşleştirme aranması	53
Şekil 4.7 : Harris öznitelik nokta algılayıcısı kullanılarak öznitelik noktaları bulunan Ofis1 imgesi.....	54
Şekil 4.8 : Harris öznitelik nokta algılayıcısı kullanılarak öznitelik noktaları bulunan Ofis2 imgesi.....	55
Şekil 4.9 : Ofis1 ve Ofis2 imgelerinin öznitelik noktalarının köşe eşleştirme yöntemi kullanılarak eşleştirilmesi	55
Şekil 4.10 : Konaç sistemini, lens merkezini, görüntü düzlemini gösteren perspektif kamera modeli	58
Şekil 4.11 : Kamera merkezi esas alınarak yapılan dönüşüm örnekleri	61

Şekil 4.12 : Termal kamera ile çekilmiş yol video dizininin 150. çerçevesi (a) ve çerçevenin harris yöntemi ile bulunan öznitelik noktaları (b).....	72
Şekil 4.13 : Termal kamera ile çekilmiş yol video dizininin 153. çerçevesi (a) ve çerçevenin harris yöntemi ile bulunan öznitelik noktaları (b)	73
Şekil 4.14 : 150. ve 153. çerçevelerin NCC yöntemi ile yapılan eşleştirmeleri (a) ve RANSAC yöntemi ile uyumsuz eşleştirmelerin elenmesi (b)	74
Şekil 4.15 : İzdüşümsel dönüşüme uğramış 153. çerçeve (a) ile 150. çerçevenin çakıştırılması ve Zamansal Fark yöntemi ile hareketli hedef tespiti (b).....	74
Şekil 4.16 Termal kamera ile çekilmiş Yol2 video dizininin 700. çerçevesi (a) ve çerçevenin Harris yöntemi ile bulunan öznitelik noktaları (b).....	75
Şekil 4.17 Termal kamera ile çekilmiş Yol2 video dizininin 703. çerçevesi (a) ve çerçevenin Harris yöntemi ile bulunan öznitelik noktaları (b).....	76
Şekil 4.18 : 700. ve 703. çerçevelerin NCC yöntemi ile yapılan eşleştirmeleri (a) ve RANSAC yöntemi ile uyumsuz eşleştirmelerin elenmesi (b)	76
Şekil 4.19 : İzdüşümsel Dönüşüme Uğramış 700. Çerçeve (a) ile 703. Çerçevenin Çakıştırılması ve Zamansal Fark Yöntemi ile Hareketli Hedef Tespiti (b)	77
Şekil 4.20 : Termal kamera ile çekilmiş Yol3 video dizininin 447. çerçevesi (a) ve çerçevenin Harris yöntemi ile bulunan öznitelik noktaları (b).....	78
Şekil 4.21 Termal kamera ile çekilmiş Yol3 video dizininin 451. çerçevesi (a) ve çerçevenin Harris yöntemi ile bulunan öznitelik noktaları (b).....	78
Şekil 4.22 : 447. ve 451. çerçevelerin NCC yöntemi ile yapılan eşleştirmeleri (a) ve RANSAC yöntemi ile uyumsuz eşleştirmelerin elenmesi (b)	79
Şekil 4.23 : Sırasıyla izdüşümsel dönüşüme uğramış 447. çerçeve ile 451. çerçevenin çakıştırılması (a) ve Zamansal Fark yöntemi ile hareketli hedef tespiti (b).....	79
Şekil 4.24 : Termal Kamera ile Çekilmiş Köy Yolu Video Dizininin 860. Çerçevesi (a) ve Çerçevenin Harris Yöntemi ile Bulunan Köşe Noktaları(b)	80
Şekil 4.25 : Termal Kamera ile Çekilmiş Köy Yolu Video Dizininin 865. Çerçevesi (a) ve Çerçevenin Harris Yöntemi ile Bulunan Köşe Noktaları (b)	81
Şekil 4.26 : 860. ve 865. Çerçevelerin NCC Yöntemi (a) ile Yapılan Eşleştirmeleri ve RANSAC Yöntemi ile Yanlış Eşleştirmelerin Elenmesi (b)	81

Şekil 4.27 : İzdüşümsel Dönüşüme Uğramış 860. Çerçevesi (a) ile 865. Çerçevenin Çakıştırılması ve Zamansal Fark Yöntemi ile Hareketli Hedef Tespiti (b)	82
---	----

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : İzdüşümsel düzlemde dönüşümlerin sıralanması ve özet bilgileri .. 63

Çizelge 4.2 : $\alpha = 0.95$ için hesaplanan t değerleri 66

KISALTMALAR DİZİNİ

MB	Matematiksel Biçimbilim
SVD	Singular Value Decomposition (Tekil Değer Ayrıştırma)
DLT	Direct Linear Transformation (Doğrudan Doğrusal Dönüşüm)
YOS	Yaklaşık Ortanca Süzgeçleme
RANSAC	Random Sample Consensus (Rastgele Örnek Onaylaşım)
NCC	Normalized Cross Correlation (Düzgelenmiş Çapraz İlinti)

1. GİRİŞ

Görü, insanlara çevrelerindeki dünyayı inceleme ve olup bitenleri algılama gibi önemli yetiler sağlar. Yapay görme sistemlerinin amacı ise isminden de anlaşılacağı gibi gerçek dünya görüntülerinden bir model oluşturmaktır. Bu sistemlerde kullanılan görüntüler üç boyutlu dünyanın iki boyutlu iz düşümleridir. Bilgisayar görüşü iki boyutlu iz düşümlerinden sahne ile ilgili faydalı bilgileri çıkarır. Kısaca bilgisayar görüşünü, optik araçlar kullanılarak elde edilen imgeleri bilgisayar kullanarak otomatik olarak işleyen ve yorumlayan, bir anlamda insan görüşüne benzemeyi amaçlayan bir bilim dalı olarak tanımlayabiliriz [1].

Bir imge iki boyutlu $f(x,y)$ işlevi olarak tanımlanabilir. Burada x ve y uzamsal konumlar ve x, y konumlarına bağlı olan f işlevinin değeri ise yoğunluk ya da imgenin grilik seviyesi olarak adlandırılır. x, y konumları ve f işlevinin yoğunluk değerinin tümü sonlu ise bu imge "sayısal görüntü" olarak isimlendirilir. Sayısal görüntü işlemenin alanı, bilgisayar yardımıyla sayısal imgelerin işlenmesidir. Sayısal imge sonlu sayıda elemandan oluşur ve her bir elemanın belirli bir yeri ve değeri vardır. Bu elemanlar imge elemanı ya da piksel olarak isimlendirilir. Sayısal görüntü işlemleri 3 işlevsel kısma ayrılabilir [2].

- Gürültü onarımı: imgelerin taratılması, kaydedilmesi ve oynatılması gibi işlemler sonucu ortaya çıkan veri hatalarını, gürültüleri siler ve geometrik bozulmaları düzeltir.
- Görüntü iyileştirilmesi: kontrast iyileştirme, kontrast keskinleştirme, süzgeçleme gibi işlemlerle görüntü bilgi içeriğini iyileştirir.
- Bilgi çıkarımı: bölütleme sonucu oluşan nesnelere tanımlamak ve sınıflandırmak ya da anlamlandırmak için çeşitli işlemler kullanarak imgelerden faydalı bilgiyi çıkarmayı amaçlar.

Robotik, tıbbi görüntü analizi, trafik gözetim sistemleri, yapay zeka konusunda görsel bilgi kullanımı, uzay programları, askeri uygulamalar, güvenlik amaçlı gözetleme gibi pek çok farklı alanlarda sayısal görüntüye ihtiyaç doğmuş ve böylelikle sayısal görüntü işleme gelişmiş ve gelişmeye devam etmektedir.

Birçok biyolojik sistemde olduğu gibi bilgisayarlı görü sistemlerinde de hareket eden, değişen, ilgi çeken nesnelere tespitinin ve izlenmesinin önemli bir yeri vardır. Bu sebepten dolayı sayısal görüntü işlemenin önemli uygulama alanlarından biri de ilgi alanındaki olası hedeflerin tespitidir.

İmge bölütleme, sayısal görüntü işlemede ve bilgisayar görü sistemlerinde imgenin incelenmesi, anlamlandırılması, tanımlanması gibi amaçlar için kullanılan en temel tekniklerden biridir. Bütün bölütleme teknikleri arasında, imge bölütlemeye en yaygın ve sıklıkla kullanılan yöntem otomatik eşiklemedir. Otomatik eşiklemenin temel fikri, imgelerin gri seviye dağılımlarına bakarak imgenin arka planından ilgi alanındaki nesnelere ayırmak için en iyi bir ya da daha fazla eşik değerini seçebilmektir.

Sezgin ve Sankur [3] otomatik eşikleme üzerine yaptıkları çalışmada, çok sayıda farklı imge eşikleme yöntemini incelemişler, bu yöntemlerin ayrıntılı tanımlarını vermişler ve başarımlarını karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır. Eşikleme yöntemlerini kullandıkları bilginin cinsine ve bilgiyi değerlendirme biçimlerine göre gruplara ayırmışlardır.

Otsu 1979 yılında gri seviye dağılımlarına (histogram) dayalı etkili bir otomatik eşik değeri bulma yöntemi sunmuştur [4]. Otsu yöntemi, eşikleme üzerine yapılan ilk çalışmalardan biri olmasına karşın birçok uygulamada başarılı sonuçlar vermiştir. Bu yöntemle en iyi eşik değeri imge histogramındaki sınıflar arası değişimiyi en büyükleyen değer olarak seçilmiştir. Bu yöntem; eşik değerlerini otomatik olarak belirleyebilmesi, sınıfların ortalama değerlerini, sınıf içi ve sınıflar arası değişimlerini verebilmesi açısından bakıldığında da oldukça etkili ve basit bir yöntem olarak kabul görmüştür [5], [6], [7], [8].

Otomatikleştirilmiş video gözetleme sistemleri, görüntü sensörlerinin ucuzlaması, algoritma hesaplama zamanının ve maliyetinin düşmesi gibi çeşitli sebeplerden dolayı bilgisayarlı görme dalında önemli ve popüler bir araştırma konusu olarak

ortaya çıkmıştır. Özellikle son yıllarda hareketli hedef tespiti; gözetleme, insan tespiti ve incelenmesi, trafik görüntüleme ve incelenmesi, tıbbi teşhis ve iyileştirme, su altı görüntülenmesi gibi birçok alandaki uygulamalarından dolayı bilgisayar görüşü araştırmacıları tarafından büyük ilgi görmektedir [9], [10], [11], [12], [13]. Gözetleme sistemlerinin çoğu sabit kamera kullanılarak oluşturulmaktadır. Belirli bir bölgenin kaydedilen görüntülerinin gerçek zamanlı olarak işlenip hareketli hedeflerin tespit edilebilmesi ve önceden belirlenen olası durumlar için kullanıcıya haber verilebilmesi bu gözetleme sistemlerinden beklenen en önemli görevlerdir. Hareketin algılanması ve algılanan nesnelerin sağlıklı takibi için güvenilir ve etkili arkaplan kestirim ve ayrıştırma birimleri gerekmektedir [12].

Cheung, Kameth [12] ve Piccardi [14] yaptıkları çalışmalarda Zamansal Fark, Ortanca Süzgeçleme, Yaklaşık Ortanca Süzgeçleme, Gauss İşlevleri Karışım Modeli, Aşamalı Arkaplan Kestirimi gibi arkaplan çıkarım yöntemlerini incelemişler ve literatürde sık kullanılan arkaplan çıkarım yöntemlerinin başarımlarını değerlendirmişlerdir. Cheung, Kameth [12] yaptıkları incelemelerde Gauss İşlevleri Karışım Modeli'nin en iyi sonuçları verdiğini, Yaklaşık Ortanca Süzgeçleme Yönteminin ise onunla yarışır fakat basit bir alternatif yöntem olduğu sonucuna varmışlardır.

1995 yılında İngiliz hükümeti tarafından büyük ticari hayvan çiftliklerindeki yeni doğan domuzların izlenebilmesi için bu konuda yapılan araştırmalara yatırım yapılmıştır. McFarlane ve Schofield [15], bu alanda yaptıkları çalışma olan Yaklaşık Ortanca Süzgeçleme yöntemini sunmuşlardır. Güncel çerçeve ile bu yöntem ile bulunan arkaplan modeli arasındaki fark, ardışık çerçeveler arasında alınan imge farkından daha iyi bir bölütleme sağlamıştır. Yöntem ile hem hedefin tüm alanının tespiti sağlanır hem de duraklayan hedefler tespit edilebilir. Arkaplan modeli, zaman içinde gelen piksellerin ortancasının alınmasıyla oluşturulur.

Hareketli kamera ile çekilmiş video görüntülerinden hareketli hedef tespitinin; keşif, gözlem, hedef takibi yapan birçok askeri uygulamada, insansız araçların güdümünde, video gözetlemede, trafik görüntülemede, robot görüşü ve ilgili diğer uygulamalarda önemli bir yeri vardır. Aynı zamanda literatürde bu tarz konular

önemli ve ilgi çeken araştırma konularıdır. Bu şekilde elde edilen görüntüler devingen görüntüler olarak yorumlanır ve sabit kamera ile çekilmiş görüntülerden farklı bir yapıya sahiptirler. Görüntüler sabit kamera ile çekildiğinde ve arkaplan sabit olduğunda görüntü dizininden hareketli hedefleri tespit etmek kolaydır. Hareketli kamera ile elde edilen görüntülerin arkaplanları hareketli olduğu için bu görüntülerden hareketli hedef tespiti oldukça zor olmaktadır. Özellikle havadan çekilen görüntülerde arkaplanın hızlı değişmesi ve görüntülerin karmaşık doku özelliklerine sahip olması durumu zorlaştıran diğer etmenlerdir.

Hareketli kamera görüntülerindeki hareketli nesnelere tespit edilmesinde görüntüleri birbiriyle ilişkilendirip arkaplan hareketini telafi edilmesinin önemli bir yeri vardır. Bu tarz yaklaşımın 3D model çıkarımı, nesne tespiti ve tanınması, görüntü hizalama, otomatik kamera ayarlama, hareket algılama, mozaikleme, panorama dikiş gibi birçok uygulamada önemli bir yeri vardır. Görüntülerdeki kamera hareketinin telafi edilmesi için görüntü eşleştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Görüntü eşleştirmede iki temel yöntem kullanılır. Bunlar “alan tabanlı yöntemler” ve “ayrıntı tabanlı yöntemler” olarak ayrılabilir. İnsan görme sistemine benzemesinden dolayı ayrıntı tabanlı yöntemler, alan tabanlı yöntemlere göre daha iyi sonuçlar veren ve sıklıkla kullanılan görüntü eşleştirme yöntemlerindedir. Ayrıntı tabanlı yöntemlerde ilk olarak öznitelik ayrıntılar (belirgin noktalar, köşeler, kenarlar) bulunur ve daha sonra bu ayrıntılar video dizinindeki hareket modelinin çıkarılabilmesi için eşleştirilirler [16], [17], [18], [19].

Ayrıntı tabanlı yöntemler içinden işlem yapması kolay olan, kararlı ve gürbüz sonuçlar veren öznitelik noktaları algılayıcıları tercih edilmektedir. Literatürde FAST, SUSAN, Moravec, Harris & Plessey, SIFT ve KLT gibi öznitelik noktaları algılayıcıları bulunmaktadır [19], [20], [21], [22], [23]. 1988 yılında Harris ve Stephens [20] tarafından, Moravec işleci geliştirilerek yeni bir öznitelik noktaları işleci denenmiştir. Moravec [23] işlecinde olduğu gibi, Harris işlecinde de eşlenik noktaların ardışık görüntüler içerisinde bulunabilmesi için bir yöntem araştırılmıştır, ancak Moravec'teki duruma ek olarak hem köşe noktaları hem de kenarlar üzerinde durulmuştur. Temel prensibi, bir arama penceresinin imge pikselleri etrafında kaydırılarak pikselin çevre pikseller ile gri-seviye farkının değişimine

bakılarak öznitelik noktalarına karar verilmesidir. Bugün en yaygın kullanılan öznitelik noktaları algılayıcılarından biridir.

Kameranın hareketinden kaynaklanan arkaplan hareketinin telafi edilmesinde görüntüleri etkileyen dönme, ötelenme, bozulmayı simgeleyen izdüşümsel dönüşüm matrisinin bulunabilmesi gerekir. Bunun için imgelerdeki öznitelik noktaların eşleştirme yoluyla bulunarak dönüşüm matrisinin bulunması literatürde kabul gören yaklaşımlar arasındadır. İlk olarak, bulunan öznitelik noktaları Düzgelenmiş Çapraz İlinti (Normalized Cross Correlation) yöntemi ile eşleştirilir [24]. Bulunan eşleştirme kümesindeki yanlış eşleştirmeler ise RANSAC (Random Sample Consensus) [25] yöntemi uygulanarak büyük ölçüde elenir. RANSAC yöntemi ilk olarak 1981 yılında Fischler ve Bolles [25] tarafından önerilmiştir. Bu yöntem, uyumsuz verileri olan bir kümeden belirlenen model değişkenlerini bulmayı amaçlar. RANSAC yöntemi kullanılarak iki imgeyi birbiriyle ilişkilendiren 3×3 'lük homografi matrisi ile dönme, ötelenme ve bozulma kaynaklı değişkenler bulunabilir. Böylelikle homografi dönüşüm matrisi H kullanılarak imgelerdeki arkaplan hareketi dengelenmiş olur [16], [26].

Bölüm 2'de, Otsu yöntemi ve matematiksel biçimbilim işleçlerinin kuramsal altyapıları sunulmuştur. Yapılan uygulama çalışmaları ile kameranın hareketine bakılmaksızın imgelerdeki tüm hareketli ve hareketsiz hedefler Otsu yöntemi ile bulunmaya çalışılmıştır.

Bölüm 3'de, sabit kamera görüntülerinden hareketli hedefleri tespit etmek için kullanılan arkaplan çıkarım yöntemlerinden "Zamansal Fark" ile "Yaklaşık Ortanca Süzgeçleme" yöntemlerinin kuramsal altyapısı sunulmuştur. Yapılan uygulama çalışmaları ile yöntemlerin artıları ve eksileri incelenmiştir.

Bölüm 4'de, hareketli kamera görüntülerindeki arkaplan hareketini yok etmek için kullanılan yöntemler anlatılmıştır. Bu bölümde, imgelerdeki öznitelik noktalarını bulmak için kullanılan Harris öznitelik noktaları bulma yöntemi, bulunan noktaların ilk eşleştirmelerini sağlayan Düzgelenmiş Çapraz İlinti yöntemi ve yanlış eşleştirmelerin elenmesini sağlayan RANSAC yöntemi incelenmiştir. Bu yöntemler kullanılarak imgeleri birbiriyle ilişkilendiren homografi dönüşüm matrisi

bulunmuştur. Yapılan uygulama çalışmaları ile termal kamera ile çekilmiş imgeler üzerine yöntemler uygulanmış ve sonuçları incelenmiştir.

Bölüm 5'de yapılan çalışmalar irdelenmiş, elde edilen sonuçlar sunulmuş ve gelecekte bu konu ile ilgili yapılabilecek çalışmalara ilişkin önerilerde bulunulmuştur.

2. OTSU YÖNTEMİ İLE HEDEF TESPİTİ

2.1. Giriş

İmge bölütleme, örüntü tanıma, bilgisayarlı görü ve imgenin anlaşılması gibi birçok uygulamada daha fazla görüntü içeriğinin etkin bir şekilde alınması ve alınan görüntülerin daha iyi anlaşılması için kullanılan önemli bir adımdır. Bölütleme sonucu gri seviyeli imge birbiriyle çakışmayan alt imge bölgelerine ayrılır. Bölütlemenin amacı, imgeyi daha iyi anlamak ve daha kolay bir şekilde incelemek için imgenin gösterimini değiştirmek ya da basitleştirmektir. İmge bölütleme, imgedeki nesnelere ve sınırlarını (çizgiler, eğriler, vb) bulmak için kullanılır. Bir bölgedeki pikseller renk, yoğunluk ya da doku gibi bazı ayırt edici özellikler açısından benzerlik gösterirler ve bunlar bölütlemeye kullanılan temel özelliklerdir [1], [2].

Gri seviyeli imgelerde bölütleme yapmak için en çok kullanılan özelliklerden biri bütün piksellerin paylaştığı bir özellik olan yoğunluk değeridir. Sahnede değişikliklere karşı gürbüz bir bölütleme yapmak için kullanılan bölütleme yöntemi imgedeki yoğunluk örneklerini kullanarak uygun eşik değerini otomatik olarak seçebilmelidir. Basit uygulanabilmesi ve iyi sonuçlar vermesinden dolayı, eşikleme işlemi bölütlemeye kullanılan görüntü işlemenin en temel yöntemlerinden birisidir. Bir imgede, arka plandan nesnelere ayırmak için kullanılan en basit yöntem bu iki modu birbirinden ayıran T eşik değerini seçmektir. İmgeyi arkaplan ve nesnelere olmak üzere farklı moda ayıran T eşik değeri imgenin histogram çizgesinden yararlanılarak bulunabilir. Eğer $g(x, y)$, $f(x, y)$ imgesinin belli bir T eşik değerine göre eşiklenmiş biçimi ise,

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } f(x, y) \geq T \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (2.1)$$

şeklinde tanımlanır. $g(x, y)$ iki seviyeli bir imge olup, $f(x, y) \geq T$ 'ye karşılık gelen pikseller hedef piksellerini, diğerleri ise arkaplanı göstermektedir [1], [2].

Eşikleme, gri seviyeli bir imgeden iki seviyeli bir imge elde etmek için kullanılan ve sonucunda arkaplandan olası hedefleri çıkaran bir yöntemdir. Eşikleme yöntemleri kullandıkları bilginin cinsine ve bilgiyi değerlendirme biçimlerine göre 6 ana gruba ayrılabilir [3]:

- Histogram Şekline Dayalı Eşikleme Yöntemleri: İmge histogramındaki tepeleri, vadileri ve eğrilikleri inceler ve bu özellikleri kullanarak bir veya daha fazla eşik değeri belirler.
- Kümelenmeye Dayalı Eşikleme Yöntemleri: Gri seviyeli bir imgenin, çeşitli gri seviye kümelenme yöntemleri ile ya da Gauss tabanlı iki dağılımın karışımı olarak nesne ve arkaplan olarak ayrılmasını sağlayan yöntemdir.
- Entropiye Dayalı Eşikleme Yöntemleri: Entropi, düzensizliğin ölçüsü olarak ifade edilebilir. Bu yöntemlerden bazılarında ön plan ve arka plan bölgerinin entropisi enbüyüklenerek eşik değeri bulunurken, bazılarında ise gri seviyeli imge ile ikili seviyeye dönüştürülmüş imgenin çapraz entropisine bakılarak eşik değeri belirlenir.
- Nesne Özelliklerine Dayalı Eşikleme Yöntemleri: Gri seviyeli imge ile eşiklenmiş imgenin karşılaştırılması ile bir eşik değeri seçilir.
- Uzamsal Bilgiye Dayanan Eşikleme Yöntemleri: Pikseller arası ilintiye ve/veya yüksek dereceden olasılık dağılımlarına bakılarak eşik değerleri belirlenir.
- Yerel Uyarlamalı Eşikleme Yöntemleri: İmgenin yerel özelliklerine bakılarak eşik değerlerine karar verilir.

Gürültüye karşı imgelerin hassasiyeti, çevresel aydınlatma koşulları, gri-seviyeli piksellerin hedef ve arkaplana dağılımındaki karmaşıklık, hedef ve arkaplanın yoğunluk değerleri arasındaki yetersiz zıtlık, hedef boyunun imge boyu ile uyumlu olmaması gibi çeşitli faktörler eşikleme işlemi zorlaştırmaktadır. Ayrıca, çeşitli eşikleme yöntemlerinin başarısını değerlendirmek için kullanılan hedef

ölçümlerinin yetersizliği, çevre koşullarında kapsamlı test olanaklarının zorlukları ise eşikleme işlemini zorlaştıran diğer büyük engeller olarak düşünülebilir. Bu gibi engellerle beraber, büyük değişimlere ve detaylara sahip imgeler bölütlenmek istendiğinde hiçbir eşikleme algoritması bütün imgeler üzerinde başarılı olamamaktadır [3], [8], [27].

Yukarıda da bahsedildiği gibi arkaplandan ilgi alanındaki nesnelere çıkarılması gerektiğinde uygun eşik değerinin ya da değerlerinin bulunabilmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Gri seviye kümelenmesine dayanan yöntemlerden biri olan "Otsu Eşikleme Yöntemi" imge eşikleme alanında yapılan ilk çalışmalardan birisidir [4]. Otsu yönteminde, eniyi eşik değeri imge histogramındaki sınıflar arası değişimi enbüyükleyen değer olarak seçilmiştir. Bu yöntem, oluşturulan sınıfların sadece sıfırıncı ve birinci dereceden birikimli momentleri ile gerçekleştirildiği için basit bir yöntem olarak kabul edilir. Aynı zamanda eşik değerlerini otomatik olarak belirleyebilmesi, sınıfların ortalama değerlerini, sınıf içi ve sınıflar arası değişimlerini verebilmesi açısından bakıldığında da oldukça etkili ve basit bir yöntem olarak kabul görmüştür [3], [4].

Basit ve gerçekleşmesinin kolay olması ve birçok uygulamada başarılı sonuçlar vermesi sebebiyle, bu tez çalışmasında hedef belirleme yöntemlerinden biri olarak Otsu yöntemi ele alınmış ve incelenmiştir.

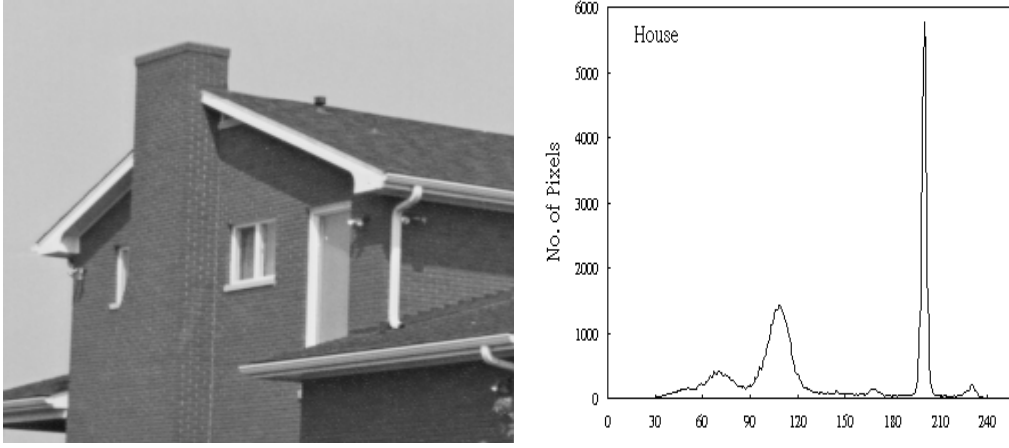
2.2. OTSU Yöntemi

İmge bölütlemenin imge çözümlenmesinde ve bilgisayarlı görü sistemlerinde önemli bir rolü vardır. Bütün bölütleme teknikleri arasında otomatik eşikleme yöntemleri basit ve kısa zamanda uygulanabildikleri için birçok uygulamada kullanılmaktadırlar. Otomatik eşiklemenin temel fikri arkaplandan ilgi alanımızda olan nesneyi bölütlemek için en uygun gri seviyeli eşik değerlerini seçmektir.

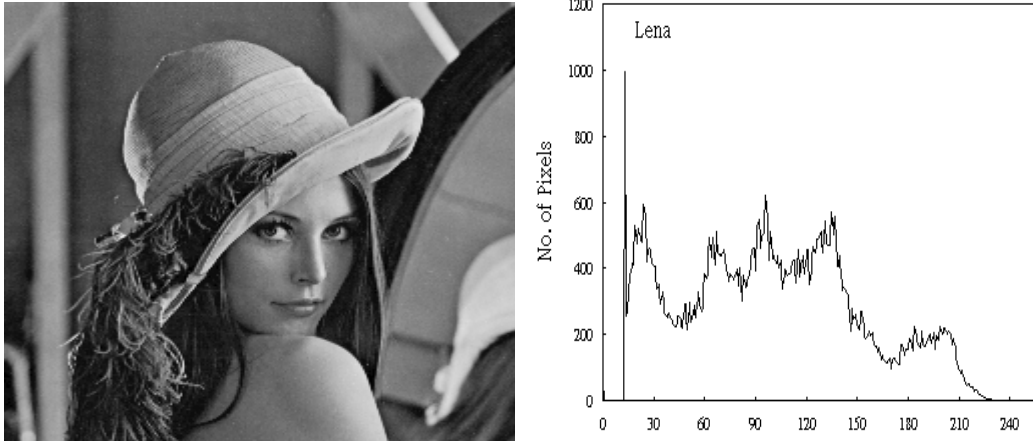
Otsu eşikleme yöntemi birçok uygulamada kullanılan ve başarılı sonuçlar veren bu eşikleme yöntemlerinden biridir. Bu eşikleme yönteminde eniyi eşik değerinin belirlenmesi nesne ve arkaplan piksellerine ilişkin ağırlıklandırılmış toplam sınıf içi değişimlerinin enküçüklenmesi ile gerçekleştirilmektedir. Sınıf içi değişimlerinin

enküçüklenmesi aynı zamanda sınıflar arası değışintinin enbüyüklenmesine karşı düşmektedir [4].

Eşikleme işlemi ile gri seviyeli imge iki ya da çok seviyeli imgeye dönüştürülebilir. İkili eşiklemede, gri seviyeli imge arkaplan ve nesne olmak üzere iki farklı seviye grubuna ayrılır. Çoklu eşiklemede, gri seviyeli imge ikiden fazla gri seviye ile gösterilir [3], [4]. Şekil 2.1 sırasıyla “Ev” imgesini ve histogramını, aynı şekilde Şekil 2.2 “Lena” imgesini ve histogramını göstermektedir. Bu imgelerin Otsu yöntemi ile bulunan iki seviyeli ve üç seviyeli gösterimleri örnek olarak Şekil 2.3 ve Şekil 2.4’de verilmiştir.



Şekil 2.1 : Ev imgesi ve ev imgesinin histogramı



Şekil 2.2 : Lena imgesi ve Lena imgesinin histogramı

Şekil 2.3’de hedefin (ev) arkaplandan ayrıldığı görülmektedir. Şekil 2.4’de hedef (Lena) ve arkaplan piksellerinin yoğunluk farklarının birbirine yakın olmasından dolayı bir ayırım yapılamamıştır.



Şekil 2.3 : “Ev” imgesinin sırasıyla iki seviyeli ve üç seviyeli gösterimi



Şekil 2.4 : “Lena” imgesinin sırasıyla iki seviyeli ve üç seviyeli gösterimi

2.2.1. OTSU İkili Eşikleme Yöntemi

N pikseli olan gri seviyeli bir imgenin toplam L tane gri seviye içerdiğini varsayalım. i gri seviyesine sahip olan toplam piksel sayısı f_i ile ve imgede bir

pikselin i ($1 \leq i \leq L$) gri seviyesine sahip olma olasılığı ise aşağıdaki gibi gösterilsin [4], [6].

$$P_i = \frac{f_i}{N} \quad (2.2)$$

İki seviyeli eşiklemeden sonra pikseller iki sınıfa ayrılırlar.

C_1 : gri seviyesi $1 \leq i \leq T$ aralığında olan pikseller kümesi, T hesaplanan eşik değeridir.

C_2 : gri seviyesi $T < i \leq L$ aralığında olan pikseller kümesi.

C_1 ve C_2 sınıflarının sıfırıncı derece birikimli momentleri ω_1 ve ω_2 aşağıdaki gibidir.

$$\omega_1 = \sum_{i=1}^T P_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^T f_i \quad (2.3)$$

$$\omega_2 = \sum_{i=T+1}^L P_i = \frac{1}{N} \sum_{i=T+1}^L f_i \quad (2.4)$$

C_1 ve C_2 sınıflarının ortalaması ise ,

$$\mu_1 = \sum_{i=1}^T \frac{iP_i}{\omega_1} = \frac{\sum_{i=1}^T if_i}{\sum_{i=1}^T f_i} \quad (2.5)$$

$$\mu_2 = \sum_{i=T+1}^L \frac{iP_i}{\omega_2} = \frac{\sum_{i=T+1}^L if_i}{\sum_{i=T+1}^L f_i} \quad (2.6)$$

şeklinde gösterilir. Bütün imgenin yoğunluk ortalaması ise ,

$$\mu = \omega_1 \mu_1 + \omega_2 \mu_2 = \sum_{i=1}^L iP_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^L if_i \quad (2.7)$$

şeklindedir. Eşiklenmiş imgenin sınıflar arası değişintisi aşağıdaki gibi bulunur.

$$\begin{aligned}
\sigma_B^2 &= \omega_1 (\mu_1 - \mu)^2 + \omega_2 (\mu_2 - \mu)^2 \\
&= \omega_1 \mu_1^2 - 2\omega_1 \mu_1 \mu + \omega_1 \mu^2 + \omega_2 \mu_2^2 - 2\omega_2 \mu_2 \mu + \omega_2 \mu^2 \\
&= \omega_1 \mu_1^2 + \omega_2 \mu_2^2 + \underbrace{\mu^2 (\omega_1 + \omega_2)}_1 - 2\mu \underbrace{(\omega_1 \mu_1 + \omega_2 \mu_2)}_\mu \\
&= \omega_1 \mu_1^2 + \omega_2 \mu_2^2 - \mu^2
\end{aligned} \tag{2.8}$$

Otsu eşikleme yönteminde T eniyi eşik değerinin belirlenmesi nesne ve arkaplan piksellerine ilişkin ağırlıklandırılmış toplam sınıflar arası değişimiyi gösteren σ_B^2 'nin enbüyüklenmesine karşı düşmektedir.

$$\hat{T} = \arg \max \{ \sigma_B^2 \} \tag{2.9}$$

$$\begin{aligned}
&= \arg \max \{ \omega_1 \mu_1^2 + \omega_2 \mu_2^2 - \mu^2 \} \\
&= \arg \max \{ \omega_1 \mu_1^2 + \omega_2 \mu_2^2 \}
\end{aligned} \tag{2.10}$$

$$\begin{aligned}
&= \arg \max \left\{ \frac{1}{N} \left[\frac{\left(\sum_{i=1}^T if_i \right)^2}{\sum_{i=1}^T f_i} + \frac{\left(\sum_{i=T+1}^L if_i \right)^2}{\sum_{i=T+1}^L f_i} \right] \right\} \\
&= \arg \max \left\{ \frac{\left(\sum_{i=1}^T if_i \right)^2}{\sum_{i=1}^T f_i} + \frac{\left(\sum_{i=T+1}^L if_i \right)^2}{\sum_{i=T+1}^L f_i} \right\}
\end{aligned} \tag{2.11}$$

Burada μ^2 ve N bütün imgelerde sabittir. Bu yüzden eniyi eşik değerini belirlerken bu sabitler göz ardı edilebilir [4], [6].

2.2.2. OTSU Çoklu Eşikleme Yöntemi

Çoklu eşiklemede, ikili eşiklemedeki iki sınıf K sınıfa ayrılarak genişletilmiştir, o yüzden $K-1$ (T_1, T_2, \dots, T_{K-1}) eşik değerimiz vardır. İmgenin pikselleri K farklı sınıfa bölünür [4], [6]:

C_i : gri seviyesi $1 \leq i \leq T_1$ aralığında olan pikseller kümesi, burada T_1 ilk eşik değeri olarak hesaplanmıştır.

C_2 : gri seviyesi $T_1 < i \leq T_2$ aralığında olan pikseller kümesi, burada T_2 ikinci eşik değeri olarak hesaplanmıştır.

⋮

C_K : gri seviyesi $T_{K-1} < i \leq L$ aralığında olan pikseller kümesi, burada T_{K-1} son eşik değeri olarak hesaplanmıştır.

Her sınıfa karşılık gelen sıfırıncı derece birikimli momentleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\omega_k = \sum_{i \in C_k} P_i = \frac{1}{N} \sum_{i \in C_k} f_i \quad \text{for } k = 1, 2, \dots, K \quad (2.12)$$

Birinci derece birikimli momentleri ise:

$$\mu_k = \frac{1}{\omega_k} \sum_{i \in C_k} iP_i = \frac{1}{N\omega_k} \sum_{i \in C_k} if_i \quad \text{for } k = 1, 2, \dots, K \quad (2.13)$$

şeklinde hesaplanır. Bütün imgenin yoğunluk ortalaması ise

$$\mu = \sum_{k=1}^K \omega_k \mu_k \quad (2.14)$$

şeklinde dir. Son olarak, eşiklenmiş imgenin sınıflar arası değişimini aşağıdaki gibi tanımlarız:

$$\sigma_B^2 = \sum_{k=1}^K \omega_k (\mu_k - \mu)^2 = \left(\sum_{k=1}^K \omega_k \mu_k^2 \right) - \mu^2 \quad (2.15)$$

σ_B^2 enbüyükleyen eniyi eşik değerleri:

$$[\hat{T}_1, \hat{T}_2, \dots, \hat{T}_{K-1}] = \arg \max \{ \sigma_B^2 \} \quad (2.16)$$

$$\begin{aligned} &= \arg \max \left\{ \left(\sum_{k=1}^K \omega_k \mu_k^2 \right) - \mu^2 \right\} \\ &= \arg \max \left\{ \sum_{k=1}^K \omega_k \mu_k^2 \right\} \end{aligned} \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned}
&= \arg \max \left\{ \frac{1}{N} \sum_{k=1}^K \left[\frac{\left(\sum_{i \in C_k} i f_i \right)^2}{\sum_{i \in C_k} f_i} \right] \right\} \\
&= \arg \max \left\{ \sum_{k=1}^K \left[\frac{\left(\sum_{i \in C_k} i f_i \right)^2}{\sum_{i \in C_k} f_i} \right] \right\}
\end{aligned} \tag{2.18}$$

şeklinde hesaplanır. Burada μ^2 ve N her imgede sabittir. Bu yüzden, bu sabitler eniyi eşik değerlerinin hesaplanmasında göz ardı edilebilir [4], [6].

2.3. Matematiksel Biçimbilim

Matematiksel biçimbilim, geometrik yapıları işlemek ve incelemek için kullanılan kafes kuramı, topoloji ve rastgele fonksiyonlara dayalı bir analiz ve işleme yöntemidir. Matematiksel biçimbilim genellikle sayısal görüntülere uygulanır. Bu yöntem başlangıçta ikili görüntüler için tasarlanmış fakat kısa sürede etki alanı gri ölçekli görüntülere de genişletilmiştir.

İkili biçimlendirmede, bir imge öklit uzayının (R^d) ya da tamsayı ızgarasının (Z^d) bir alt kümesi olarak görülebilir. İmgenin biçimbilim incelemesi aşağıda bahsedilen uygulamaları gerçekleştirmek için kullanılabilir:

- Nesne çıkarımı
- İmge süzgeçleme işlemleri, imgeden gürültünün ya da küçük nesnelerin çıkarılması gibi işlemler
- İmge bölütleme işlemleri; bağlı nesnelerin ayrılması gibi işlemler
- Ölçüm işlemleri; doku incelemesi ya da şekil tanımlanması gibi işlemler

Matematiksel biçimbilimde kullanılan temel işlemleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- *Aşınma (Erosion)*
- *Genişleme (Dilation)*

- *Açılış (Opening)*
- *Kapanış (Closing)*

İki temel işleç olan *aşınma* ve *genişlemenin* farklı birleşimleri ile elde edilen *açılış* ve *kapanış* üst düzey işleçleri ile sayısal görüntü işlemede karşılaşılan bağlı nesnelerin ayrılması, imgenin gürültüden temizlenmesi, çok küçük nesnelerin imgeden çıkarılması vb. gibi uygulamalar etkin bir şekilde gerçekleştirilebilir [28], [29], [30].

2.3.1. Yapısal Eleman

İkili biçimbilimin temel fikri, önceden tanımlanmış basit şekli olan ve yapısal eleman olarak adlandırılan piksel gruplarının merkez noktalarını imge pikselleri ile hizalamak ve yapısal elemanın kapsadığı küme elemanları için önceden belirlenen küme işlecini kullanarak işlem yapmaktır. Böylelikle bir çeşit süzgeçleme işlemi gerçekleşmiş olur. Yapısal eleman herhangi bir şekil ve büyüklükte olan sadece '0' ve '1'lerden oluşan bir matris olarak tanımlanabilir. Yapısal elemanlar farklı boyutlarda olabilmektedirler. Yapısal elemanların her birinin birer merkez noktası olup, biçimbilim işleçleri ile süzgeçlenecek imgenin her bir pikseli yapısal elemanın merkez noktasına oturtularak işlem yapılmaktadır. Şekil 2.5'de matematik biçimbilimde kullanılan bazı yapısal eleman örnekleri verilmiştir. Yapısal elemanların boyutları ve yapıları, imgede bulunan ilgi alanındaki nesnelerin boyutlarına ve bu nesneler üstünde gerçekleştirilmek istenen amaca göre değişiklik gösterir [28], [29], [30].

$$YE_{kare} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad YE_{\text{çapraz}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad YE_{\text{çizgi}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

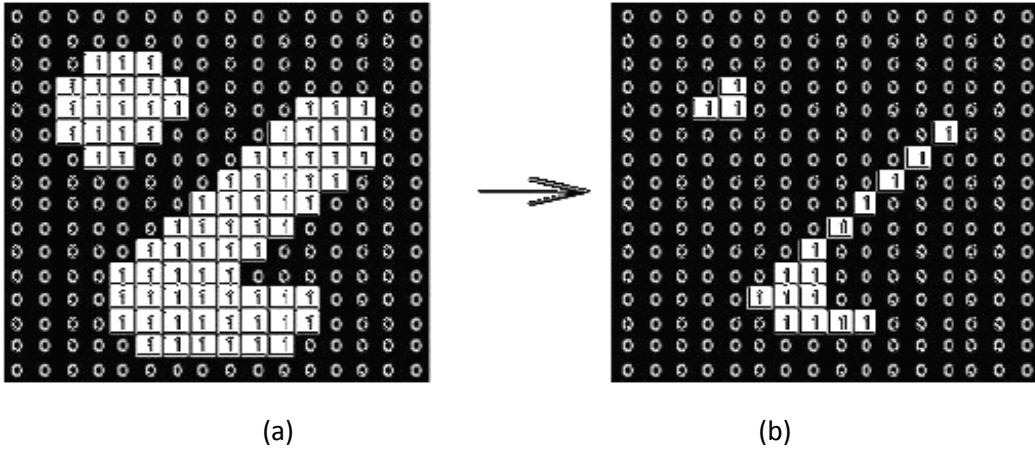
Şekil 2.5 : Yapısal eleman örnekleri

2.3.2. Aşınma

Aşınma, matematiksel biçimbilimin en temel işleçlerinden biridir. *Aşınma* işlecinin temel etkisi imgedeki önplan piksellerinin sınırlarını aşındırmaktır. İmgedeki önplan piksellerinin her biri yapısal elemanın merkezi ile hizalanır. Yapısal elemanın merkez noktasının önplan pikseli ile hizalanması sonucu yapısal elemanın kapsadığı kümenin elemanları içinde en az bir sıfır değeri var ise merkez piksele sıfır değeri atanır. Bu kümenin bütün elemanları bir ise merkez piksel bir değerini alır. Böylelikle önplan piksel gruplarının boyutu küçülür ve içindeki delikler daha da büyür. A iki seviyeli imgenin B yapısal elemanı ile *aşındırma* işlemi (2.19)'deki gibi ifade edilebilir [28], [29], [30].

$$A \square B = \bigcap_{b \in B} A - b = \bigcap_{b \in B} A_{-b} \quad (2.19)$$

Şekil 2.6'da giriş imgesinin (a) üstünde 3×3'lük kare yapısal elemanı kullanılarak gerçekleştirilen *aşınma* işlemi ve elde edilen imge (b) gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere giriş imgesinin önplan piksellerinin sınırları aşınmıştır.



Şekil 2.6 : Giriş imgesi (a) ve aşınma işlemi sonucu elde edilen imge (b)

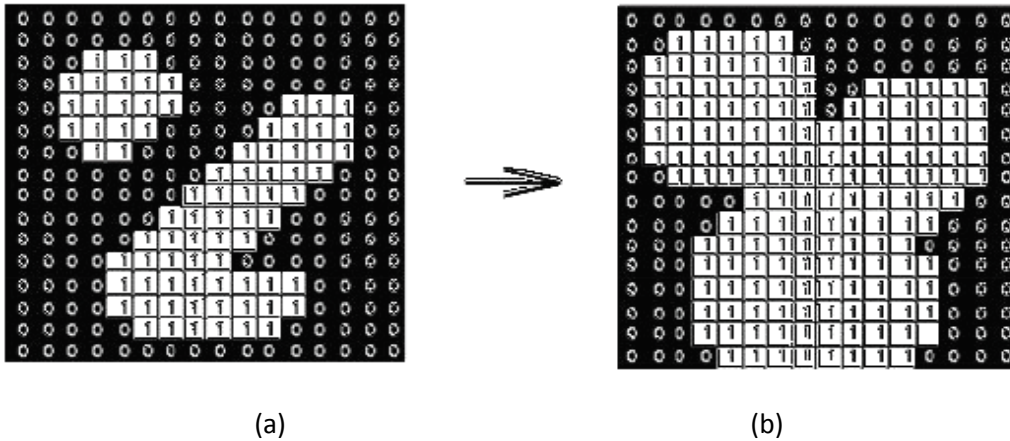
2.3.3. Genişleme

Matematiksel biçimbilimin diğer bir temel işleci de *genişleme* işlecidir. *Genişleme* işlecinin ikili görüntü üstündeki etkisi önplan piksellerinin sınırlarını yavaş yavaş

genişletmektir. Byalelikle nplan piksel kümelerinin içindeki delikler küçülmüş olur. *Aşınma* işleminin tersine; *genişleme* işlemi, yapısal elemanın merkezinin önplan pikselleri ile hizalanması sonucu yapısal elemanın kapsadığı küme sıfırdan farklı bir değer içeriyorsa merkez piksel '1' değerini alır. Oluşan kümenin bütün elemanları sıfır ise merkez piksel '0' değerini alır. A iki seviyeli imgenin B yapısal elemanı ile *genişleme* işlemi (2.20)'deki gibi ifade edilebilir [28], [29], [30].

$$A \oplus B = \bigcup_{b \in B} A + b = \bigcup_{b \in B} A_b \quad (2.20)$$

şekil 2.7'de giriş imgesinin (a) stnde 3x3 kare yapısal elemanı kullanılarak gerçekleştirilen *genişleme* işlemi ve sonucu (b) gösterilmiştir. şekilden de görüldüğü üzere önplan piksellerinin sınırları genişlemiştir.



şekil 2.7 : Giriş imgesi (a) ve genişleme işlemi sonucu elde edilen imge (b)

2.3.4. Açılış ve Kapanış

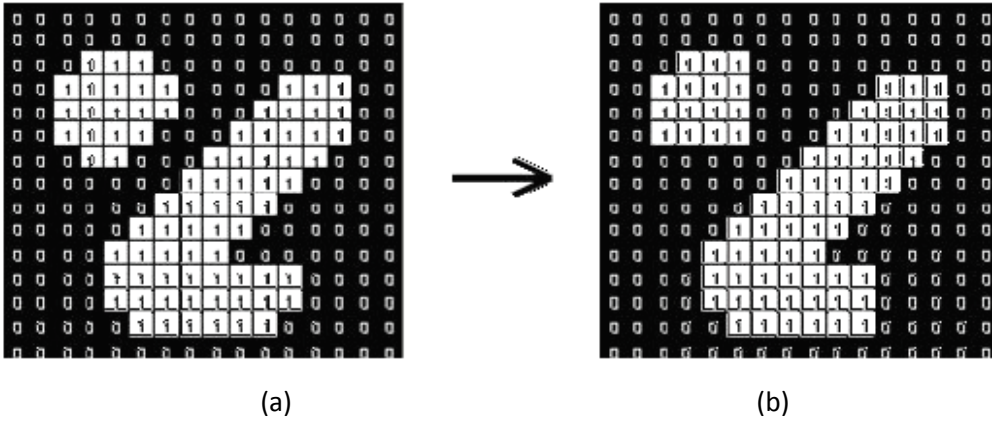
İkili *aşınma* ve *genişleme* işleçleri inceltme, kalınlaştırma, iskelet oluşturma gibi çeşitli şekillerde kullanılabilirler. Bu iki temel işlecin bir araya gelmesiyle “*Açılış*” ve “*Kapanış*” st düzey işleçleri elde edilir. *Açılış* işlemi, aynı yapısal eleman kullanılarak *aşınma* ardından *genişleme* uygulanmasıdır. Bu işlecin küçük ve ince nesnelere ortadan kaldırma ve büyük nesnelere alanlarını önemli oranda değiştirmeden sınırlarını yumuşatma gibi etkileri vardır. A iki seviyeli imgenin B yapısal elemanı ile *açılış* işlemi (2.21)'deki gibi ifade edilebilir [28], [29], [30].

$$A \circ B = (A \square B) \oplus B \quad (2.21)$$

Kapanış işlemi, aynı yapısal eleman kullanılarak *genişleme* ardından *aşınma* uygulanmasıdır. İkili *kapanışın* küçük ve ince delikleri doldurma ve nesnelerin alanlarını önemli ölçüde değiştirmeden sınırlarını yumuşatma etkisi vardır. A iki seviyeli imgenin B yapısal elemanı ile *açılış* işlemi (2.22)'deki gibi ifade edilebilir [28], [29], [30].

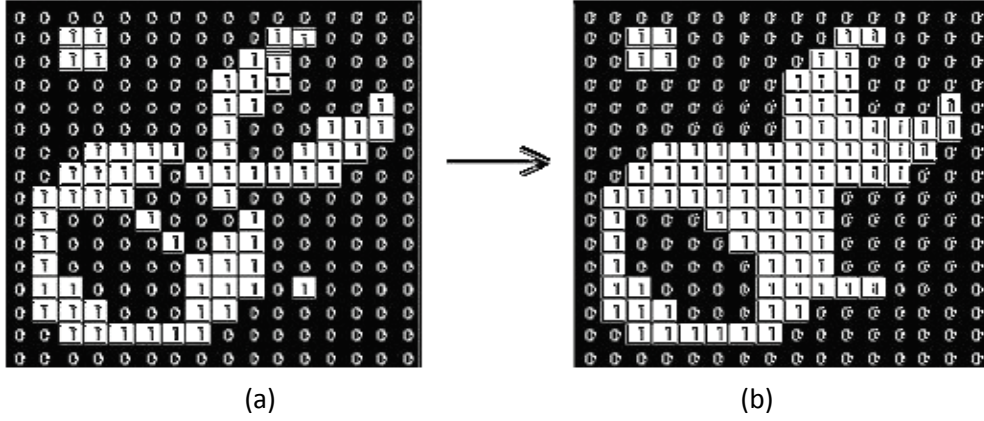
$$A \bullet B = (A \oplus B) \square B \quad (2.22)$$

Şekil 2.8'de giriş imgesinin (a) üstünde 3×3 kare yapısal elemanı kullanılarak gerçekleştirilen *açılış* işlemi ve elde edilen imge (b) gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi *açılış* işleminden önce yapısal eleman önplan piksellerine oldukça iyi oturduğu için *açılma* işleminin etkisi oldukça az olmuştur. *Açılma* işleminin etkisini arttırmak için daha büyük bir yapısal eleman kullanılabilir.



Şekil 2.8 : Giriş imgesi (a) ve açılış işlemi sonucu elde edilen imge (b)

Şekil 2.9'da giriş imgesinin (a) üstünde 3×3 kare yapısal elemanı kullanılarak gerçekleştirilen *kapanış* işlemi ve elde edilen imge (b) gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi nesnenin alanı önemli ölçüde değişmeden küçük ve ince delikler dolmuştur.



Şekil 2.9 : Giriş imgesi (a) ve kapanış işlemi sonucu elde edilen imge (b)

2.4. Bağlı Bileşen Etiketleme

Bağlı Bileşen Etiketleme (Connected Component Labelling) görüntü işlemede ikili sayısal imgelerdeki bağlı bölgeleri tespit etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bağlı Bileşen Etiketleme yöntemi bir imgedeki bütün bağlı bileşenleri bulur ve aynı bileşendeki piksellere tek bir etiket değeri atar. Böylece, önplan ve arkaplanı gösteren ikili sayısal imgedeki bütün bağlı bölgeler etiketlenmiş olur [1].

4 Bağlantılı Bağlı Bileşen Etiketleme Yöntemi:

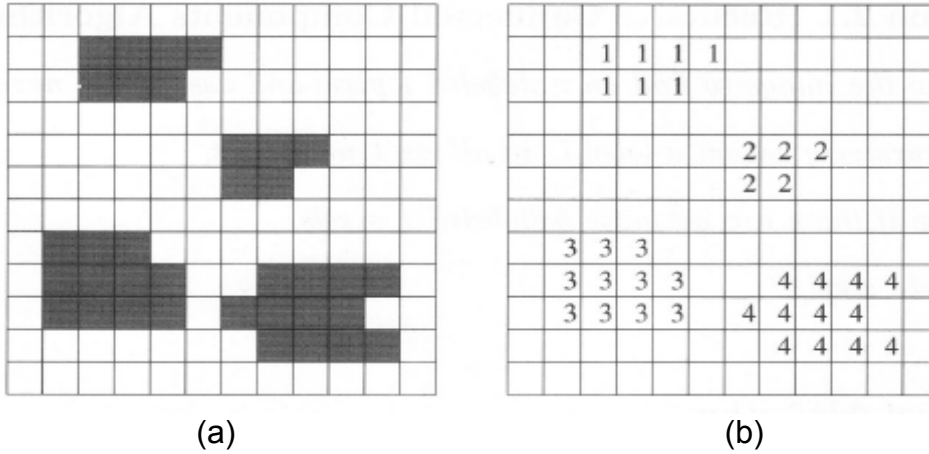
1. İkili imge soldan sağa ve yukarıdan aşağı doğru taranır.
2. Eğer piksel 1 değerine sahip ise,
 - a. Pikselin sol ve üst komşusundan sadece biri bir etikete sahip ise bu etiket numarası o pikselin etiket numarası olur ve eşitlik tablosuna bu etiket değeri girilir.
 - b. Bu komşuların ikisi de aynı etiket numarasına sahip ise bu etiket numarası o pikselin etiket numarası olur ve eşitlik tablosuna bu etiket değeri girilir.
 - c. Bu komşuların ikisi de farklı etiket numarasına sahip ise, üst pikselin etiket değeri o pikselin etiket numarası olur ve eşitlik tablosuna bu etiket değeri girilir.

d. Pikselin sol ve üst komşuları bir etiket değerine sahip değil ise piksele yeni bir etiket değeri atanır ve eşitlik tablosuna bu etiket değeri girilir.

3. Bu şekilde ikili sayısal imge taranır.

4. İmge ikinci defa soldan sağa ve yukarıdan aşağı doğru tekrar taranır. Bağlı bileşenlerin birden fazla etiket numarası var ise bu etiket numaralarından en küçüğü bağlı bileşene etiket numarası olarak atanır.

Şekil 2.10'da ikili imge (a) ve bağlı bileşen imgesi (b) görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere bağlı bileşenler bulunmuş ve bu bileşenlerdeki pikseller aynı etiket numarası ile (b) etiketlenmişlerdir.



Şekil 2.10 : İkili imge (a) ve bağlı bileşen imgesi (b)

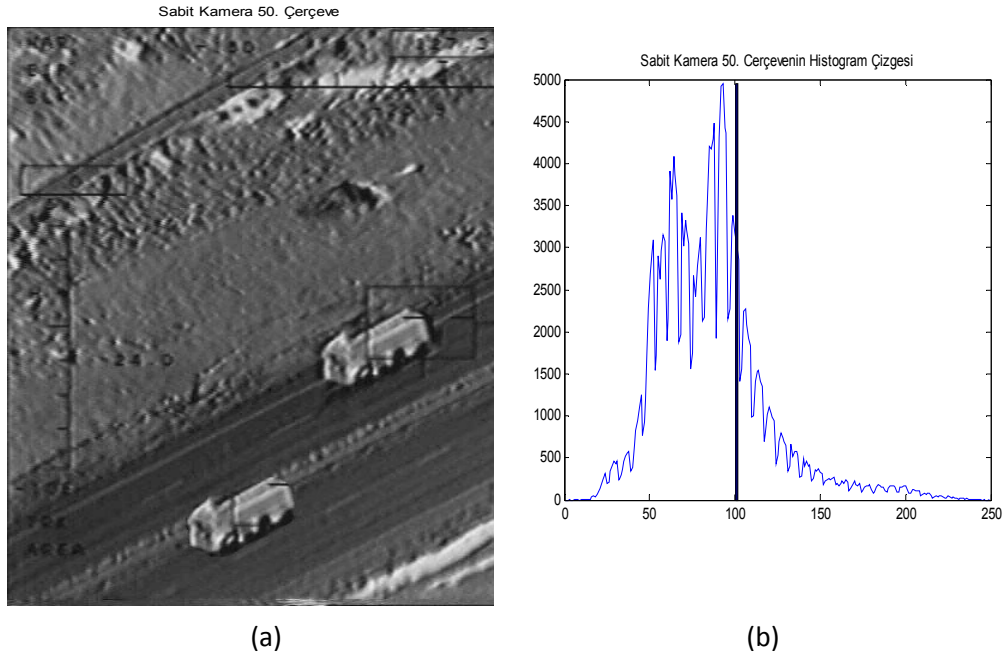
2.5. Uygulama Sonuçları

Bu bölümde, Otsu eşikleme yönteminin MATLAB programı yardımıyla çeşitli termal kamera imgelerine uygulanması neticesinde elde edilen sonuçlar verilmiştir. Farklı imgeler kullanılarak yapılan uygulamalar sonucunda Otsu eşikleme yönteminin doğruluğu ve etkinliği gözlenmeye çalışılmıştır. Bu uygulamalarda farklı aydınlatma, gölgelendirme ve çevresel koşullarda termal bir kameranın değişik kamera açıları ile havadan çekilmiş 406x576 boyutunda imgeleri kullanılmıştır. Bütün örnek imgeler gri seviyeye dönüştürülmüş ve daha sonra Otsu eşikleme yöntemi kullanılarak gri seviyeli imgelerdeki olası hedefler bulunmaya çalışılmıştır. Uygulamalar arkaplanın hareketli ve hareketsiz olduğu imgeler üstünde yapılmıştır

ve hareketli ve/veya hareketsiz olası tüm hedefler kameranın hareketine bağlı olmaksızın etiketlenmiştir. Otsu yöntemi kullanılarak imgedeki hedeflerin yerlerinin tespiti yaklaşık 4-5 sn aralığında gerçekleşmiştir.

İmgelerin iki seviyeli gösterimlerinden olası hedefleri bulmak için uygulamalarda kullanılan imgelere matematiksel biçimbilim işleçleri, alan filtresi gibi çeşitli iyileştirme işlemleri uygulanmıştır. Uygulama çalışmalarında kullanılan imgelerden de görüldüğü gibi matematiksel biçimbilim işleçleri, imgenin karakteristiğini koruyarak görüntü verisinde bazı sadeleştirmeler sağlamıştır. Uygulanan biçimbilim işleçlerinde kare yapısal eleman kullanılmıştır. Böylece çok küçük alanlar görüntüden temizlenebilmiş ve hedefler arkaplandan daha iyi bölümlenebilmiştir. Ayrıca bulunan ikili imgeler Bağlı Bileşen Etiketleme yöntemi ile etiketlenmiştir.

Şekil 2.11'de termal kamera ile çekilen yol video dizininin 50. çerçevesi (a) ve çerçeveye karşılık gelen histogramı (b) gösterilmiştir. Otsu yöntemi ile bulunan eşik değeri de yine aynı histogramda (b) kalın çizgi ile işaretlenmiştir. Gri seviyeye çevrilmiş imge, 256 farklı yoğunluk değeri içermektedir. Otsu yöntemi ile bulunan eşik değeri 101. yoğunluk değerine denk gelmektedir.



Şekil 2.11 : Termal kamera ile çekilmiş yol video dizininin 50. çerçevesi ve çerçevenin histogram çizgesi

Bulunan eşik değeri ile elde edilen imgenin 2 seviyeli gösterimi Şekil 2.12'de verilmiştir. Şekil 2.13 (a)'dan da görüleceği üzere imgenin 2 seviyeli gösterimi üzerinde kare yapısal elemanı kullanılarak *kapanış* biçimbilim işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylece imge gürültüden temizlenmiş, aynı zamanda hedef olamayacak kadar küçük imgeler ayrıştırılmıştır. Ardından kullanılan alan süzgeci ile belirli bir boyutta hedef kabul edilecek nesnelere etiketlenmiştir. Şekil 2.13 (b)'de imgedeki olası hedefler gösterilmiştir.

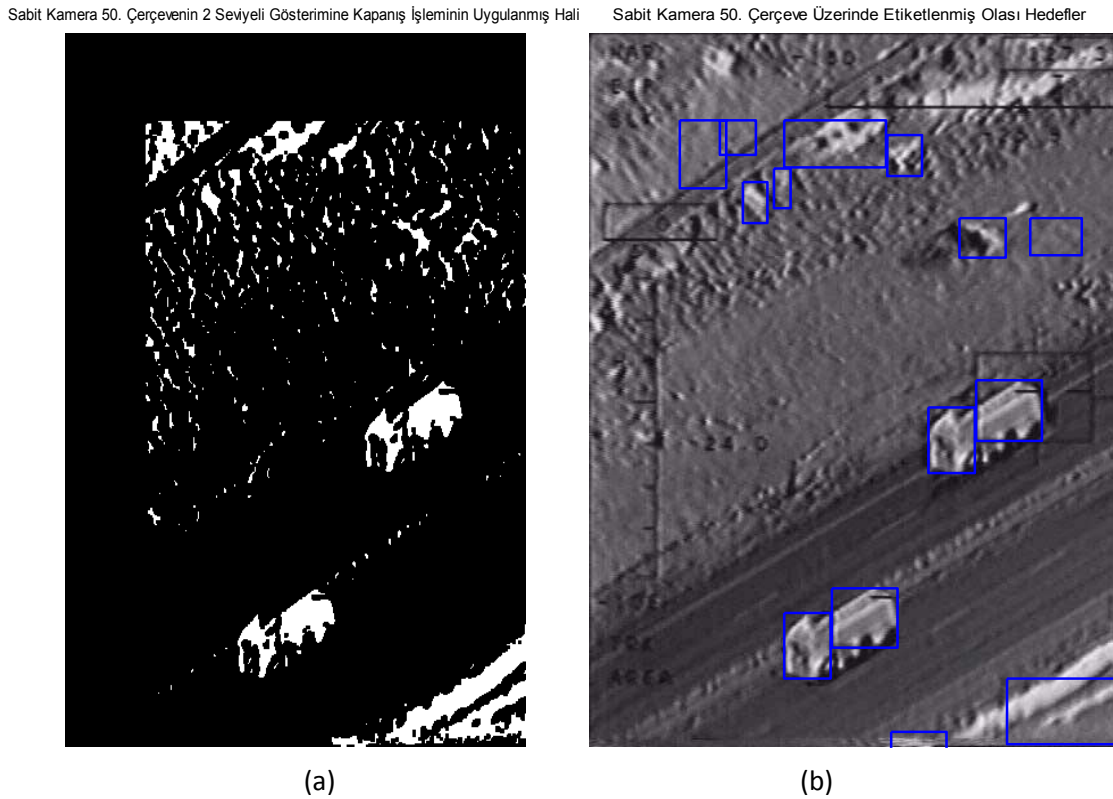
Yaptığımız uygulama çalışmasında kullanılan imgedeki araçlardan soldaki hareketli ve sağdaki araç ise sabittir. Bölüm 2.2'de de anlatıldığı üzere, Otsu eşikleme yöntemi ile bulunan eşik değerleri nesne ve arkaplan piksellerine ilişkin ağırlıklandırılmış toplam sınıf içi değişimlerinin enküçüklenmesi ile bulunduğu için imgenin hareketli kamera ile ya da sabit kamera ile çekilmesine bakılmaksızın imgedeki hareketli, hareketsiz bütün olası hedefler bulunmuştur.

Sabit Kamera 50. Çerçevenin OTSU Yöntemi 2 Seviyeli Gösterim



Şekil 2.12 : Termal kamera ile çekilmiş yol video dizininin 50. çerçevesinin iki seviyeli gösterimi

Şekil 2.14'de hareketli termal kamera ile çekilmiş bir başka video dizininin 448. çerçevesi (a) ve çerçevenin histogramı(b) gösterilmiştir. İmge gri seviyeye çevrildikten sonra Otsu eşikleme yöntemi ile bulunan eşik değeri 109. yoğunluk değerindedir. Şekil 2.15'de, eşik değeri kullanılarak elde edilen imgenin 2 seviyeli gösterimi verilmektedir.

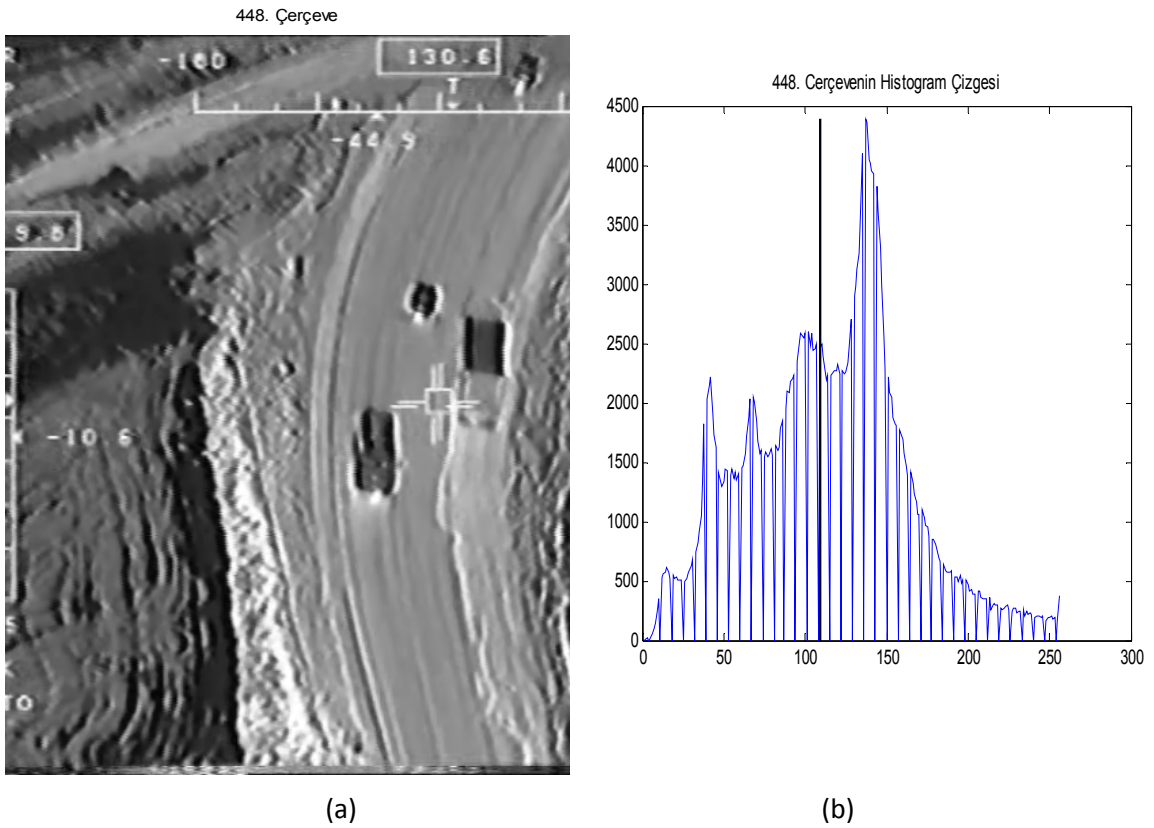


Şekil 2.13 : Termal Kamera ile çekilmiş yol video dizininin 50. çerçevesinin 2 seviyeli gösterimine kapanış işleminin uygulanması sonucu elde edilen ikili imge (a) ve olası hedeflerin etiketlenmesi (b)

Şekil 2.16 (a)'da görüldüğü gibi imgenin 2 seviyeli gösterimine *kapanış* işleci yani sırasıyla *genişleme* ve *aşınma* işleçleri uygulanmıştır. *Genişleme* işleci ile imgelerin 2 seviyeli gösterimlerindeki siyah alanlar yumuşatılmaktadır. *Kapanış* işlecinin çıktısı *genişleme* işlecinin çıktısına benzemekle birlikte, *kapanış* işlecinde *genişleme* sonrası *aşınma* uygulandığından, beyaz alanlar *genişleme* işlecinin çıktısına göre daha çok aşınmıştır. Yaptığımız uygulama çalışmalarında *genişleme*

gerekmiş fakat *genişleme* işlemi daha az düzeyde tutulmak istendiği için *kapanış* işleci kullanılmıştır.

İmgelerde ilgi alanımızda olan nesnelere belli büyüklük aralığında olduğu için her imgenin iki seviyeli gösterimine uygun biçimcilik işlemlerinden sonra alan süzgeci uygulanmıştır. İmgenin 2 seviyeli gösterimine uygulanan kapanım işlemi ve alan filtresinden sonra ilgi alanındaki olası hedefler Şekil 2.16 (b)'de görüldüğü gibi etiketlenmiştir.



Şekil 2.14 : Termal kamera ile çekilmiş yol video dizininin 448. çerçevesi (a) ve çerçevenin histogramı(b)

448. Çerçevenin OTSU Yöntemi 2 Seviyeli Gösterim



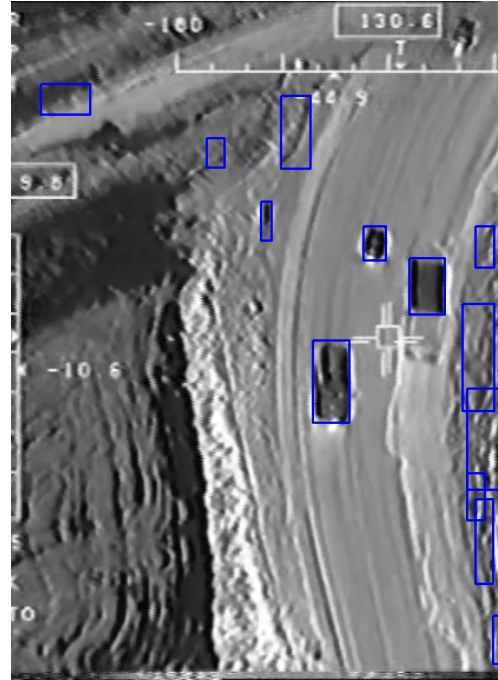
Şekil 2.15 : Termal kamera ile çekilmiş yol video dizininin 448. çerçevesinin iki seviyeli gösterimi

448. Çerçevenin 2 Seviyeli Gösterimine Kapanış İşleminin Uygulanmış Hali



(a)

448. Çerçeve Üzerinde Etiketlenmiş Olası Hedefler

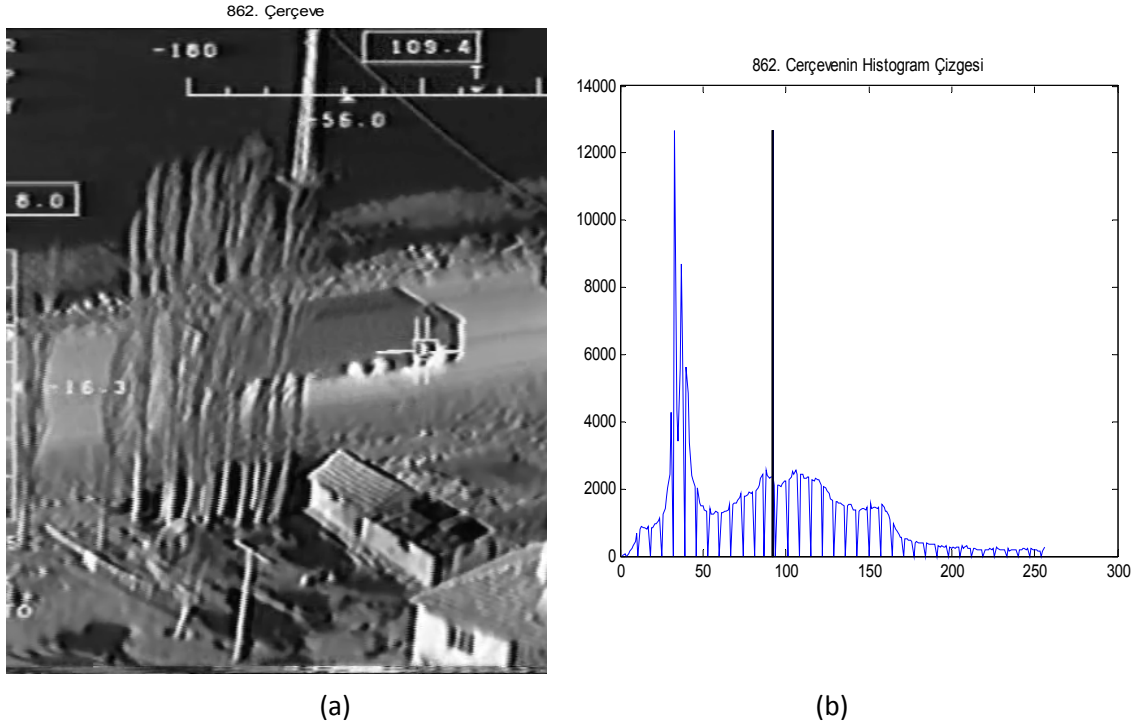


(b)

Şekil 2.16 : Termal kamera ile çekilmiş yol video dizininin 448. çerçevesinin 2 seviyeli gösterimine kapanış işleminin uygulanması sonucu elde edilen ikili imge (a) ve olası hedeflerin etiketlenmesi (b)

Şekil 2.17’de termal kamera ile çekilmiş köy yolu video dizininin 862. çerçevesi (a) ve çerçevenin histogramı (b) görülmektedir. Otsu eşikleme yöntemi ile 92. yoğunluk değerinde eşik değeri bulunmuştur.

Şekil 2.18’da bulunan eşik değeri ile elde edilen imgenin 2 seviyeli gösterimi verilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere imgenin iki seviyeli gösteriminde, yoğunluk farkı çevresine göre farklı olan belli alan aralığındaki bölgeler ortaya çıkmıştır. Kare yapısal elemanı kullanılarak uygulanan *kapanış* işlemi sonucu Şekil 2.19 (a)’da gösterilmiştir. *Kapanış* işlemi ile hedefler arkaplandan ayırt edilebilir hale gelmiştir. Ardından uygulanan alan filtresi ile ilgi alanındaki olası hedefler ayrılmıştır. Şekil 2.19 (b)’de Otsu eşikleme yöntemi ile bulunan olası hedefler etiketlenmiştir. Görüldüğü üzere, bulmak istediğimiz hareketli hedefler bulunabilmiş fakat hedef olmayan bazı nesnelere de hedef olarak işaretlenmiştir.



Şekil 2.17 : Termal kamera ile çekilmiş köy yolu video dizininin 862. çerçevesi (a) ve çerçevenin histogram çizgesi (b)

862. Çerçevenin OTSU Yöntemi 2 Seviyeli Gösterim



Şekil 2.18 : Termal kamera ile çekilmiş köy yolu video dizininin 862. çerçevesinin iki seviyeli gösterimi

862. Çerçevenin 2 Seviyeli Gösterimine Kapanış İşleminin Uygulanmış Hali



a)

862. Çerçeve Üzerinde Etiketlenmiş Olası Hedefler



(b)

Şekil 2.19 : Termal kamera ile çekilmiş köy yolu video dizininin 862. çerçevesinin 2 seviyeli gösterimine kapanış işleminin uygulanması sonucu elde edilen iki seviyeli imge (a) ve olası hedeflerin etiketlenmesi (b)

Yapılan uygulama çalışmalarından da görüldüğü gibi Otsu yöntemi ile bütün olası hedefler doğru bulunmuştur, ancak hedef olmayan nesnelere de hedef olarak işaretlenmiştir. Bunda havadan çekilen termal kamera görüntülerinin hedef ve arkaplan için yeterli piksel yoğunluk farkına sahip olamamasının etkisi büyüktür. Fakat yöntem; kolay uygulanabilmesi, çok eşikleme gerektiren durumlardaki basit uyumu ve sınıflar arası değişim gibi imgenin önemli özelliklerini gösterebilmesinden dolayı tercih edilmiştir. Ayrıca bu yöntem ile kameranın sabit ya da hareketli olmasına bakılmaksızın hareketli ve hareketsiz olası hedefler bulunabilmektedir. Bu da yöntemin diğer bir artısıdır.

Otsu eşikleme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen işlemlerde kullanıcının belirlediği bazı seçenekler ile istenilen özelliklerdeki hedefler daha kolay bir şekilde bulunabilmektedir. Kullanıcı histogram çizgesi yardımı ile en sıcak ve ya en soğuk hedefi ya da imge merkezine en yakın hedef veya hedefleri seçebilmektedir.

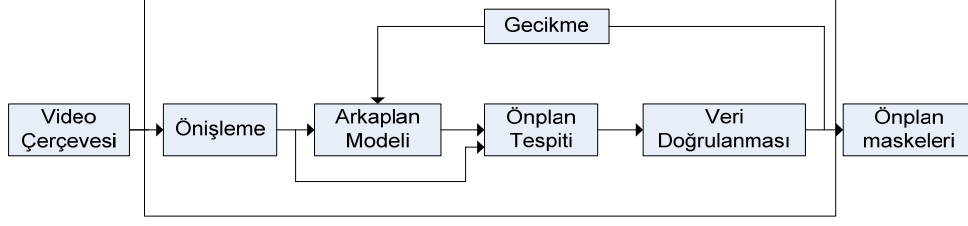
3. SABİT KAMERA İLE HAREKETLİ HEDEF TESPİTİ

3.1. Giriş

Video dizininden arkaplan modelini çıkararak hareketli hedefi tespit etmek sabit kameralarda hareketli hedef tespitinin en genel yoludur. Güncel video çerçevesinde arkaplanına göre farklılık gösteren pikseller hareketli hedef olarak tanımlanır. Bu pikseller, hedefin yer tespiti ve izlenmesi amacıyla kullanılabilirler. Bugüne kadar literatürde birçok arkaplan çıkarım yöntemi tasarlanmış olsa da hala karmaşık çevre koşullarında hareketli hedefi tespit etme problemi tam olarak çözülememiştir [13].

Arkaplan çıkarım yöntemleri, video dizininde akan çerçevelerdeki etkinliklerin tanımlanması ve davranışının anlaşılması için kullanılan en genel yöntemlerdendir. Bütün yönleri ile iyi bir yöntem geliştirmek hemen hemen imkansızdır. İlk olarak seçilen yöntemler aydınlatmada meydana gelebilecek değişikliklere karşı gürbüz olmalıdır. Daha sonra algoritmalar sabitliği devamlı değişen nesnelere (sallanan ot ve yapraklar, yağmur ve kar gibi) arkaplanın bir parçası olarak almamalıdır. Ayrıca arkaplan çıkarım yöntemi karmaşık arkaplan değişimlerine uyum sağlayabilmelidir [12]. Kısaca bu alanda çalışan araştırmacılar, arkaplan çıkarım yöntemlerinin hem çevresel koşullardaki değişime karşı gürbüz olmasını hem de ilgi alanındaki bütün hareketli hedefleri tespit edebilecek kadar hassas olmasını istemektedirler. Arkaplan çıkarım yöntemleri; Zamansal Fark (Temporal Differencing), Ortanca Süzgeçleme (Median Filtering), Yaklaşık Ortanca Süzgeçleme (Approximated Median Filtering), Gauss İşlevleri Karışım Modeli (Mixture of Gaussians), Kalman Süzgeçleme gibi yöntemleri içerir [14], [12], [13] [31].

Litaratürde bulunan birçok arkaplan çıkarım yöntemi Şekil 3.1'de görüldüğü gibi özetlenebilir.



Şekil 3.1 : Genel arkaplan çıkarım yönteminin akış şeması

Şekil 3.1'den de görüleceği üzere arka plan çıkarımını 4 ana adımda özetleyebiliriz [12]:

- Önişleme
- Arkaplan modellenmesi
- Önplan tespiti
- Veri doğrulama

Önişleme adımı, herhangi bir işlemde geçmemiş ham verinin kamera gürültüsünü azaltmak için zamansal ve/veya uzamsal yumuşatma (temporal / spatial smoothing) ile işlenmesi kısmıdır. Arkaplan modelleme kısmında, önişleme adımıyla işlenmiş veri arkaplanın modelinin çıkarılması ya da güncellenmesi için kullanılır. Oluşturulan arkaplan modeli arkaplan sahnesinin istatistiksel tanımını sağlar. Önplan tespitinde, arkaplan modeli ile açıklanamayan kısımlar çıkarılır. Son olarak veri doğrulanması kısmında, arkaplan modeli incelenir ve hareketli nesne ile uyuşmayan pikseller elenerek hedefler tespit edilir [12].

Arkaplan çıkarım yöntemi güncel çerçeve ile oluşturulan arkaplan modeli arasındaki fark olarak tanımlanabilir. ij konumunda bulunan T eşik değerinden büyük herhangi bir piksel hareketli kısım olarak kabul edilir.

$$\left| \text{Arkaplan}_{ij} - \text{GüncelÇerçeve}_{ij} \right| > T \quad (3.1)$$

Tezimizin bu bölümünde en basit arkaplan çıkarım yöntemlerinden biri olan “Zamansal Fark” yönteminden ve işlem maliyeti, ara bellek ihtiyacı az olan aynı zamanda da iyi bir arkaplan modeli sunan “Yaklaşık Ortanca Süzgeçleme” yönteminden bahsedeceğiz. Ortanca Süzgeçleme yöntemi arkaplan çıkarım

yöntemleri arasında en çok kullanılanlardan birisidir. Ortanca süzgeçleme yönteminde, tahmin edilen arkaplan modelinin her pikselinin değeri ara bellekte duran tüm çerçevelerin piksellerinin ortancasına eşittir. Bu yöntem ile, büyük bir ara bellek kullanılarak iyi bir arkaplan modeli çıkarılabilir. Fakat yöntemin ara bellek ihtiyacının ve işlem hesaplama maliyetinin fazla olmasından dolayı bu yöntem yerine daha az ara bellek ihtiyacı olan “Yaklaşık Ortanca Süzgeçleme” yöntemi tercih edilmektedir [13], [15].

3.2. Zamansal Fark Yöntemi

Arkaplan çıkarımında kullanılan en basit yöntemlerden biridir. Bu yöntem sabit kamera ile çekilmiş görüntülerdeki hareketli nesnelerin tespitinde iyi sonuçlar vermektedir. İki video karesinin farkı, $t+1$ anındaki video karesinin t anındaki video karesini arkaplan olarak kullanmasıyla oluşturulur. “Zamansal Fark” yöntemi iki video karesinin farkını almaya dayanır ve video dizininde ard arda gelen karelerin farkını alarak hareketli bölgeyi tespit etmeye çalışır.

t ve $t+1$ anındaki ardışık iki imge, $I(x, y, t)$ ve $I(x, y, t+1)$, seçilir ve değişime uğrayan bölgeleri bulmak için uyarlamalı eşik değeri atanarak bu iki imge arasındaki fark hesaplanır. Uyarlamalı eşik değeri T imgenin istatistiklerinden hesaplanır. Doğrudan iki kare farkını bulmak yerine bir çeşit süzgeçleme işlemi gerçekleştirilerek (3.3) önceki çerçevelerin etkisi de arkaplana yansıtılmış olur. Böylelikle hesaplanan fark imgesi ve eşik değeri kullanılarak (3.2) imge pikselleri önplan ve arkaplan olarak ayrılmış olur [11].

$$I_d(x, y, t+1) = \begin{cases} 255 & \text{eğer } (I_a(x, y, t+1) > T) \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (3.2)$$

$$I_a(x, y, t+1) = (1-w)I_a(x, y, t) + w|I(x, y, t+1) - I(x, y, t)| \quad (3.3)$$

(3.3)'de w katsayısı 0 ile 1 arasında gerçek bir sayıdır. Tez çalışmasında $w = 0.5$ alınmıştır. $t=0$ anını başlangıç anı olarak alırsak $I_a(x, y, 0)$ boş imgeye ilklendirilmiştir [11].

Yöntemde kullanılacak eşik değeri ise aşağıdaki gibi bulunur.

$$T = 3 \times \text{mean}(I_a(x, y, t + 1)) \quad (3.4)$$

Zamansal Fark yöntemi değişken çevre ve aydınlatma koşullarına uyumlu bir yöntemdir. Bu yöntem hareketli bölgelerin tespiti için nesnenin hareketinin sürekliliğini gerektirir. Ardışık çerçeveler arasında hareket olmadığı durumlarda nesnelere tespit edilemez. Yöntemin diğer bir eksisi de hareketli bölgenin tamamının tam olarak çıkarımında zayıf kalmasıdır.

3.3. Yaklaşık Ortanca Süzgeçleme Yöntemi (YOS)

Bir video dizinindeki hareketli nesnelere tanımlanması birçok bilgisayar görüşü uygulamasının en temel görevidir. Arkaplan çıkarım yöntemi ise sabit kamera görüntülerinden hareketli hedefi tespit etmek için en sık kullanılan tekniklerden biridir. Ortanca süzgeçleme, arkaplan çıkarım yöntemleri arasında arkaplan modelini en iyi kestiren yöntemlerden biridir. Ortanca süzgeçlemede, tahmin edilen arkaplan modelinin her pikselinin değeri ara bellekte bulunan tüm çerçevelerin aynı konumunda bulunan piksel değerlerinin ortanca değerine eşittir. Bu sayede büyük bir ara bellek ile iyi bir arkaplan modeli çıkarılabilir. İşlem ve bellek maliyetinin fazla olması bu yöntemin eksileridir [13].

McFarlane ve Schofield, yaptıkları çalışmada Yaklaşık Ortanca Süzgeçleme (YOS) yöntemini sunmuşlardır [15]. Güncel çerçeve ile bu yöntem ile bulunan arkaplan modeli arasındaki fark, ardışık çerçeveler arasında alınan imge farkından daha iyi bir bölütleme sağlar. Yöntem ile hem hedefin tüm alanının tespiti sağlanır hem de duraklayan hedefler tespit edilebilir. Arkaplan modeli, zaman içinde gelen piksellerin ortancasının alınmasıyla oluşturulur. Arkaplan modelinde kestirilen her pikselin değeri, gelen piksel değeri kestirilen arkaplan modelinin aynı konumundaki pikselinin değerinden büyükse bir artırılır küçükse 1 azaltılır [13], [15]

$$BG_{i,j} = \begin{cases} BG_{i,j} + 1 & FG_{i,j} > BG_{i,j} \\ BG_{i,j} - 1 & FG_{i,j} < BG_{i,j} \end{cases} \quad (3.5)$$

Buradaki BG arkaplan modeli, FG ise güncel çerçevedir. Bu yöntem hesaplanması kolay bir yöntemdir. En sonunda elde edilen ortanca imge hiçbir hareketli nesnenin olmadığı arkaplan imgesidir.

Arkaplan modeli oluşturulurken ve güncellenirken hedeflerin uzun süre hareketsiz kalması problem oluşturmaktadır. İyi bir arkaplan modeli oluşturmak için hedeflerin sürekli hareket halinde bulunması gerekmektedir. Bu yöntem işlem hesaplama zamanı ve bellek kullanımı açısından iyi bir yöntemdir. Fakat hedefin yavaş hareket ettiği ya da uzun süre hareketsiz kaldığı durumlarda hedefin yankı imgesi görülmektedir. Bu problemi çözmek için arkaplan çerçevesinin güncelleme hızı yavaşlatılabilir. Böylece yöntemde iyileştirme sağlanmış olunur.

$$BG_{i,j} = \begin{cases} \lfloor TBG_{i,j} + (1/US) \rfloor & FG_{i,j} > BG_{i,j} \\ \lfloor TBG_{i,j} - (1/US) \rfloor & FG_{i,j} < BG_{i,j} \end{cases} \quad (3.6)$$

Buradaki $\lfloor \rfloor$ taban işlecidir ve TBG arkaplan çerçevesinin gerçek değer kopyasıdır. US güncelleme hızı parametresi ile arkaplan model çerçevesi daha yavaş güncellenir. Bu iyileştirme ile hedefin yankısı daha az gözlenmiştir.

Önplan bölgesinin belirlenmesi için en uygun yöntem, ideal arka plandan gelen çerçeveyi çıkarmaktır. İyi şekilde güncellenmiş arkaplan modeline dayalı hareketli nesne bölgesini belirleme işlemi 3 adımda gerçekleşir: eşikleme, gürültü temizleme ve biçimbilim süzgeçleme [13].

$$y_{i,j} = |BG_{i,j} - FG_{i,j}| \quad (3.7)$$

Buradaki i, j piksel konumunu, y fark imgesini, BG arka plan modelini ve FG ise güncel çerçeveyi gösterir.

$$P_{i,j} = \begin{cases} 1 & y_{i,j} \geq T \\ 0 & y_{i,j} < T \end{cases} \quad (3.8)$$

(3.8)'deki T eşik değeridir ve yapılan deneysel çalışmalar sonucunda 25 olarak seçilmiştir. Eşik değerinin otomatik ve uyarlamalı olarak seçilmesi çerçeveden çerçeveye değişen aydınlatma koşullarında daha iyi sonuç almayı sağlayacaktır.

Eşiklenmiş imgeyi ortanca süzgeçten ve biçimbilim işlemlerinden geçirmek imgenin gürültüden temizlenmesine yardımcı olacaktır.

3.4. Uygulama Sonuçları

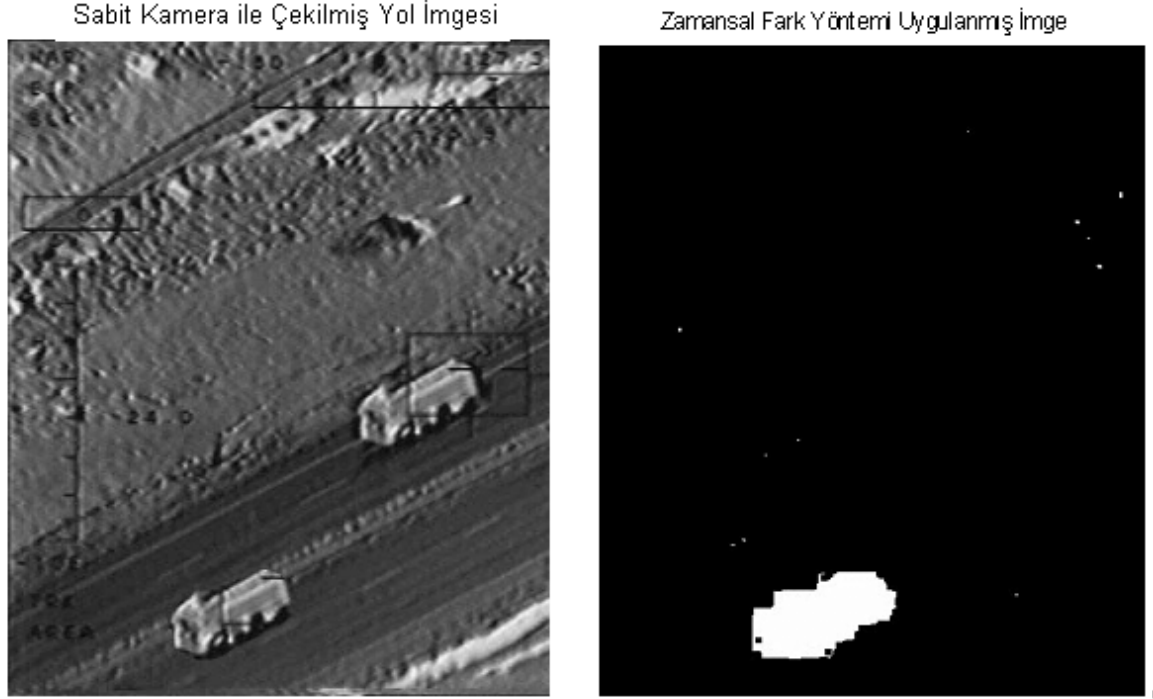
Yapılan çalışmalarda MATLAB programı ile “Zamansal Fark” ve “Yaklaşık Ortanca Süzgeçleme” yöntemleri gerçekleştirilmiştir. Görüntüler sabit kamera ile çekilmiştir.

İlk olarak, hareket eden nesnelere tespit etmek için en kolay yol olan “Zamansal Fark” yöntemi gerçekleştirilmiştir. Bu yöntem ile var olan çerçeve ile bir önceki çerçeve karşılaştırılarak iki çerçeve arasındaki fark bulunmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar, gerçek görüntülerin yaklaşık 1/30 – 1/15 saniyede bir alınmış sabit çerçevelerin ardı sıra alınmasıyla oluşturulmuştur. Zamansal Fark yöntemi, 2 imgenin farkını bulmak için MATLAB programı ile 3-4 sn aralığında gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.2’de bilgisayar ortamında termal kamera imgesi ile oluşturulmuş sabit kamera görüntüsüne Zamansal Fark yöntemi uygulanması sonucu elde edilen fark imgesi gösterilmektedir. Kullanılan dizin bilgisayar ortamında yapay olarak oluşturulduğu için Zamansal Fark yöntemi çok iyi sonuç vermiş soldaki hareketli nesne iyi bir şekilde belirlenebilmiştir.

Uygulama kolaylığı ve kaynak tüketimi açısından bakıldığında en verimli hareketli nesne çıkarım tekniği, ardışık kare farkı yani Zamansal Fark yöntemidir. Hareket tespiti yapılan alandaki ışık, zemin gibi değişikliklere de en çabuk tepkiyi Zamansal Fark yöntemi vermektedir. Buna karşın, hareketli nesnenin sadece bir önceki kareye göre farklılaşmış piksellerini bize vermektedir. Bu durum sabit kamera ile iç mekanda çekilmiş görüntülere uygulamanın verildiği Şekil 3.3’den de açıkça görülmektedir. Bu yöntem, hareketli nesnenin tamamını değil, sadece dış hatlarını oluşturmaktadır. Sadece hareketin var ya da yok olduğu bilgisini edinmek için en kolay ve en verimli yoldur. Bunun dışında hareketli nesnenin fiziksel özellikleri, boyutu gibi verilere ulaşmada diğer teknikler kadar başarılı değildir. Gerçek zamanlı görüntü işleme için uygun bir yöntemdir.

Şekil 3.4'de trafik imgesinin Zamansal Fark yöntemi ile elde edilen hareketli bölgeleri gösterilmiştir. Burada hareketli nesnelere arabalar olduğu için ve arabalar hızlı hareket ettiği için yöntem daha iyi sonuç vermiştir. Hareketli nesnelerin neredeyse tamamı belirlenebilmiştir.



Şekil 3.2 : Yol imgesinin Zamansal Fark yöntemi ile elde edilen hareketli bölgeleri

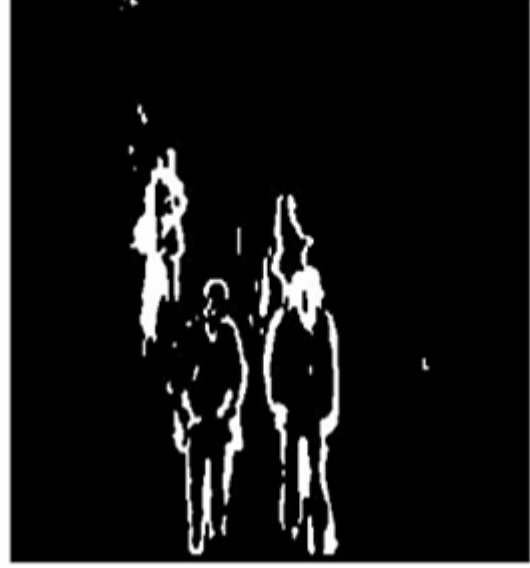
Yapılan diğer çalışmada, yaklaşık ortanca süzgeçleme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile bir video dizininden hareketli nesnelerin bulunması için aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

1. Video dizininden alınan ilk çerçeve arkaplan olarak seçilmiştir.
2. Arkaplan çerçevesi gri seviyeye çevrilmiştir.
3. Video dizininden bir sonraki çerçeve alınmıştır.

Sabit Kamera ile Çekilmiş İç Mekan İmgesi



Zamansal Fark Yöntemi Uygulanmış İmge



Şekil 3.3 : İç mekan imgesinin Zamansal Fark yöntemi ile elde edilen hareketli bölgeleri

Sabit Kamera ile Çekilmiş Trafik Görüntüsü



Zamansal Fark Yöntemi Uygulanmış İmge



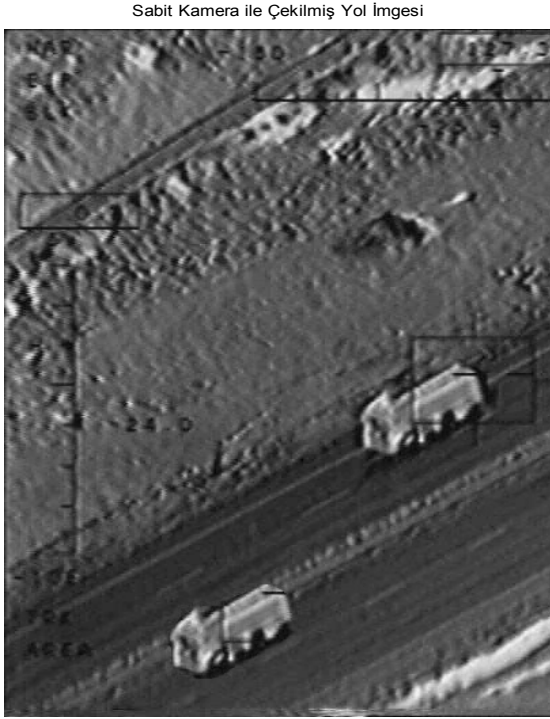
Şekil 3.4 : Trafik imgesinin Zamansal Fark yöntemi ile elde edilen hareketli bölgeleri

4. Alınan çerçeve gri seviyeye dönüştürülmüştür.
5. Bölüm 3.3'de anlatılan yaklaşık ortanca süzgeçleme yöntemi kullanılarak arka plan modeli güncellenmiştir.
6. $y_{i,j} = |BG_{i,j} - FG_{i,j}|$ güncel çerçeveden arkaplan modeli çıkarılmıştır.
7. $P_{i,j} = \begin{cases} 1 & y_{i,j} \geq T \\ 0 & y_{i,j} < T \end{cases}$ $T = 25$ seçilerek eşiklenmiş imge elde edilmiştir.
8. Eşiklenmiş imgeyi gürültüden temizlemek için imgeye 3×3 'lük ortanca süzgeçleme uygulanmıştır.
9. Eşiklenmiş imgedeki küçük boşlukları kapatmak için 3×3 kare yapısal elemanı kullanılarak biçimbilim kapanış işlemi uygulanmıştır.
10. Video dizininden bir sonraki çerçeve alınarak adım 4'e gidilmiş bu işlem son video dizinine kadar bu şekilde gerçekleştirilmiştir.

Yöntemin farklı senaryolardaki başarımını incelemek için farklı sabit kamera görüntüleri kullanılmıştır. Yöntem ile arkaplan sahnesi modellenerek ve güncellenerek hareketli nesnelere tespit edilmeye çalışılmıştır. Sonuçlar Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de sunulmuştur.

Yapılan çalışmalarda, yöntemin işlem hesaplama zamanı ve bellek kullanımı açısından iyi bir yöntem olduğu gözlemlenmiştir. Fakat, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'den de görüldüğü gibi, hedefin yavaş hareket ettiği ya da uzun süre hareketsiz kaldığı durumlarda hedefin yankı imgesi görülmüştür. Bu problemi çözmek için arkaplan çerçevesinin güncelleme hızı yavaşlatılmıştır fakat sorun tamamen çözülememiştir. Eşiklenmiş imge ortanca süzgeçten ve biçimbilim işlemlerinden geçirilerek imge gürültüden temizlenmiştir ve küçük boşluklar kapatılmıştır.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, eşik değeri otomatik ve uyarlamalı olarak seçilerek çerçeveden çerçeveye değişen aydınlatma koşullarında daha iyi sonuç alınabilir.



Şekil 3.5 : Yol imgesinin YOS yöntemi ile elde edilen hareketli bölgeleri



Şekil 3.6 : İç mekan imgesinin YOS yöntemi ile elde edilen hareketli bölgeleri

Sabit Kamera ile Çekilmiş Trafik Görüntüsü



YOS Yöntemi Uygulanmış İmge



şekil 3.7 : Trafik imgesinin YOS yöntemi ile elde edilen hareketli bölgeleri

4. HAREKETLİ KAMERA İLE HAREKETLİ HEDEF TESPİTİ

4.1. Giriş

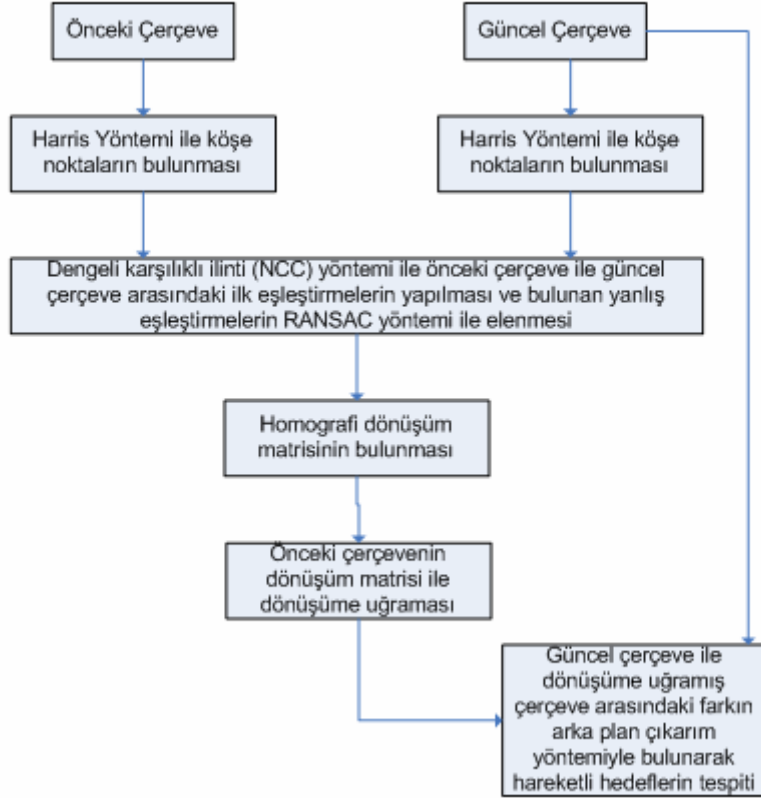
Hareketli kamera ile çekilmiş video görüntüleri devingen görüntüler olarak yorumlanır ve sabit kamera ile çekilmiş görüntülerden farklı bir yapıya sahiptirler. Görüntüler sabit kamera ile çekildiğinde ve arkaplan sabit olduğunda görüntü dizininden hareketli hedefleri tespit etmek kolaydır. Hareketli kamera ile elde edilen görüntülerin arkaplanları hareketli olduğu için bu görüntülerden hareketli hedef tespiti oldukça zor olmaktadır. Özellikle havadan çekilen görüntülerde arkaplanın hızlı değişmesi ve görüntülerin karmaşık doku özelliklerine sahip olması durumu zorlaştıran diğer etmenlerdir.

Şekil 4.1'deki akış şemasında hareketli kamera görüntülerinden hareketli hedef tespiti yapabilmek için bu çalışmada izlenen adımlar verilmiştir [16], [32]. Yaptığımız çalışmalarda ilk olarak öznitelik noktaları algılayıcılarından Moravec ve temelini Moravec yönteminden alan Harris yöntemi incelenmiş ve gerçekleştirilmiştir. Harris yöntemiyle bulunan öznitelik noktaları Düzgelenmiş Çapraz İlinti (Normalized Cross Correlation) yöntemiyle eşleştirilmiştir [24]. İlk eşleştirme kümesindeki uyumsuz eşleştirmeler RANSAC yöntemiyle elenip homografi dönüşüm matrisi bulunmuştur [16], [25]. Dönüşüm matrisi ile imgelerdeki hareketli arkaplan dengelenmiş ve arkaplan çıkarım yöntemleri ile hareketli hedefler tespit edilmeye çalışılmıştır [33], [34], [35], [36].

4.2. Öznitelik Noktalarının Belirlenmesi

Öznitelik noktaları, her yönde büyük bir yoğunluk değişimi gösteren noktalar olarak tanımlanmıştır. Bunlar kenarlar, köşe noktaları ve diğer belirgin noktalar olabilir.

Köşe, iki kenarın kesişimi olarak tanımlanabilir. Köşe noktasının yerel komşuluğunda, iki baskın ve farklı kenar yönü vardır. Kullanılan öznitelik noktaları algılayıcılarının amacı, bir imgedeki bilgi içeriği istenilen eşik değerinden büyük olan öznitelik noktalarını belirleyebilmektir. İyi bir öznitelik noktaları algılayıcısı aşağıdaki özellikleri sağlayabilmelidir [21], [22].



Şekil 4.1 : Hareketli kamera görüntülerinden hareketli hedef tespiti için akış şeması

- Belirli bir eşik değeri üstündeki öznitelik noktalarının tümünü ya da çoğunu tespit edebilmelidir.
- Yanlış öznitelik noktası tespit etmemelidir.
- Öznitelik noktalarının yerlerini tutarlı ve doğru bir şekilde tespit edebilmelidir.
- Öznitelik noktaları algılayıcıları gürültüye karşı gürbüz olmalıdır.

- Farklı aydınlatma, çeviri, dönüş ve diğer dönüşümler altında bulunan birden fazla görüntüde aynı öznitelik noktalarını tespit edebilmelidir.

Literatürde bulunan bazı öznitelik noktaları belirleme algılayıcıları; FAST, SUSAN, Moravec, Harris & Plessey, SIFT ve KLT algılayıcıları olarak gösterilebilir [20], [21], [22], [23], [37].

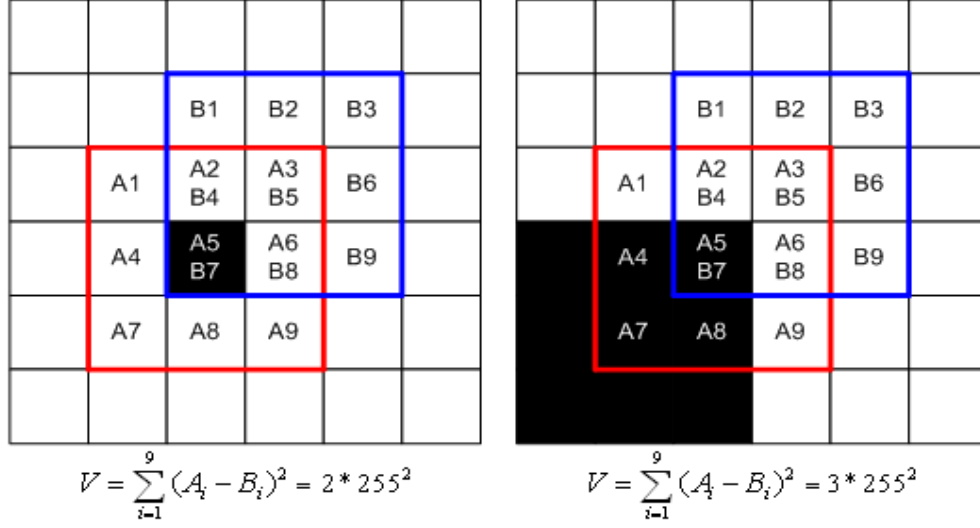
Bu tez çalışmasında, ilk öznitelik noktaları belirleme yöntemlerinden biri olan Moravec ve temelini Moravec'den alan Harris&Plessey algılayıcıları incelenmiştir. Harris&Plessey yöntemi öznitelik noktaları bulmada etkili olan ve birçok uygulamada kullanılan yöntemlerden biridir.

4.2.1. Moravec Öznitelik Noktaları Belirleme Yöntemi

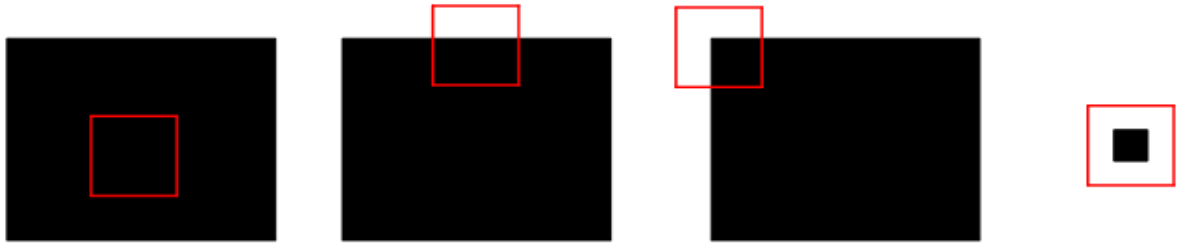
Bu yöntem, 1977 yılında Moravec tarafından geliştirilmiştir [23]. Moravec, öznitelik noktası kavramını görüntüdeki farklı bölgeler olarak tanımlamıştır ve ardışık görüntülerdeki eşlenik bölgelerin bulunabilmesi için bu noktaların kullanılabilirliğini belirtmiştir. Öznitelik noktaları, her yönde büyük bir yoğunluk değişimi gösteren noktalar olarak tanımlanmıştır. Bu durum ise köşe noktalarında gerçekleştiği için Moravec yöntemi köşe noktası yakalayıcısı olarak bilinir [23].

Moravec, yoğunluk değişimlerini, küçük arama pencereleri (3x3, 5x5, 7x7) kullanarak hesaplar. Bu arama pencerelerinin merkezi imge piksellerine oturtularak işlem yapılır. Arama pencereleri bir piksel mesafesinde 8 (Yatayda, dikeyde ve köşelerde olmak üzere) yöne doğru kaydırılır. İki arama penceresindeki (kaydırılmamış ve kaydırılmış pencereler) piksellerin yoğunluk değerleri farklarının karelerinin toplamı, yoğunluk değişimi olarak belirlenir. Sağ üst çapraz yöndeki 3x3'lük bir pencere için yoğunluk değişimi hesaplamalarını Şekil 4.2'de görebiliriz. Bu hesaplama, her imge pikseli için arama penceresi 8 yöne kaydırılarak benzer bir şekilde yapılır. Her imge pikseli için yapılan 8 yöne kaydırma sonucu bulunan yoğunluk değişimi hesaplamalarından en küçüğü alınarak "Köşelik" (Corners) eşleştirmeleri oluşturulur. Köşelik eşleştirmeleri, deneysel olarak bulunan eşik değeri T kullanılarak süzgeçlenir. T eşik değeri üstünde kalan değerler yeni imgeyi oluşturur. Kalan eşleştirmeleri gösteren yeni imge üstünde kare pencere gezdirilerek bu kare pencere içindeki en büyük değerler öznitelik noktası olarak

belirlenir. Bu yöntem literatürde “En Büyük Olmayı Bastır” (Non-maximal Supression) yöntemi olarak bilinmektedir.



Şekil 4.2 : Sağ üst çapraz yöndeki 3x3'lük bir pencere için yoğunluk değişimi hesaplamaları



Şekil 4.3 : Moravec yönteminin farklı durumlardaki gösterimi

Şekil 4.3'den Moravec İşlecinin neden bir köşe nokta algıyıcısı olduğu anlaşılabilir. Şekil 4.3'deki farklı durumları aşağıdaki gibi açıklayabiliriz.

- 1. şekilde pencere nesnenin içerisinde. Bu noktalardan herhangi bir yöne yapılacak kaydırma sonucunda ya hiçbir değişiklik olmayacak ya da sadece küçük değişiklikler gözlenecektir.
- 2. şekilde kenara dik yönde yapılacak kaydırma büyük değişimlere neden olacak iken, kenar boyunca yapılacak kaydırmalar küçük değişimler oluşturacaktır.

- 3. ve 4. şekillerde ise her yöne yapılacak kaydırma işlemleri sonucunda büyük değişimler gözlenecektir.

İmgede (x, y) konumundaki pikselin yoğunluk değeri $I(x, y)$ olmak üzere Moravec öznitelik bulma yöntemi aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Girdiler: Gri seviyeli imge, pencere boyutu, T eşik değeri

Çıktılar: Tespit edilen her köşe noktasının konumunu gösteren eşlem

1. İmgedeki her pikseli için (x, y) kaymalarından elde edilen yoğunluk farkı (4.1)'deki gibi hesaplanır.

$$V(x, y) = \sum_{u,v} (I(u+x, v+y) - I(u, v))^2 \quad (4.1)$$

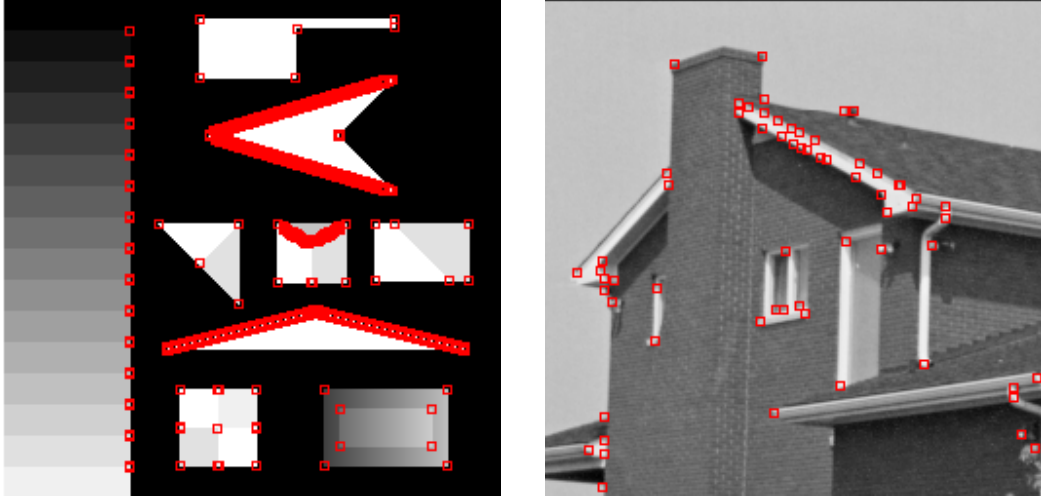
(x, y) kaymaları $(1,0)$ $(1,1)$ $(0,1)$ $(-1,1)$ $(-1,0)$ $(-1,-1)$ $(0,-1)$ $(1,-1)$ olarak tanımlanır.

2. Her piksel için "Köşelik" (Cornersness) ölçümü olan C hesaplanarak "Köşelik" (Cornersness) eşlemeleri oluşturulur.

$$C = \min(V(x, y)) \quad (4.2)$$

3. T eşik değerinin altındaki C değerleri sıfıra eşitlenir. T eşik değeri deneysel olarak bulunan bir değerdir. Böylece T eşik değerinin üstündeki değerleri içeren yeni bir imge elde edilmiş olur.
4. T eşik değerinin üstündeki köşelik değerlerinin alınmasıyla oluşturulan yeni imgedeki yerel en büyük noktaları bulmak için "En Büyük Olmayı Bastır" (Non-maximal Suppression) yöntemi uygulanır. Bu yöntem ile yeni imge üstünde kare pencere gezdirilir. Pencere içindeki en büyük değerler öznitelik noktaları olarak belirlenir.

Moravec işlecine ilişkin bir uygulama sonucu Şekil 4.4'de örnek olarak sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü gibi imgelerdeki köşe, kenar gibi öznitelik noktaları tespit edilebilmiştir.



Şekil 4.4 : Moravec işleci uygulanmış test imgeleri

Şekil 4.4'deki ilk imgeye 3x3'lük bir pencere ve sıfıra yakın bir eşik değeri uygulanmıştır. Şekilden de görüldüğü üzere Moravec işleci bütün öznitelik noktalarını bulabilmiştir. Fakat aynı zamanda çapraz kenarlara da çok kolay tepki vermiştir. Bu şaşırtıcı bir sonuç değildir çünkü Moravec yönteminde çapraz kenarlara büyük C değeri atanır. İkinci imgede ise yine 3x3'lük bir pencere ve deneysel çıkarımlar sonucu bulunan eşik değeri kullanılmıştır, öznitelik noktalarının doğru bulunduğu gözlenmiştir.

Moravec öznitelik noktaları algılayıcısı; Moravec ve diğerleri tarafından az hesaplama yükü gerektirdiği ve etkili bir yöntem olduğu için kullanılan, fakat şu anda genel olarak yetersiz kabul edilen basit bir algoritmadır. Test imgelerinin sonuçlarından da görüleceği üzere yöntemin bazı eksileri vardır. Moravec'in yöntemi dönüşten bağımsız değildir. Bunun nedeni sadece 45 derecelik kaydırmalar olmasıdır. Kenarlar boyunca yanlış köşeler raporlar, çünkü gürültüye oldukça duyarlıdır.

Son birkaç yılda hesaplama gücü artışı nedeniyle, çoğu uygulamada artan hesaplama maliyeti pahasına da olsa daha iyi bir başarı için farklı öznitelik noktaları algılayıcıları kullanılmaktadır. Bugün en yaygın kullanılan öznitelik noktaları algılayıcılarından biri Harris&Plessey öznitelik noktaları algılayıcısıdır. Bu yöntemin hesaplama maliyeti Moravec'e göre fazladır fakat Harris yöntemi Moravec öznitelik noktaları algılayıcısının sınırlamalarının birçoğunu giderir.

4.2.2. Harris Öznitelik Noktaları (Kenar ve Köşe) Belirleme Yöntemi

Harris yöntemi 1988 yılında Harris ve Stephens tarafından geliştirilmiştir [20]. Bu yöntem geliştirilirken, tek bir hareketli kameradan elde edilen görüntülere dayanılarak görüntüler üzerinde yorum yapılabilmesi için hareket analizi tekniklerinden yararlanılmıştır. Moravec yönteminde olduğu gibi, Harris yönteminde de eşlenik noktaların ardışık görüntüler içerisinde bulunabilmesi için bir yöntem araştırılmıştır, ancak Moravec'teki duruma ek olarak hem köşe noktaları hem de kenarlar üzerinde durulmuştur. Harris öznitelik noktaları belirleme yöntemi Moravec öznitelik noktaları belirleme yönteminin geliştirilmesi sonucu elde edilmiştir [20].

Harris yöntemi, Moravec yönteminden yerel özilinti ölçümünün hesaplanması açısından farklılık gösterir. Bu ölçüm, tüm farklı yönelimlerde özilinti değişiminin elde edilmesini sağlar. Bölüm 4.2.1'de bahsedildiği gibi, Moravec'in yöntemi dönüşten bağımsız değildir. Bunun nedeni sadece 45 derecelik kaydırmalar kullanmasıdır. Harris'te bunun yerine, kaydırma merkezi etrafında analitik genişletme yapılarak, olabilecek tüm küçük kaydırmalara imkan sağlanmıştır [20].

İki boyutlu gri seviyeli I imgesi verilsin. İmgedeki her piksel için (x, y) kaymalarından elde edilen yoğunluk farkı (4.3)'deki gibi hesaplanır.

$$V(x, y) = \sum_{u,v} w(u, v) (I(u+x, v+y) - I(u, v))^2 \quad (4.3)$$

$I(u+x, v+y)$ Taylor açılımı ile yaklaşık olarak (4.4)'deki gibi hesaplanabilir.

$$I(u+x, v+y) \approx I(u, v) + I_x(u, v)x + I_y(u, v)y \quad (4.4)$$

(4.4) kullanılarak, (4.3) yaklaşık olarak

$$V(x, y) \approx \sum_{u,v} w(u, v) (I_x(u, v)x + I_y(u, v)y)^2 \quad (4.5)$$

biçiminde yazılabilir. Burada

$$I_x(u, v) = \frac{\partial I}{\partial x}(u, v) \quad (4.6)$$

ve

$$I_y(u, v) = \frac{\partial I}{\partial y}(u, v) \quad (4.7)$$

imgenin x ve y yönündeki gradyanlarıdır. (4.5) düzenlenirse

$$\begin{aligned} V(x, y) &= \sum_{u,v} w \left(x \frac{\partial I}{\partial x} + y \frac{\partial I}{\partial y} \right)^2 \\ &= \sum_{u,v} w \left(x^2 \frac{\partial I^2}{\partial x} + 2xy \frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y} + y^2 \frac{\partial I^2}{\partial y} \right) \\ &= Ax^2 + 2Cxy + By^2 \end{aligned} \quad (4.8)$$

elde edilir. Burada

$$A = \left(\frac{\partial I}{\partial x} \right)^2 \otimes w, \quad B = \left(\frac{\partial I}{\partial y} \right)^2 \otimes w, \quad C = \left(\frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y} \right) \otimes w \quad (4.9)$$

şeklinde tanımlanmıştır. (4.9)'da \otimes evrişim işlecini göstermektedir. (4.8)

$$\mathbf{V}(x, y) = [x \ y] \mathbf{M} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

biçiminde yeniden düzenlenebilir. Burada \mathbf{M} matrisi

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} A & C \\ C & B \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

şeklinindedir. Böylece küçük kaydırmalar için (4.10) elde edilmiş olur.

Harris yönteminde, kare bir pencere kullanmak yerine Gauss dairesel bir pencere tercih edilmiştir. Böylece gürültüye karşı daha gürbüz bir yöntem elde edilmiştir.

$$w(u, v) = \exp(-(u^2 + v^2)) / (2\sigma^2) \quad (4.12)$$

Harris yönteminde, $V(x, y)$ 'nin en küçüğü ile öznelik noktaları bulma kararı vermek yerine kaydırma sonucu oluşan $V(x, y)$ 'nin kaydırmanın yönü ile değişimine bakılarak öznelik noktalarına karar verilir.

(4.11)'deki \mathbf{M} matrisinin özdeğerleri (α, β) olsun. Burada \mathbf{M} 'nin özdeğerleri (α, β) yerel özilinti fonksiyonunun ana eğrilikleri ile orantılıdır ve \mathbf{M} 'nin dönüştürme bağımsız olmasını sağlar. Burada \mathbf{M} 'nin özdeğerlerini gösteren (α, β) 'yi hesaplırsak üç değişik durum elde edilir [20].

- Eğer her iki özdeğer küçük ise düz bir bölgeyi gösterir.
- Eğer bir özdeğer büyük diğeri küçük ise kenar bölgeyi gösterir.
- Eğer her özdeğer büyük değer alırsa köşe bölgesini gösterir.

Özdeğer hesaplaması güç olduğundan, bunun yerine kenar ve köşe belirlemek için

$$\begin{aligned} Tr(\mathbf{M}) &= \alpha + \beta = A + B \\ Det(\mathbf{M}) &= \alpha\beta = AB - C^2 \\ R &= Det(\mathbf{M}) - kTr(\mathbf{M})^2 \end{aligned} \quad (4.13)$$

ifadesi kullanılabilir. (4.13)'deki k değeri deneysel olarak bulunmuştur ve 0.04–0.15 aralığında en iyi sonuçları vermiştir. (4.13)'deki R işlevi köşe bölgelerde pozitif değerler, kenar bölgelerde negatif değer alır, düz bölgelerde ise küçük değerler alır [20].

İmgede (x, y) konumundaki pikselin yoğunluk değeri $I(x, y)$ olmak üzere Harris öznitelik noktaları bulma yöntemi aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Girdiler: Gri seviyeli imge, Gauss değişinti değeri (pencere genellikle standard sapmanın 3 katına eşit yarıçapta olur), k değeri, T eşik değeri

Çıktılar: Tespit edilen her öznitelik noktasının konumunu gösteren eşlem

- İmgedeki her (x, y) pikseli için \mathbf{M} öz ilinti matrisi hesaplanır.

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} A & C \\ C & B \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

$$A = \left(\frac{\partial I}{\partial x} \right)^2 \otimes w, \quad B = \left(\frac{\partial I}{\partial y} \right)^2 \otimes w, \quad C = \left(\frac{\partial I}{\partial x} \frac{\partial I}{\partial y} \right) \otimes w \quad (4.15)$$

(4.15)'de \otimes evrişim işlecini, w Gauss penceresini gösterir.

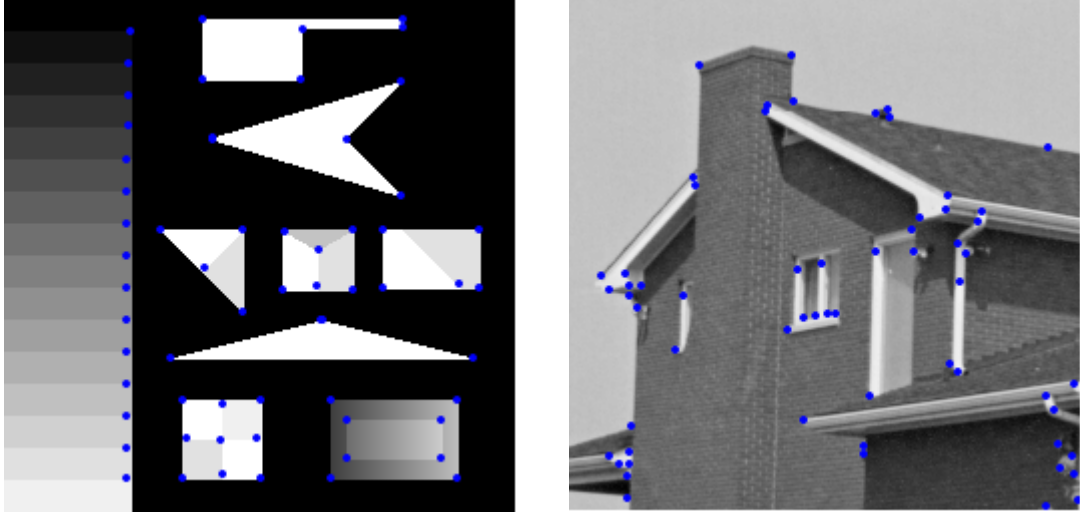
- Her piksel için "Köşelik" (Cornersness) ölçümü olan $C(x,y)$ hesaplanarak köşelik eşlemeleri oluşturulur.

$$\begin{aligned} Tr(\mathbf{M}) &= \alpha + \beta = A + B \\ Det(\mathbf{M}) &= \alpha\beta = AB - C^2 \\ R &= Det(\mathbf{M}) - kTr(\mathbf{M})^2 \\ k &: \text{sabit} \end{aligned} \tag{4.16}$$

- Köşelik eşlemeleri sonrası oluşan imgede (C köşelik değerleri) T eşik değerinin altındaki değerler sıfıra eşitlenir.
- Eşiklenmiş C köşelik değerlerindeki yerel en büyük noktaları bulmak için "En Büyük Olmayanı Bastır" (Non-maximal Suppression) yöntemi uygulanır. Bulunan yeni imgede sıfıra eşit olmayan bütün noktalar öznitelik noktalarını gösterir.

Moravec yöntemi dönüşten bağımsız değildir. Harris yöntemi ise dönüşten bağımsız olarak geliştirilmiştir, yani tüm açılardaki kenar ve köşelere karşı benzer hassasiyet gösterir. Moravec ile kullanılan pencere kare olduğundan sonuçlar gürültülü olmaktadır. Harris ile Gauss dairesel bir pencere kullanıldığından yöntem gürültüye karşı gürbüzdür. Moravec sadece $\min(V(x,y))$ kenarlara çok hassastır. Harris bunun için önlem almış ve bölgeler sınıflandırılırken kenarlar ile köşeler iyi bir şekilde ayrılmıştır.

Harris işlecine ilişkin bir uygulama sonucu Şekil 4.5'de örnek olarak sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü gibi imgelerdeki köşeler, öznitelik noktaları olarak tespit edilebilmiştir. Şekil 4.4'den de görüldüğü üzere Moravec öznitelik noktaları algılayıcısı köşelerle birlikte kenarları da öznitelik noktası olarak algılamıştır. Şekil 4.5'deki Harris öznitelik noktaları algılayıcısı ise özellikle köşe noktalarını öznitelik noktaları olarak algılamıştır.



Şekil 4.5 : Harris yöntemi uygulanmış test imgeleri

4.3. Öznitelik Noktaları Eşleştirmesi

Görüntü eşleştirmede iki temel yöntem kullanılır. Bunlar “alan tabanlı yöntemler” ve “ayrıntı tabanlı yöntemler” olarak ayrılabilir. İnsan görme sistemine benzemesinden dolayı ayrıntı tabanlı yöntemler, alan tabanlı yöntemlere göre daha iyi sonuçlar verirler ve sıklıkla kullanılan görüntü eşleştirme yöntemlerindedir. Ayrıntı tabanlı yöntemler; ayrıntıların nokta, kenar ve bölgeler olarak eşleştirilmesi fikrine dayanır. Ayrıntı tabanlı yöntemler 3 ana adımda özetlenebilir.

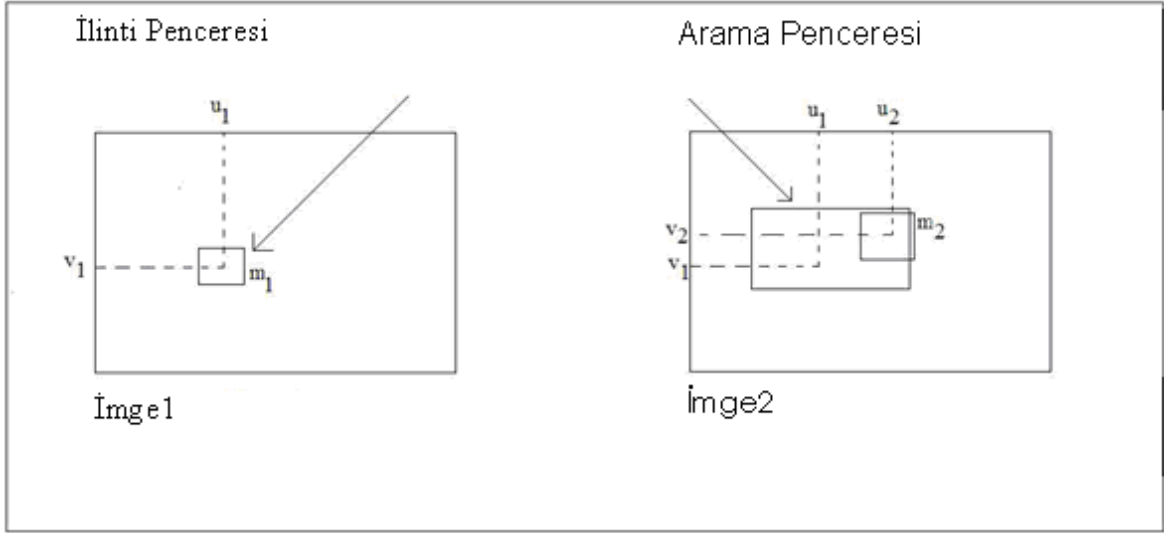
- Görüntüden kenar, nokta gibi ayrıntıların ayrı ayrı seçilmesi
- Seçilen benzerlik ölçümüne göre eşleşen ayrıntı çiftleri için bir aday listesi oluşturulması
- Bir nesne modeli ile uyumlu ayrıntı çiftlerinin listesinin oluşturulması

Ayrıntı noktaları eşleştirme yöntemi, ayrıntı tabanlı eşleştirme yöntemleri arasında en yaygın olanıdır. Bu yöntem, nesne kapatması, ışıklandırma koşulları ve gürültü gibi birçok faktör tarafından büyük ölçüde etkilenir. Bu nedenle ayrıntı noktaları eşleştirme için iyi bir algoritma bulmak önemlidir. Ayrıntı noktaları eşleştirmesi için kullanılacak algoritma 3 aşamaya ayrılabilir.

- Öznitelik Noktaları Çıkarma: Bölüm 4.2.2'de anlatılan Harris öznitelik noktaları belirleme yöntemi ile eşleştirme için kullanılacak öznitelik noktaları bulunur.
- Öznitelik Noktaları Eşleştirme
- Uyumsuz Eşlemelerin Elenmesi: Bölüm 4.5'de anlatılan RANSAC yöntemi ile uyumsuz eşleştirmeler elenir.

Öznitelik noktaları eşleştirmesi için kullanılacak en temel teknik kalıp eşleme tekniğidir. Kalıp eşleme tekniğinde, eşleştirme için kullanılan kalıp görüntü (her köşe noktası etrafında açılmış pencere) kaynak imge içinde olası bütün konumlarda gezdirilir. İmgedeki her öznitelik noktası için ilinti hesaplanır. Hesaplanan ilintiye göre kalıp görüntünün kaynak imgedeki köşelere ne kadar uygun olduğu değerlendirilir.

Yukarıda anlatılan tekniğin geliştirilmiş şekli olan Düzgelenmiş Çapraz İlinti yöntemini (Normalized Cross Correlation) şu şekilde anlatabiliriz: Eşleştirilecek iki imgenin ilkinden konumu $m1=(u_1, v_1)$ olan $m1$ öznitelik noktası seçilir. Köşe eşleştirmenin temel mantığı, ikinci imgede $m1$ öznitelik noktasına karşılık gelen $m2$ öznitelik noktasını bulmaktır. İkinci imgede $m1$ konumu etrafında geniş bir arama penceresi açılır. Böylece tüm imgeyi gezmek yerine eşleştirme olasılığının yüksek olduğu bir alanda gezilmiş olur. Daha sonra $m1$ öznitelik noktası ile ikinci imgede açılan alan içindeki bütün köşeler arasında düzgeli çapraz ilinti katsayısı hesaplanır. Hesaplanan değerlere göre iki imgedeki öznitelik noktaları birbirleriyle eşleştirilir.



Şekil 4.6 : İlinti yöntemi ile eşleştirme aranması

Yapılan uygulamada, (4.17) ile verilen düzelenmiş çapraz ilinti (Normalized Cross Correlation) benzerlik ölçütü olarak kullanıldı.

$$\zeta(m_1, m_2) = \frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m [I_1(u_1 + i, v_1 + j) - \overline{I_1(u_1, v_1)}] [I_2(u_2 + i, v_2 + j) - \overline{I_2(u_2, v_2)}]}{(2n+1)(2m+1)\sigma(I_1)\sigma(I_2)} \quad (4.17)$$

Burada, I_k ($k=1,2,\dots$) imgesinin (u, v) noktasındaki ortalaması aşağıdaki gibi bulunur.

$$\overline{I_k(u, v)} = \frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m I_k(u+i, v+j)}{(2n+1)(2m+1)} \quad (4.18)$$

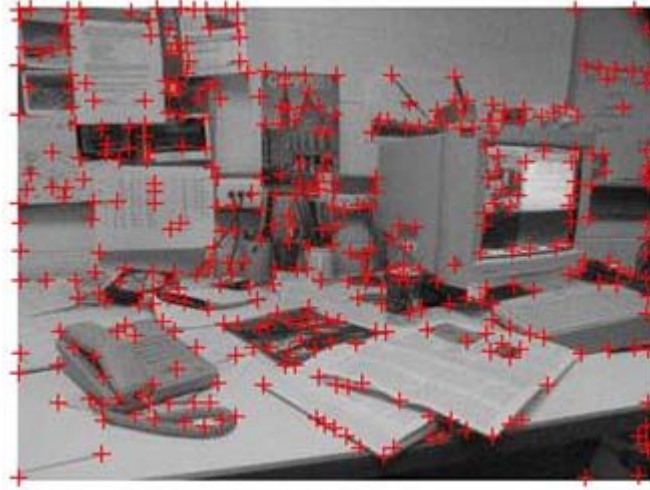
I_k ($k=1,2,\dots$) imgesinin (u, v) noktasının $(2n+1)(2m+1)$ komşuluğundaki standard sapması aşağıdaki gibi bulunur.

$$\sigma(I_k) = \sqrt{\frac{\sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m I_k^2(u+i, v+j)}{(2n+1)(2m+1)} - \overline{I_k(u, v)}^2} \quad (4.19)$$

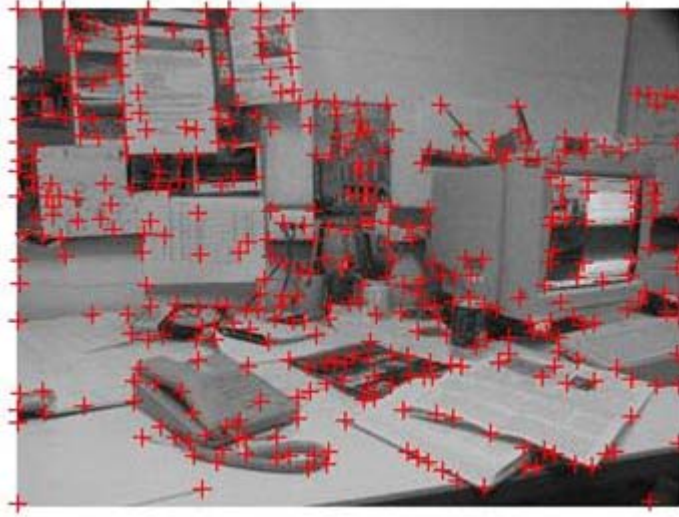
(4.17)'de hesaplanan düzelenmiş çapraz ilinti işleminin sonucu -1 ile 1 arasında bir değer alabilir. Eğer hesaplanan değer 0'a yakın çıkarsa ilinti pencereleri

arasında bir benzerlik olmadığını, değerin 1'e yaklaşması ilinti pencerelerinin birbirine benzerliklerinin arttığını gösterir. İlinti işlemini etkileyen iki temel etkenden biri öznitelik noktalarını ilintilemek için kullanılan pencere boyu, bir diğeri de uyumsuz eşleştirmelerin elenmesi için kullanılan eşik değeridir. İlk imgedeki her öznitelik noktası için ikinci imgede yüksek düzgelenmiş çapraz ilintiye sahip ve aynı zamanda belirli bir eşik değerinden büyük aday eleştirmeler için bir liste hazırlanır. Eşleştirme listesindeki uyumsuz eşleştirmeleri bulmak için Bölüm 4.5'de anlatılacak olan RANSAC algoritması kullanılır [16], [25].

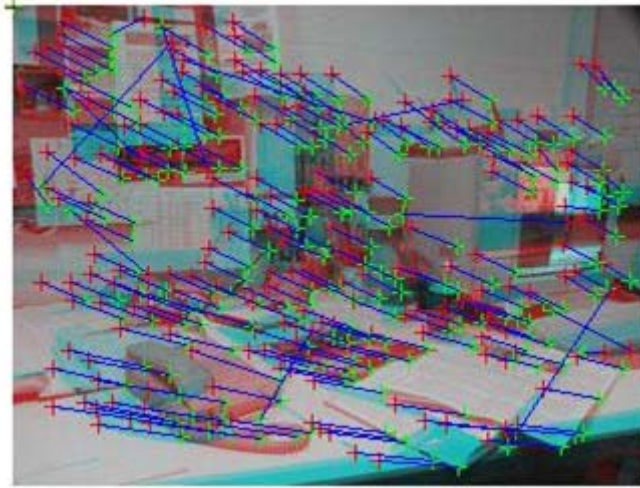
Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de Harris öznitelik noktaları algılayıcısı ile öznitelik noktaları bulunmuş ardışık çekilmiş iki imge, Şekil 4.9'da ise öznitelik nokta eşleştirme yöntemi kullanılarak bulunan eşleştirmeler verilmiştir. Şekillerden de görüleceği üzere olası bütün öznitelik noktaları işaretlemiş ve eşleştirilmiştir.



Şekil 4.7 : Harris öznitelik nokta algılayıcısı kullanılarak öznitelik noktaları bulunan Ofis1 imgesi



Şekil 4.8 : Harris öznitelik nokta algılayıcısı kullanılarak öznitelik noktaları bulunan Ofis2 imgesi



Şekil 4.9 : Ofis1 ve Ofis2 imgelerinin öznitelik noktalarının köşe eşleştirme yöntemi kullanılarak eşleştirilmesi

4.4. İki Boyutlu İzdüşümsel Geometri ve Dönüşümleri

Havadan gözetleme ve keşif yapan kameraların birçoğu hareketli kameralardır. Bu kameralar, üzerinde buldukları hareketli zeminin 3 boyutlu uzayda yaptığı ilerleme ve dönme hareketlerinin üstüne mekanik parçaların oluşturduğu

istenmeyen titreşim hareketlerini de yakalama eğilimindedirler. Elde edilen video görüntüleri üstünden kameranın yaptığı dönüş, ilerleme, istenmeyen titreşim hareketlerini ve bakış açısından kaynaklı sorunların görüntülerde meydana getirdiği geometrik bozulmaları modelleyen ve iki boyutlu imge üzerinde yapılacak izdüşümsel dönüşüm hesaplamaları için matematiksel gösterimler sunan iki boyutlu izdüşümsel geometri ve dönüşümlerinden yararlanılır.

Bu bölümün alt bölümlerinde izdüşümsel geometrinin bazı temel gösterimleri ve özellikleri, izdüşümsel dönüşüm, perspektif kamera modeli ve iki boyutlu izdüşümsel dönüşümlerin sıradüzeni ele alınmıştır.

4.4.1. İzdüşümsel Geometri

Tarihte düzlem geometrisi ilk kez sistemli bir şekilde Öklit tarafından incelenmiştir. Öklit düzlem geometrisini beş aksiyom ile tanımlamıştır. Bunlar:

1. Bir noktadan bir noktaya bir doğru çizilebilir ve bu doğru tektir.
2. Bir doğru içinde bir doğru parçası tek bir biçimde genişletilebilir.
3. Merkez noktası ve yarıçapı verilmiş bir çember çizilebilir ve bu çember tektir.
4. Tüm dik açılar birbirlerine eşittir.
5. Bir doğruya dışındaki bir noktadan bir ve yalnız bir paralel doğru çizilebilir.

Beşinci aksiyomun doğruluğu yüzyıllar boyunca tartışılmıştır, ve sonunda kurulan Öklit dışı geometrilerle bu aksiyom değiştirilmiştir. İzdüşümsel geometri adı verilen bu geometri ile iki doğrunun mutlaka bir noktada kesişeceği öne sürülmüştür. Paralel doğrular sonsuzda kesişir önermesi ile öklit geometrisi izdüşümsel geometriye dönüştürülmüştür.

Öklit iki boyutlu uzayında bir nokta $(x, y)^T$ şeklinde gösterilir. Bu nokta çiftine bir konaç daha ekleyerek $(x, y, 1)^T$ üçlü konaç ile aynı nokta ifade edilebilir. Türdeş konaç sisteminde (homogenous coordinate system) N boyutlu bir nokta N+1

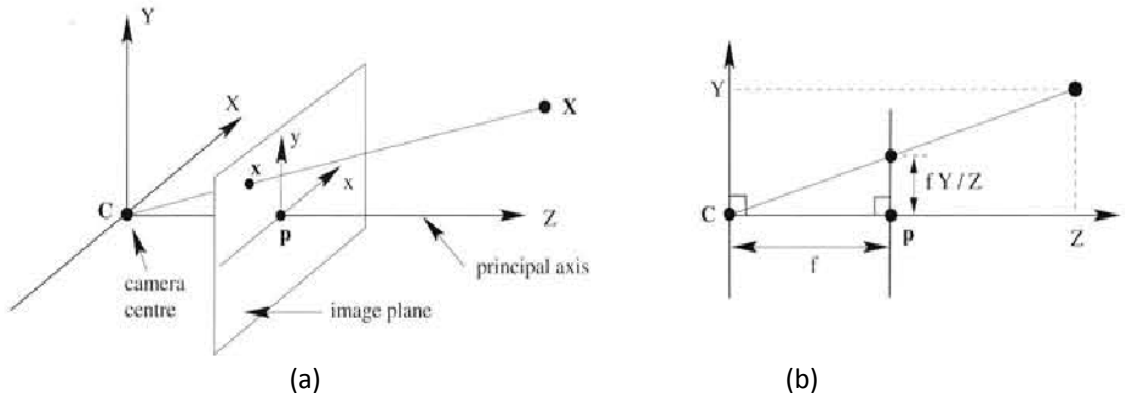
elemanla gösterilir. Bu sayede geometrik yöntemlerden cebirsel yöntemlere geçilmiş olur. Cebirsel yöntemler algoritmaları türetmede ve yöntemlerin hesaplamalarında pratiklikler sağlama gibi bazı kolaylıklar sağlar. İki boyutta $(x, y)^T$ noktası, türdeş konaç sisteminde $(kx, ky, k)^T$ (değişik k değerleri için) şeklinde gösterilir. $(kx, ky, k)^T$ türdeş vektörü türdeş olmayan konaç sisteminde $(\frac{kx}{k}, \frac{ky}{k})^T$ şekline dönüşür. k 'nın sıfır olduğu durum noktanın sonsuzda olmasını gösterir. Bu sayede izdüşümsel geometride bulunan sonsuzdaki nokta kavramı cebirsel olarak ifade edilmiş olur. Bu önemli bir sonuçtur çünkü perspektif izdüşümde paralel doğrular sonsuzdaki bir noktada kesişirler. İmge düzleminde sonsuzdaki bu noktalar gerçek bir noktaya karşılık gelir. Türdeş konaç sistemi ile sonsuzdaki nokta kavramı cebirsel olarak ifade edilmiş olur.

\mathbb{R}^n öklit uzayında doğrusal dönüşüm noktanın konaçlarına uygulanan matris çarpımı ile gösterilir. Benzer bir şekilde \mathbb{P}^n izdüşümsel uzayında izdüşümsel dönüşüm, $1 \times (n+1)$ boyutunda vektör ile gösterilen bir noktanın tekil olmayan $\mathbf{H}_{(n+1) \times (n+1)}$ matrisi ile başka bir noktaya eşleştirilmesi olarak ifade edilebilir.

$$\mathbf{x}' = \mathbf{H}_{(n+1) \times (n+1)} \mathbf{x} \quad (4.20)$$

İzdüşümsel dönüşümler, bir düzlem perspektif bir kamera ile görüntülendiğinde ortaya çıkan bozulmaları modeller. Perspektif görüntülemeye düz çizgilerin düz çizgi olarak görüntülenmesi (doğrudaşlık) gibi bazı geometrik özellikler korunurken paralel çizgilerin paralel olarak görüntülenmemesi gibi bazı özellikler korunmaz. İzdüşümsel geometri bu tarz görüntülenmeleri modeller ve hesaplamalar için uygun matematiksel gösterimler sunar. Bir sonraki alt bölümde izdüşümsel dönüşümü ortaya çıkaran perspektif kamera modeli kısaca ele alınmıştır.

4.4.2. Perspektif Kamera Modeli



Şekil 4.10 : Konaç sistemini, lens merkezini, görüntü düzlemini gösteren perspektif kamera modeli

Şekil 4.10 (a)'da görülen $\mathbf{X}=(X,Y,Z)^T$ kameraya göre bir sahne noktasının kartezyen konaçlarını ve $\mathbf{x}=(x,y)^T$ ise (X,Y,Z) konaçlarının görüntü düzleminde karşılık geldiği konaçları gösterir [19]. Görüntü düzlemi $Z = f$ odak uzaklığında bulunur. $\mathbf{X}=(X,Y,Z)^T$ noktasının görüntü düzlemine perspektif izdüşümü $\mathbf{x}=(x,y)^T$, Şekil 4.10 (b)'deki benzer üçgenler kullanılarak

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X}{Z} f \\ \frac{Y}{Z} f \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

şeklinde bulunur. Dünya düzleminde görüntü düzlemine yapılan $\mathbb{P}^3 \rightarrow \mathbb{P}^2$ izdüşümsel dönüşümüne merkezi izdüşüm adı verilir. \mathbb{P}^3 'deki noktalar türdeş konaçlar cinsinden $(X,Y,Z,T)^T$ şeklinde gösterebilir ve izdüşümün merkez noktası $(0,0,0,1)^T$ olarak seçilebilir. \mathbb{P}^3 'de türdeş konaçlar ile gösterilen dünya noktasının, \mathbb{P}^2 imge düzleminde karşılık geldiği noktalar arasındaki eşleştirme \mathbf{P} (3×4)'lük kamera kalibrasyon matrisi ile yapılır. 3 boyuttan 2 boyuta (görüntü düzlemine) \mathbf{P} kamera kalibrasyon matrisi ile yapılacak dönüşüm konaçlar arasındaki doğrusal eşleştirme olarak tanımlanabilir ve aşağıdaki gibi ifade edilir [28], [19].

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ w \end{pmatrix} = \mathbf{P}_{3 \times 4} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ T \end{pmatrix} \quad (4.22)$$

Şekil 4.11'de kamera merkezi esas alınarak yapılan bazı izdüşümsel dönüşüm örnekleri verilmiştir. Şekil 4.11 (a)'ya göre, 3 boyutlu uzay noktalarına karşılık gelen \mathbf{x}_i imge noktaları, \mathbf{X}_i uzay noktalarından gelen ışınların C kamera merkezi aracılığıyla imge düzlemi ile kesiştiği yerler olarak tanımlanabilir. (b) Uzay noktaları düzlemde ise dünya düzlemi ile imge düzlemi arasında bir izdüşümsel dönüşüm tanımlanabilir. Bu dönüşüm,

$$\mathbf{x}_i = \mathbf{H}_{3 \times 3} \mathbf{X}_i \quad (4.23)$$

şeklinde yazılabilir. (c) Aynı kamera merkezi ile görüntülenen imgeler arasında da izdüşümsel dönüşüm tanımlanabilir. Bu dönüşüm,

$$\mathbf{x}_i' = \mathbf{H}_{3 \times 3} \mathbf{x}_i \quad (4.24)$$

şeklinde ifade edilir. (d) Uzay noktalarının düzlemde olmadığı durum için, iki imge farklı kamera merkezleri ile görüntülenirse bu iki imgeyi birbiri ile ilişkilendiremeyiz yani aralarında izdüşümsel dönüşüm tanımlayamayız. (e) Uzay noktaları düzlemde ise farklı kamera merkezi ile görüntülenen iki imge arasında izdüşümsel dönüşüm tanımlayabiliriz [28].

Harthley ve Zisserman [16] izdüşümsel dönüşümün cebirsel tanımını şu şekilde yapmışlardır: İki boyutlu türdeş konaç sisteminde \mathbf{x} vektörü ile gösterilen herhangi bir noktayı diğer imge düzleminde $\mathbf{H}\mathbf{x}$ 'e eşleyen 3×3 'lük tekil olmayan bir matris var ise, yapılan eşleme izdüşümseldir. İzdüşümsel dönüşüm,

$$\begin{pmatrix} x_1' \\ x_2' \\ x_3' \end{pmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix}}_{\substack{3 \times 3 \text{ tekil olmayan} \\ \text{türdeş matris}}} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \quad (4.25)$$

biçiminde ifade edilebilir. Bu dönüşüm,

$$\begin{aligned}
x' &= \frac{x_1'}{x_3'} = \frac{h_{11}x + h_{12}y + h_{13}}{h_{31}x + h_{32}y + h_{33}} \\
y' &= \frac{x_2'}{x_3'} = \frac{h_{21}x + h_{22}y + h_{23}}{h_{31}x + h_{32}y + h_{33}}
\end{aligned}
\tag{4.26}$$

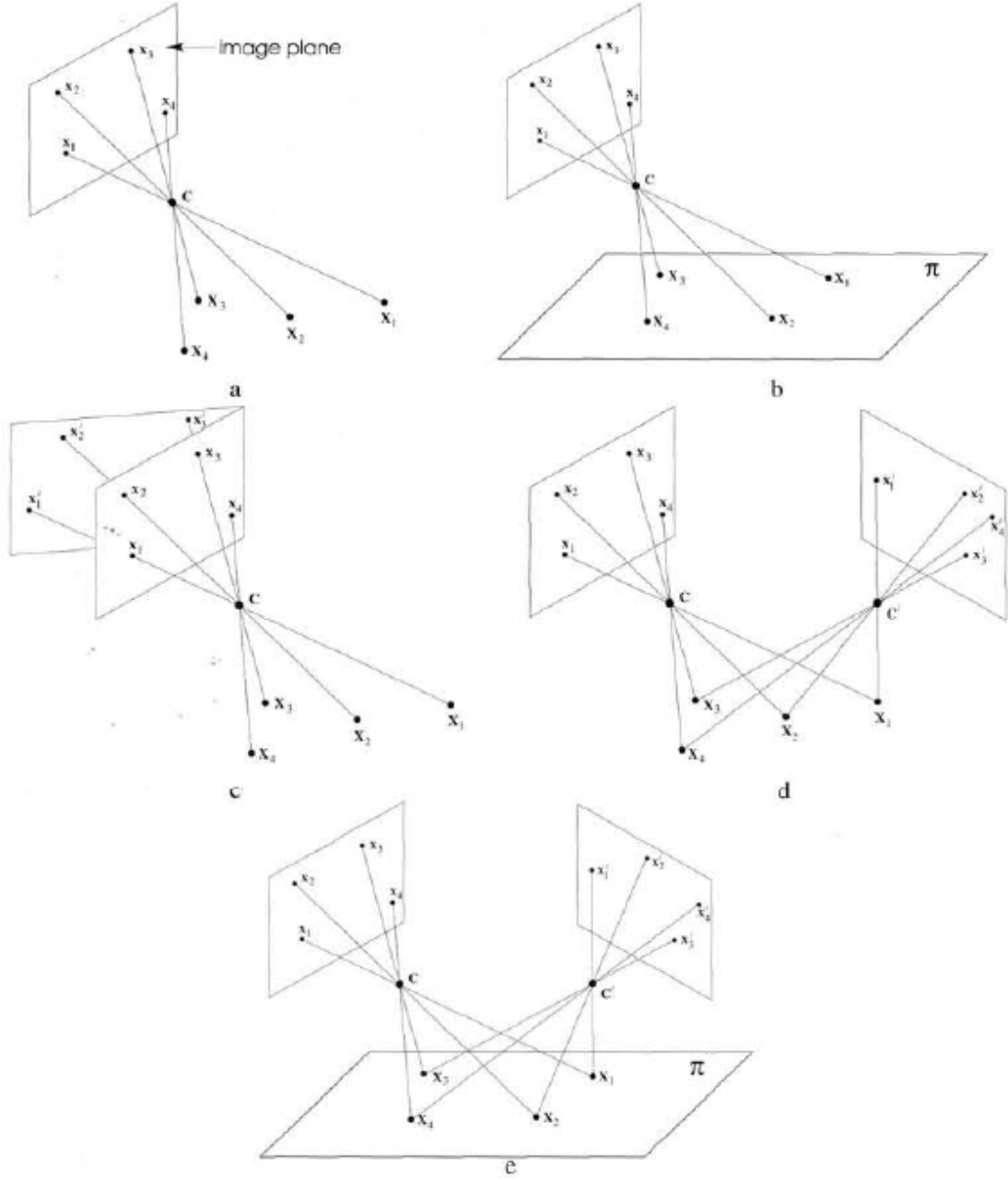
şeklinde yeniden yazılabilir. Her bir eşleştirme doğrusal 2 denklem verir.

$$\begin{aligned}
x'(h_{31}x + h_{32}y + h_{33}) &= h_{11}x + h_{12}y + h_{13} \\
y'(h_{31}x + h_{32}y + h_{33}) &= h_{21}x + h_{22}y + h_{23}
\end{aligned}
\tag{4.27}$$

4 eşlenik nokta çifti ile \mathbf{H} dönüşüm matrisini bulmak için yeterli olan 8 doğrusal denklem elde edilir. İzdüşümsel dönüşüm serbestlik derecesi 8 olan bir dönüşümdür. Fakat literatürde 3×3 'lük dönüşüm matrisi kullanan fakat bazı kısıtlamalar ile serbestlik derecesi azaltılan daha basit dönüşümler vardır. Bu dönüşümler bir sonraki alt bölümde kısaca ele alınmıştır.

4.4.3. İki Boyutlu İzdüşümsel Dönüşümlerin Sıradüzeni

Hareketli kameranın yaptığı dönüş, ilerleme, kameranin mekanik titreşimleri ya da kamera bakış açısından kaynaklı bozulmaları modellemek ve hesaplamalarda kullanılacak matematiksel gösterimler sunmak için ardışık imgelerin eşleştirilmesiyle bulunan izdüşümsel dönüşümler kullanılır. Gerçeğe en yakın ve en genel düzlemsel dönüşüm şekli olarak izdüşümsel doğrusal dönüşüm verilir. Ardışık imgeler üstünden 2 boyutlu izdüşümsel dönüşümleri bulmak için iki imge arasındaki $\mathbf{x}_i \leftrightarrow \mathbf{x}_i'$ nokta eşleştirmelerini kullanmak dönüşümü tahmin etmenin bir yoludur [16]. İzdüşümsel dönüşümde kullanılan iki imgeyi birbiri ile ilişkilendiren dönüşüm matrisi homografi dönüşüm matrisi olarak bilinir. Aynı düzlemsel yüzeyde bulunan iki imge, homografi dönüşüm matrisi ile birbirleriyle ilişkilendirildikleri için homografi matrisinin bilgisayar görüşü uygulamalarında önemli bir yeri vardır. \mathbf{H} homografi dönüşüm matrisinin kamera kalibrasyonu, 3D canlandırma, stereo görüntüleme, imge doğrultma, hareketli kamera görüntülerinden hareketli hedefi bulma, imge dikişleme, geniş açılı görüntü oluşturma (panoramik görüntü) gibi birçok uygulamada kullanım alanı vardır.



Şekil 4.11 : Kamera merkezi esas alınarak yapılan dönüşüm örnekleri

İzdüşümsel dönüşüm serbestlik derecesi 8 olan 3×3 'lük bir dönüşüm matrisidir. Fakat literatürde yine 3×3 'lük dönüşüm matrisini kullanan fakat bazı kısıtlamalar ile serbestlik derecesi azaltılan daha basit dönüşümler vardır. Çizelge 4.1'de homografiye önderlik eden diğer dönüşümler, bozulmaları ve değişmeyen özellikleri sırasıyla verilmiştir. $\mathbf{H}\mathbf{x}_i = \mathbf{x}_i'$ eşitliğindeki \mathbf{H} 3×3 'lük dönüşüm matrisi 9 elemanlı bir matris olmasına karşın türdeş koordinatlar arası dönüşümü

göstermesinden dolayı serbestlik derecesi 8'dir. 4 tane eşlenmiş nokta çifti ile \mathbf{H} dönüşüm matrisi elde edilebilir. Böylece \mathbf{H} dönüşüm matrisini kullanarak görüntüleri asıl düzlemine ya da istediğimiz şekle dönüştürebiliriz. (4.28)'de \mathbf{H} homografi matrisi, en genel hali ile ifade edilmiştir. Buradaki \mathbf{A} 2×2 'lik matrisi bozulmalara ve dönmelere, \mathbf{t} 2×1 'lik vektör ilerlemelere, \mathbf{v} de bozulmalara karşılık gelen izdüşümsel vektörü temsil etmektedir.

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} \mathbf{t} \\ \mathbf{v}^T \mathbf{1} \end{bmatrix} \quad (4.28)$$

İlgın dönüşüm, izdüşümsel dönüşümün bir alt kümesidir ve bulunan \mathbf{H} matrisi daha sınırlıdır. Bu dönüşümde önceki dönüşümlerdeki değişmeyen özelliklerimizin üstüne bir de gerçek hayattaki paralel çizgilerin görüntülerde de paralel kalması eklenebilir. Aynı zamanda gerçek dünyadaki iki alanın ve iki çizginin oranları görüntülerde de değişmez.



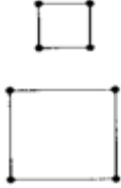
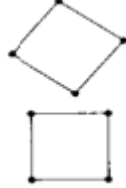
$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & t_x \\ a_{21} & a_{22} & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} \mathbf{t} \\ 0^T \mathbf{1} \end{bmatrix} \quad (4.29)$$

(4.29)'da görüldüğü üzere ılgın dönüşümde \mathbf{H} matrisinin değişkenleri azalmıştır. İlgın dönüşümde nispeten daha az bozulma olduğu için dönüşümdeki bozulmayı gösteren \mathbf{v} vektörü sıfırlanmıştır.

Benzerlik dönüşümü ılgın dönüşümün bir alt kümesidir. Bu dönüşümde önceki dönüşümlerdeki değişmeyen özelliklerimizin üstüne bir de görüntülerdeki açıların aynı kalması eklenebilir. Burada, önceki dönüşümlerde bozulmaları ve dönmeleri temsil eden \mathbf{A} (burada $s\mathbf{R}$ 'a denk gelir) matrisi sadece dönmeleri temsil etmektedir.

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} sr_{11} & sr_{12} & t_x \\ sr_{21} & sr_{22} & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s \cos(a) & -s \sin(a) & t_x \\ s \sin(a) & s \cos(a) & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s\mathbf{R} \mathbf{t} \\ 0^T \mathbf{1} \end{bmatrix} \quad (4.30)$$

Çizelge 4.1 : İzdüşümsel düzlemde dönüşümlerin sıralanması ve özet bilgileri

İmge Dönüşümleri ve Serbestlik Dereceleri	Homografi Matrisinin Şekli	Bozulmalar	Bozulmalar ve Değişmeyen Özellikler
İzdüşümsel Dönüşüm Serbestlik derecesi:8	$\begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix}$		<p>En genel düzlemsel dönüşüm şeklindedir.</p> <p>Tutarlılık, düz çizgilerin düz çizgilerle eşleştirilmesi, temas nokta sırası:kesişim noktası, teğetlik, bükülme noktaları, teğet süreksizlikleri ve uç noktaları değişmeyen özellikleridir.</p>
İlgin Dönüşüm Serbestlik derecesi:6	$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & t_x \\ a_{21} & a_{22} & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$		<p>İlerleme, dönüş, ölçekleme ve makaslama gibi bozulmaları modelleyen dönüşüm şeklindedir.</p> <p>Paralel çizgilerin yine paralel kalması, aynı doğrultuda olan ya da paralel olan çizgilerin uzunluklarının oranı, vektörlerin doğrusal bileşimleri(merkez noktaları gibi), sonsuzdaki çizgi I_∞ değişmeyen özellikleridir.</p>
Benzerlik Dönüşümü Serbestlik Derecesi:4	$\begin{bmatrix} sr_{11} & sr_{12} & t_x \\ sr_{21} & sr_{22} & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$		<p>İlerleme, dönüş ve ölçekleme gibi bozulmaları modelleyen dönüşüm şeklindedir.</p> <p>Açı, uzunlukların oranı, dairesel noktalar değişmeyen özellikleridir .</p>
Öklit Dönüşümü Serbestlik Derecesi:3	$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$		<p>İlerleme ve dönüş gibi bozulmaları modelleyen dönüşüm şeklindedir.</p> <p>Uzunluklar ve alanlar değişmeyen özellikleridir.</p>

(4.30)'daki s ölçeklenebilir, a döndürülebilir ve (t_x, t_y) ilerletilebilir olmak üzere benzerlik dönüşümünün serbestlik derecesi 4 olarak ifade edilir.

Öklit dönüşümü de benzerlik dönüşümünün alt kümesidir. Benzerlik dönüşümünden farkı ölçeklenmeden kaynaklanan bozulmaların hesaba katılmamasıdır. Bu dönüşümde, bir imgede bulunan iki nokta arasındaki uzaklık ile eşlenik imgede bu iki noktaya karşılık gelen noktalar arası uzaklık birbirine eşittir. Benzer şekilde çizgiler arası açılar ve nesnelerin alanları da eşlenik imgelerde değişmeyen özelliklerdir. Öklit dönüşümü sadece 2 boyutlu dönme ile 2 boyutlu ötelemeyi içerir ve serbestlik derecesi 3'dür. (4.31)'de \mathbf{R} dönmelere karşılık gelen matrisi, \mathbf{t} ise ilerlemelere karşılık gelen vektörü göstermektedir.

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \\ \mathbf{0}' & \mathbf{1} \end{bmatrix} \quad (4.31)$$

4.5. RANSAC Yöntemi ve Homografi Dönüşüm Matrisinin Bulunması

Düzgelenmiş Çapraz İlinti yöntemi ile doğru eşleşmeyen nokta çiftleri uyumsuz veriler olarak adlandırılırlar. Bu uyumsuz veriler kestirilecek olan homografi matrisini büyük oranda etkilerler. Bu sebepten dolayı, doğru homografi matrisi kestirimi için uyumsuz verilerin tanımlanması ve veri kümesinden çıkarılması gerekmektedir. Daha sonra, kalan uyumlu veri kümesi kullanılarak homografi matrisi kestirimi yapılır. Tezimizin bu bölümünde, uyumsuz verilerin elenmesini sağlayacak RANSAC yöntemi ve homografi matrisinin kestirimi sağlayacak yöntemler anlatılmıştır [38].

4.5.1. RANSAC Yöntemi ile Yanlış Eşleştirmelerin Elenmesi

RANSAC yöntemi ilk olarak 1981 yılında Fischler and Bolles [25] tarafından önerilmiştir. Bu yöntem büyük oranda uyumsuz veri içeren bir veri kümesinden başlar ve uyumsuz verileri eleyerek model parametrelerini belirlemeyi amaçlar. RANSAC yinelemeli bir yöntemdir. RANSAC yöntemi küçük bir örnek veri

kümesinden başlar ve istenilen uyumlu veri sayısı elde edilene kadar yinelenir. RANSAC yöntemi aşağıdaki gibi özetlenebilir [16]:

Amaç:

Uyumsuz veri içeren D veri kümesini kullanarak model parametrelerini gürbüz bir şekilde kestirmek.

Yöntem:

1. D veri kümesi içinden rastgele seçilmiş n veri noktası içeren bir S alt kümesi seçilir ve bu S alt kümesi kullanılarak M modelinin parametreleri bulunur.
2. Modele ilişkin tanımlanmış bir t uzaklık eşik değeri esas alınarak, M modeline uyan kaç tane D elemanı olduğu belirlenir. M modeline uyan, uyumlu verileri içeren bu kümeye C (Consensus Set) adı verilir.
3. Eğer $\#(C)$ (uyumlu verilerin sayısı) belli bir T eşik değerinden büyükse C kümesini oluşturan uyumlu veriler kullanılarak M model parametreleri yeniden kestirilir ve RANSAC yöntemi başarıyla sonlandırılır.
4. Eğer $\#(C)$ T eşik değerinden küçükse D veri kümesi içinden rastgele n veri noktası içeren yeni bir S alt kümesi seçilir ve yukarıdaki adımlar tekrar edilir.
5. N yinelemeden sonra en çok sayıda uyumlu veri içeren C (consensus set) kümesi seçilir, ve bu C kümesinin elemanları kullanılarak M model parametreleri tekrar kestirilir.

RANSAC yöntemi için gerekli t uzaklık eşik değeri, T eşik değeri ve N yineleme sayısının nasıl bulunacağı aşağıda anlatılmıştır [16].

t uzaklık eşik değeri: Pratikte t uzaklık eşik değeri uygulamaya ve veri kümesine bağlı olarak deneysel değerlendirme ile seçilir. Fakat ölçüm hatası, ortalaması sıfır ve standart sapması σ olan gauss olarak varsayılır ise t uzaklık eşik değeri hesaplanabilir. Bir noktanın uyumlu veri olma olasılığı olan

α değeri 0.95 olarak seçildiğinde farklı modeller için bulunan t uzaklık eşik değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.2 : $\alpha = 0.95$ için hesaplanan t değerleri

Model	t^2
Çizgi, temel matris	$3.84\sigma^2$
Homografi, kamera matrisi	$5.99\sigma^2$

N **yineleme sayısı**: N yineleme sayısı ise şu şekilde belirlenir. p , rastgele seçilen S alt kümelerinden, en az birinin tüm elemanlarının uyumlu verilerden oluşma olasılığını gösterebilir. w ise D kümesinden seçilen herhangi bir verinin uyumlu veri olma olasılığı olsun. $1 - w^n$ seçilen bir S alt kümesinin en az bir uyumsuz veri içermesi olasılığını gösterir. Sonuç olarak N yineleme sayısı

$$(1 - p) = (1 - w^n)^N \quad (4.32)$$

eşitliğinden

$$N = \frac{\log(1 - p)}{\log(1 - w^n)} \quad (4.33)$$

biçiminde elde edilir.

T **eşik değeri**: T eşik değeri uygulamaya ve veri kümesine bağlı olarak deneysel değerlendirme ile seçilir.

RANSAC yönteminin artısı, birçok uyumsuz değer içeren veri kümesinden istenen model değişkenlerini yüksek bir doğruluk derecesi ile kestirebilmesidir. Yöntemin eksisi ise model parametrelerinin hesaplanması için üst bir zaman sınırının olmamasıdır. Diğer bir eksisi ise her soruna özel ayrı bir eşik değerinin hesaplanmasını gerektirmesidir.

4.5.2. Homografi Dönüşüm Matrisinin Bulunması

Hareketli kamera görüntülerindeki arkaplan hareketinin telafi edilebilmesi için 2 boyutta imgeleri birbiriyle ilişkilendiren izdüşümsel dönüşüm matrisinin bulunabilmesi gerekir. İzdüşümsel dönüşüm matrisinin bir diğer ismi homografi dönüşüm matrisidir. İmge boyutunda (2 boyutta) homografi dönüşüm matrisi \mathbf{H} ; (3×3) 'lük, 8 serbestlik derecesi olan, bir imgedeki (x, y) konumundaki noktalar ile diğer bir imgedeki (x', y') konumunda bulunan eşlenik noktalar arasındaki ilişkiyi 8 değişken ile modelleyen bir dönüşüm matrisidir. Homografi dönüşüm matrisinin doğru olarak kestirilebilmesi için iki imge arasında en az 4 adet doğru eşlenmiş nokta çiftinin bulunması gerekmektedir. NCC yöntemi ile eşleştirilmiş öznitelik noktalarındaki uyumsuz eşleştirmelerin RANSAC yöntemi ile elenmesiyle elde edilen uyumlu eşleştirmeler ile homografi dönüşüm matrisinin parametreleri elde edilebilir. İki boyutta 4 adet $\mathbf{x}_i \longleftrightarrow \mathbf{x}_i'$ eşlenik çifti ile basit bir doğrusal algoritma olan DLT (Direct Linear Transformation) kullanılarak \mathbf{H} homografi dönüşüm matrisi bulunabilir [16]. Bu dönüşüm $\mathbf{x}_i' = \mathbf{H}\mathbf{x}_i$ denklemi ile verilir. \mathbf{x}_i' ile $\mathbf{H}\mathbf{x}_i$ vektörlerinin büyüklükleri farklı olsa da aynı yöndedirler. Vektör çarpımı ile $\mathbf{x}_i' = \mathbf{H}\mathbf{x}_i$ denklemi $\mathbf{x}_i' \times \mathbf{H}\mathbf{x}_i = 0$ şeklinde ifade edilebilir. Böylece \mathbf{H} matrisi için basit doğrusal bir çözüm türetilebilir.

Eğer \mathbf{H} matrisinin j 'inci sırası \mathbf{h}^T şeklinde gösterilirse, $\mathbf{H}\mathbf{x}_i$ vektörü

$$\mathbf{H}\mathbf{x}_i = \begin{pmatrix} \mathbf{h}^{1T}\mathbf{x}_i \\ \mathbf{h}^{2T}\mathbf{x}_i \\ \mathbf{h}^{3T}\mathbf{x}_i \end{pmatrix} \quad (4.34)$$

şeklinde yazılabilir. $\mathbf{x}_i' = (x_i', y_i', w_i')^T$ şeklinde yazılırsa, $\mathbf{x}_i' \times \mathbf{H}\mathbf{x}_i$ vektör çarpımı (4.35)'deki gibi ifade edilebilir.

$$\mathbf{x}_i' \times \mathbf{H}\mathbf{x}_i = \begin{pmatrix} y_i'\mathbf{h}^{3T}\mathbf{x}_i - w_i'\mathbf{h}^{2T}\mathbf{x}_i \\ w_i'\mathbf{h}^{1T}\mathbf{x}_i - x_i'\mathbf{h}^{3T}\mathbf{x}_i \\ x_i'\mathbf{h}^{2T}\mathbf{x}_i - y_i'\mathbf{h}^{1T}\mathbf{x}_i \end{pmatrix} \quad (4.35)$$

$\mathbf{h}^j \mathbf{x}_i = \mathbf{x}_i^T \mathbf{h}^j$ olduğu için, $\mathbf{x}_i^T \mathbf{H} \mathbf{x}_i = 0$ denklemini aşağıdaki biçimde yeniden yazabiliriz.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{0}^T & -w_i^T \mathbf{x}_i^T & y_i^T \mathbf{x}_i^T \\ w_i^T \mathbf{x}_i^T & \mathbf{0}^T & -x_i^T \mathbf{x}_i^T \\ -y_i^T \mathbf{x}_i^T & x_i^T \mathbf{x}_i^T & \mathbf{0}^T \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{h}^1 \\ \mathbf{h}^2 \\ \mathbf{h}^3 \end{pmatrix} = 0 \quad (4.36)$$

Bu denklemler $\mathbf{A}_i \mathbf{h} = 0$ şeklinde yazılabilir, burada \mathbf{A}_i 3×9 'luk bir matris ve \mathbf{h} , $\mathbf{h}^1, \mathbf{h}^2, \mathbf{h}^3$ 'den oluşan 9×1 boyutunda bir vektördür. Homografi dönüşüm matrisi sadece ölçek değişkenine kadar tanımlıdır, serbestlik derecesi 8'dir. (4.36)'da 3 denklem olmasına karşılık, bunlardan sadece iki tanesi doğrusal bağımsızdır. \mathbf{H} homografi dönüşüm matrisinin çözümü için üçüncü denklem ihmal edilir. Bu sebepten dolayı (4.36)'daki denklem aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{0}^T & -w_i^T \mathbf{x}_i^T & y_i^T \mathbf{x}_i^T \\ w_i^T \mathbf{x}_i^T & \mathbf{0}^T & -x_i^T \mathbf{x}_i^T \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{h}^1 \\ \mathbf{h}^2 \\ \mathbf{h}^3 \end{pmatrix} = 0 \quad (4.37)$$

ve

$$\mathbf{A}_i \mathbf{h} = 0 \quad (4.38)$$

Burada \mathbf{A}_i şimdi 2×9 'luk bir matrisdir. Eğer $n \geq 4$ eşlenik çiftimiz varsa, bu doğrusal denklem takımı $\mathbf{A} \mathbf{h} = 0$ şeklinde ifade edilebilir. $2n \times 9$ ' boyutundaki \mathbf{A} matrisi aşağıda verildiği biçimdedir.

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & -w_1^T x_1 & -w_1^T y_1 & -w_1^T w_1 & y_1^T x_1 & y_1^T y_1 & y_1^T w_1 \\ w_1^T x_1 & w_1^T y_1 & w_1^T w_1 & 0 & 0 & 0 & -x_1^T x_1 & -x_1^T y_1 & -x_1^T w_1 \\ 0 & 0 & 0 & -w_2^T x_2 & -w_2^T y_2 & -w_2^T w_2 & y_2^T x_2 & y_2^T y_2 & y_2^T w_2 \\ w_2^T x_2 & w_2^T y_2 & w_2^T w_2 & 0 & 0 & 0 & -x_2^T x_2 & -x_2^T y_2 & -x_2^T w_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & -w_n^T x_n & -w_n^T y_n & -w_n^T w_n & y_n^T x_n & y_n^T y_n & y_n^T w_n \\ w_n^T x_n & w_n^T y_n & w_n^T w_n & 0 & 0 & 0 & -x_n^T x_n & -x_n^T y_n & -x_n^T w_n \end{pmatrix} \quad (4.39)$$

$\mathbf{A} \mathbf{h} = 0$ denklemindeki \mathbf{h} , \mathbf{H} homografi dönüşüm matrisinin bütün elemanlarını içeren 9×1 'lik bir vektördür. 4'den fazla eşlenik nokta çiftinin olduğu durumlar için,

(4.37)'den türetilen $\mathbf{Ah} = 0$ denklem seti artık belirtilmiştir (over-determined). Artık belirtilmiş $\mathbf{Ah} = 0$ denkleminin kesin bir çözümü yoktur. Buradaki homografi dönüşüm matrisi yaklaşık çözümü veren uygun bir maliyet işlevi enküçüklenerek çözülebilir. En basit maliyet işlevi cebirsel uzaklığı enküçüklemek olarak tanımlanabilir. $\|\mathbf{Ah}\|$ 'ı enküçüklemek için $\|\mathbf{h}\| = 1$ şeklinde bir kısıtlama getirilerek \mathbf{h} vektörü bulunabilir. Bu problemin çözümü \mathbf{A} 'nın en küçük tekil değerine karşılık gelen birim tekil vektördür. Bu da "Tekil Değer Ayırıştırma" (SVD) incelemesi ile bulunabilir [16].

$$\begin{aligned} \|\mathbf{h}\| = 1 \text{ koşulu ile} \\ \text{enküçükleyen} \|\mathbf{Ah}\| = \text{enküçükleyen}(\mathbf{h}^T \mathbf{A}^T \mathbf{Ah}) \end{aligned} \quad (4.40)$$

Buraya kadar bahsedilen yöntem, verilen eşlenik noktalardan \mathbf{H} homografi dönüşüm matrisini çözmek için basit bir yöntem olarak kullanılan "Doğrudan Doğrusal Dönüşüm(DLT)" yöntemidir. \mathbf{H} homografi dönüşüm matrisini bulmak için kullanılan DLT yöntemi, imgenin konaç sisteminin orijinine ve ölçeğine bağlıdır. Gürültü olduğu durumda \mathbf{H} homografi dönüşüm matrisinin çözümü doğru sonuçtan uzaklaşır. İmgelerdeki eşlenik noktaların kullanılması ile dönüşüm matrisinin bulunmasına dayalı DLT yöntemini gürültüye karşı daha gürbüz yapmak ve daha iyi sonuçlar almak için düzgeleme işlemi gerçekleştirilir [16]. İki boyutlu homografi matrisinin hesaplanması için daha iyi koordinat sistemleri vardır. İmgenin koordinat sistemine ilerleme ve ölçekleme uygulayarak düzgeleme işlemi gerçekleştirilir. "Düzgelenmiş Doğrudan Doğrusal Dönüşüm" yöntemini aşağıdaki şekilde özetleyebiliriz [16].

1. Düzgeleme işleminin ilk adımı olarak, bütün imge noktalarının ağırlık merkezi (centroid) orijine getirilecek şekilde her imgenin koordinat sistemi ötelenir.
2. İkinci adım olarak orijine olan ortalama uzaklık $\sqrt{2}$ 'ye eşit olacak şekilde imge noktaları ölçeklenir.
3. Homografi matrisi bu dönüştürülmüş (ötelenmiş ve ölçeklenmiş) imgeler üzerinden hesaplanır ve ters dönüşüm yapılarak orijinal homografi matrisi bulunur.

Benzerlik dönüşümü olarak bilinen yukardaki dönüşüm matrisi

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} s & 0 & t_x \\ 0 & s & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4.41)$$

şeklindedir. (4.41)'de t_x ve t_y sırasıyla x ve y yönündeki ötelenmeye karşılık gelen parametreleri, s ise ölçeklemeye karşılık gelen parametreyi göstermektedir. s orijine olan uzaklık ortalama $\sqrt{2}$ olacak şekilde seçilir. Benzerlik dönüşüm matrisi \mathbf{T} 'nin her imge için ayrı ayrı hesaplanması gerekir.

Yukardaki işlemler matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilir:

$$\tilde{\mathbf{x}}_i = \mathbf{T}_1 \mathbf{x}_i \quad (4.42)$$

Burada \mathbf{x}_i orijinal, $\tilde{\mathbf{x}}_i$ ise dönüştürülmüş imgedeki noktalara karşılık gelmektedir ve \mathbf{T}_1 ilk imge için dönüşüm matrisidir. Benzer şekilde ikinci imge için

$$\tilde{\mathbf{x}}_i' = \mathbf{T}_2 \mathbf{x}_i' \quad (4.43)$$

yazılabilir. $\tilde{\mathbf{x}}_i$ ve $\tilde{\mathbf{x}}_i'$ noktalarına DLT yöntemi uygulanarak karşılık gelen $\tilde{\mathbf{H}}$ homografi matrisi hesaplanır. $\tilde{\mathbf{H}}$ 'den orijinal imgeler için homografi matrisi \mathbf{H}

$$\mathbf{H} = \mathbf{T}_2^{-1} \tilde{\mathbf{H}} \mathbf{T}_1 \quad (4.44)$$

şeklinde elde edilir.

Verilen bir imge için, $\mathbf{x}_i = (x_i, y_i, 1)^T$ imgedeki herhangi bir noktayı belirlemek üzere, t_x , t_y ve s aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\begin{aligned} t_x &= -s\bar{x} \\ t_y &= -s\bar{y} \end{aligned} \quad (4.45)$$

$$s = \frac{\sqrt{2}}{\frac{1}{n} \sum_{i,j} \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_j - \bar{y})^2}} \quad (4.46)$$

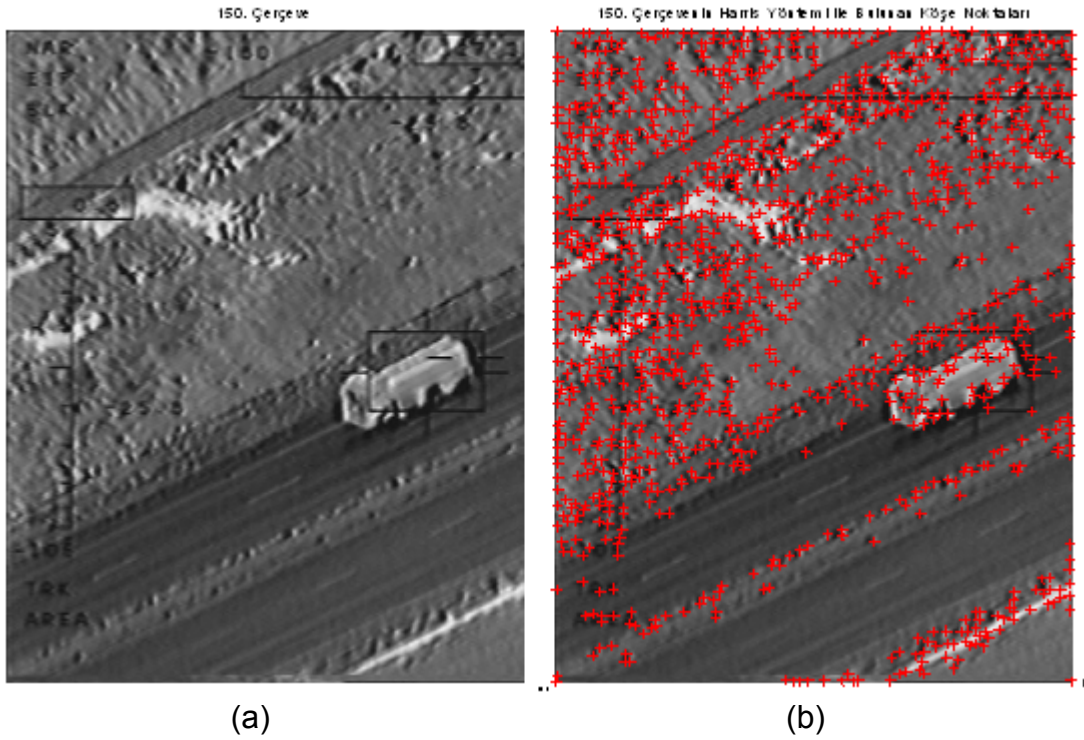
Burada \bar{x} , x eksenindeki ortalamayı \bar{y} , y eksenindeki ortalamayı göstermektedir; n ise toplam nokta sayısıdır.

4.6. Uygulama Sonuçları

Bu bölümde, hareketli termal kamera görüntülerinden hareketli hedefleri tespit etmek için kullanılan Harris öznitelik noktaları bulma yöntemi, NCC öznitelik noktaları eşleştirme yöntemi ve RANSAC yöntemleri gerçekleştirilmiştir. Yöntemler 2.00 GHz'lik işlemci hızı olan CPU ile Windows XP işletim sistemi kullanılarak MATLAB programında denenmiştir. Farklı imgeler kullanılarak yapılan uygulamalar sonucunda kullanılan yöntemlerin doğruluğu ve etkinliği gözlenmeye çalışılmıştır. Bu uygulamalarda farklı aydınlatma koşullarında, gölgelendirmede, çevresel koşullarda termal kameranın değişik kamera açıları ile havadan çekilmiş 406x576 boyutunda imgeler kullanılmıştır. Kullanılan her imgeye aşağıdaki adımlar uygulanarak hareketli nesnelere tespit edilmeye çalışılmıştır [39].

1. Harris öznitelik noktaları bulma yöntemi ile ardışık imgelerdeki öznitelik noktaları tespit edilmiştir. Harris yönteminde kullanılan eşik değeri 500 ve "En Büyük Olmayanı Bastır" yöntemi için kullanılan yarıçap 3 olarak ayarlanmıştır. Böylelikle daha kararlı öznitelik noktaları seçilebilmiştir.
2. Ardışık imgelerde bulunan öznitelik noktaları NCC yöntemi ile eşleştirilmiştir.
3. NCC yönteminde bulunan uyumsuz eşleştirmeler RANSAC yöntemi ile elenmiştir. Yine RANSAC yöntemi kullanılarak bulunan 4 adet doğru olarak eşlenmiş çift ile homografi dönüşüm matrisi bulunmuştur.
4. Bulunan homografi dönüşüm matrisi ile ardışık imgelerden ilkinde izdüşümsel dönüşüm uygulanmıştır.
5. İzdüşümsel dönüşüme uğramış imge ile ardışık imgelerden ikincisi "Zamansal Fark" yöntemi ile hizalanmış ve bu iki imge arasındaki hareketli hedefler tespit edilmeye çalışılmıştır.

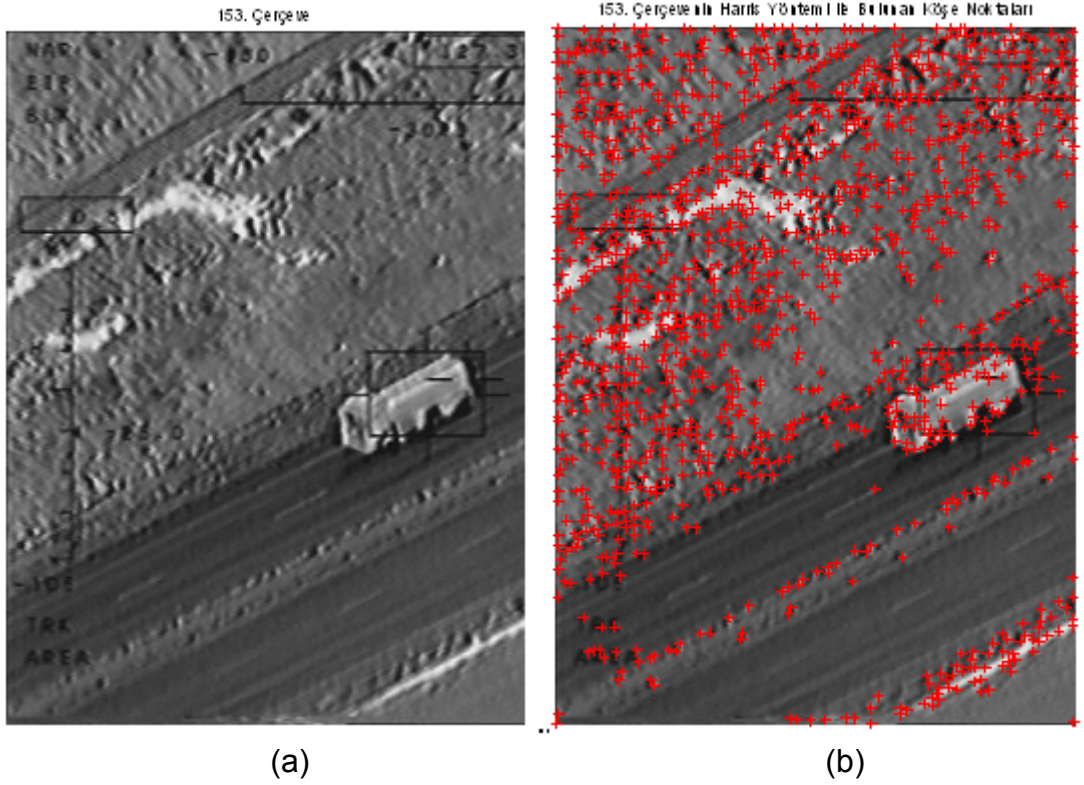
Şekil 4.12’de yol video dizininin 150. çerçevesi (a) ve çerçevenin Harris yöntemi ile bulunan öznitelik noktaları (b) gösterilmiştir. Harris yönteminde kullanılan Gauss dairesel pencerenin yarıçapı 3, kullanılan eşik değeri ise 500 olarak seçilmiştir. Bu değerlere yapılan deneysel çalışmalar sonucunda karar verilmiştir.



Şekil 4.12 : Termal kamera ile çekilmiş yol video dizininin 150. çerçevesi (a) ve çerçevenin harris yöntemi ile bulunan öznitelik noktaları (b)

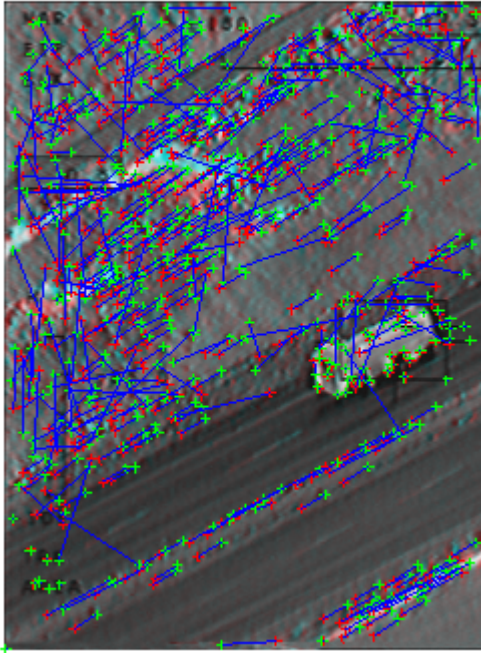
Benzer şekilde Şekil 4.13’de yol video dizininin 153. çerçevesi (a) ve çerçevenin Harris yöntemi ile bulunan öznitelik noktaları (b) verilmiştir. İki çerçeve arasında bulunan öznitelik noktaları Düzgeli Çapraz İlinti (Normalized-cross Correlation) yöntemi ile eşleştirilmiştir. Şekil 4.14 (a)’da, 150. çerçevedeki öznitelik noktalarının 153. çerçevede karşılık geldiği öznitelik noktaları gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi Düzgeli Çapraz İlinti yöntemi ile bütün eşleştirmelerin doğru olmadığı gözlenmektedir. Bulunan uyumsuz eşleştirmeleri elemek için NCC yöntemi ile bulunan öznitelik noktalarına RANSAC yöntemi uygulanmıştır. Şekil 4.14 (b)’de, RANSAC yöntemi ile uyumsuz eşleştirmeler elendikten sonra bulunan

uyumlu eşleştirmeler gösterilmiştir. Bulunan uyumlu eşleştirmeler izdüşümsel dönüşümü gösteren homografi dönüşüm matrisini bulmak için kullanılmıştır. Bulunan homografi dönüşüm matrisi ile 150. çerçeve üstünde izdüşümsel dönüşüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.15’de izdüşümsel dönüşüme uğramış 150. çerçeve (a) ile 153. çerçevenin karşılaştırılmış hali ve “Zamansal Fark” yöntemi ile bulunan hedefler gösterilmiştir (b).



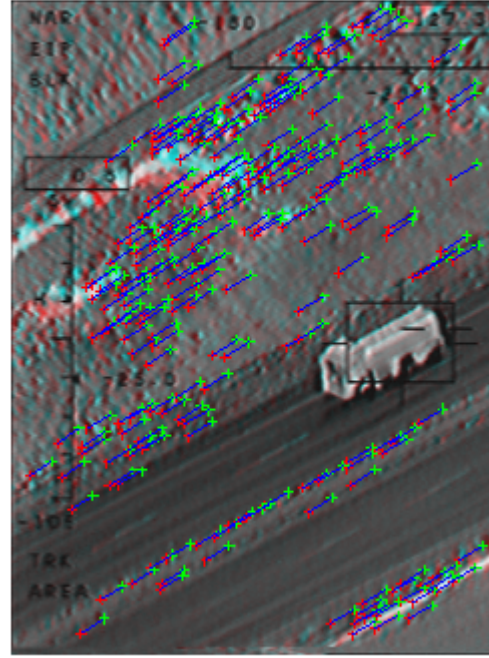
Şekil 4.13 : Termal kamera ile çekilmiş yol video dizininin 153. çerçevesi (a) ve çerçevenin harris yöntemi ile bulunan öznitelik noktaları (b)

150. ve 153. Çerçevesinin Köşe Noktalarının NCC Yöntemi ile Eşleştirilmesi



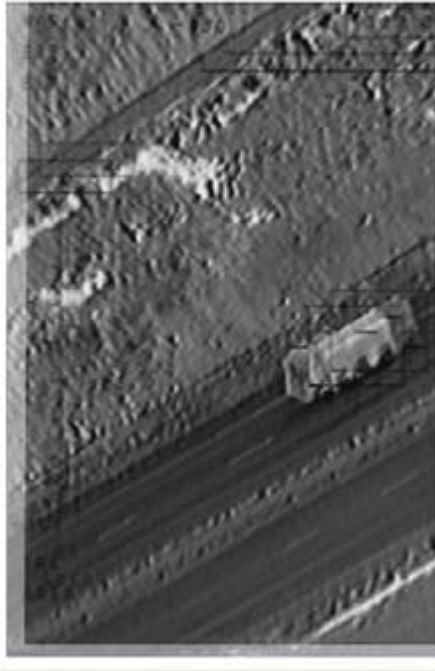
(a)

NCC Yönteminde Bulunan Yanlış Eşleştirmelerin Ransac Yöntemi ile Eliminasyonu



(b)

Şekil 4.14 : 150. ve 153. çerçevelerin NCC yöntemi ile yapılan eşleştirmeleri (a) ve RANSAC yöntemi ile uyumsuz eşleştirmelerin elenmesi (b)



(a)

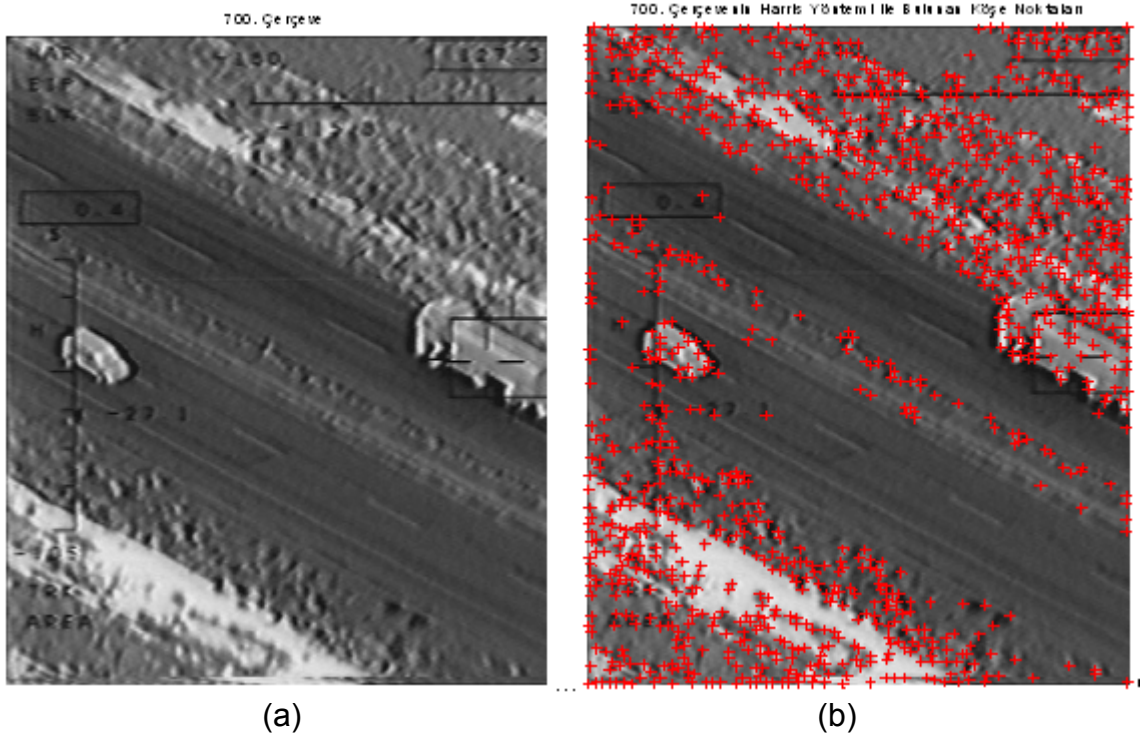


(b)

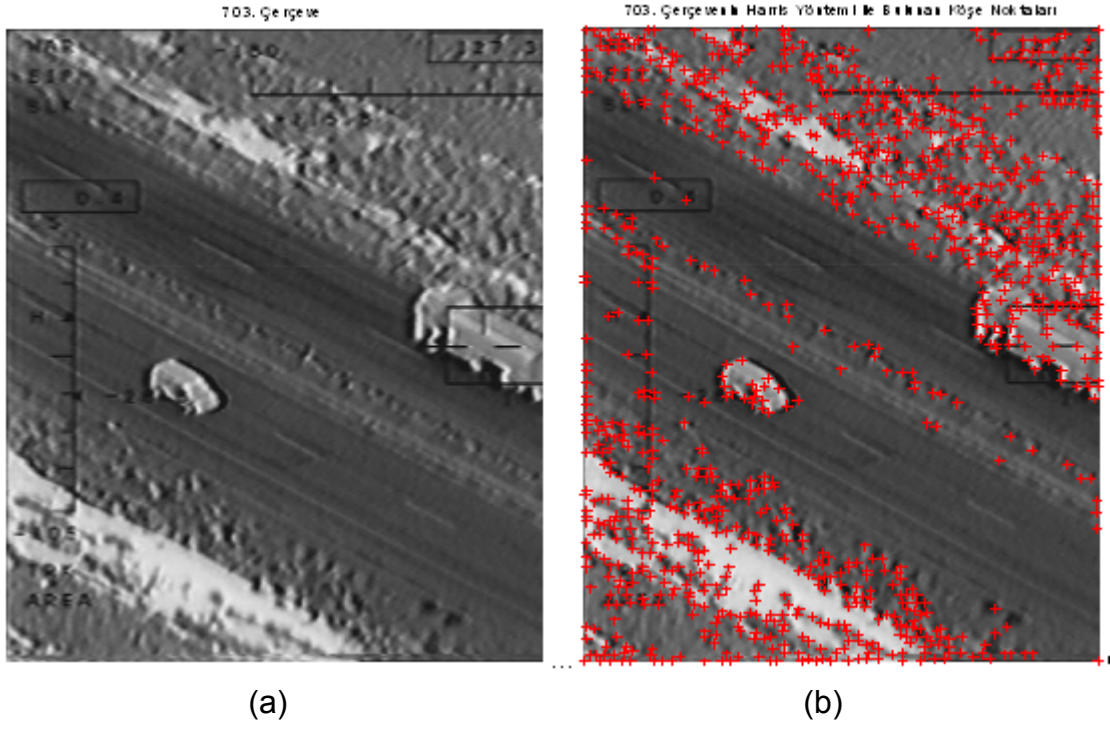
Şekil 4.15 : İzdüşümsel dönüşüme uğramış 153. çerçeve (a) ile 150. çerçevenin çakıştırılması ve Zamansal Fark yöntemi ile hareketli hedef tespiti (b)

Zamansal Fark yöntemi ile bulunan iki seviyeli imgelere 3x3'lük kare yapısal elemanı kullanılarak uygulanan *kapanım* işlemi uygulanmıştır. *Kapanım* işlemi ile hedefler arka plandan ayırt edilebilir hale gelmiştir [40].

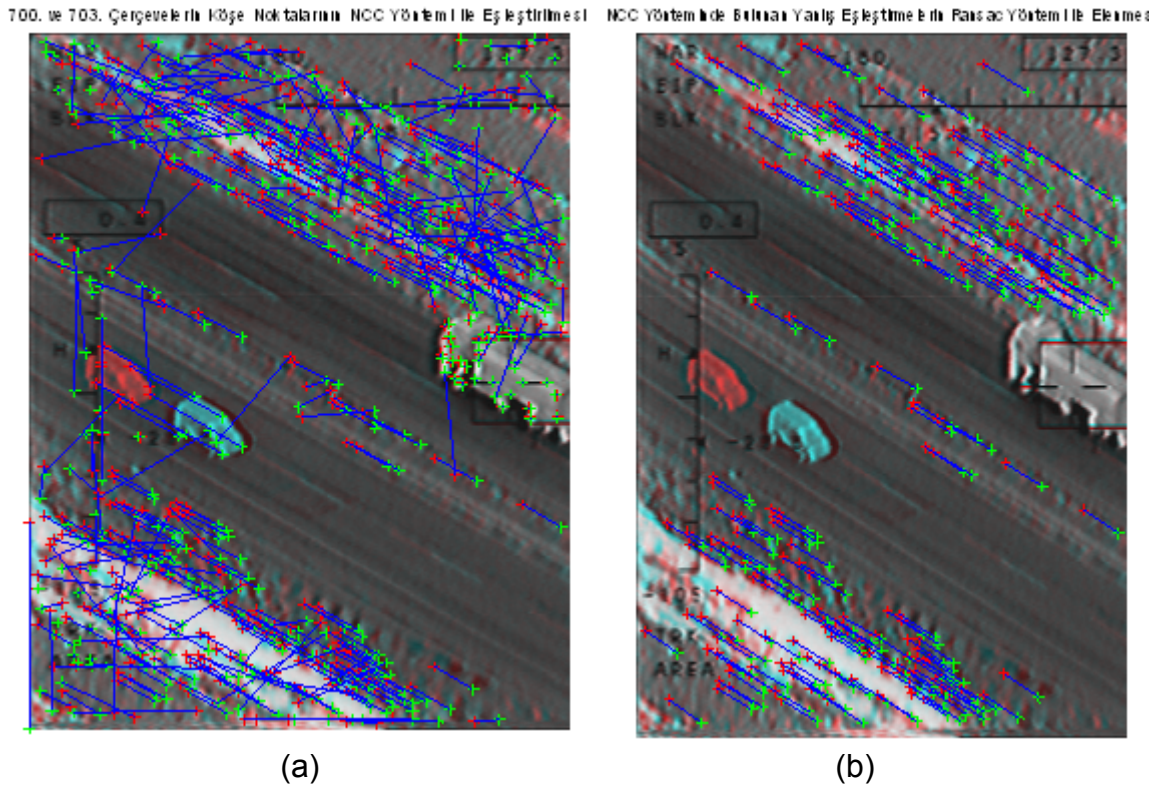
Yukarıda anlatılan işlemler "Yol2" video dizininin 700. ve 703. çerçevelerine uygulanmıştır. Şekil 4.16 ve Şekil 4.17 (b)'de, çerçevelerin Harris yöntemi ile bulunan öznelik noktaları gösterilmiştir. Şekil 4.18 (a)'da NCC yöntemi ile bulunan öznelik noktaları verilmektedir. Şekil 4.18 (b)'de RANSAC yöntemi ile elenen uyumsuz eşleştirmeler gösterilmektedir. Şekil 4.19'da izdüşümsel dönüşüme uğramış 700. çerçeve ile 703. çerçevenin çakıştırılmış hali ve Zamansal Fark yöntemi ile bulunan iki seviyeli fark imgesi gösterilmektedir. Yol 2 video dizini yol1 video dizini ile benzer özelliklere sahiptir. Yol2 video dizininde 2 hareketli nesne bulunmaktadır. Sonuçlardan da görüldüğü üzere soldaki nesne sağdakine göre daha hızlı hareket etmiştir. Zamansal Fark yönteminin uygulanması ile bu fark gözlenmiştir.



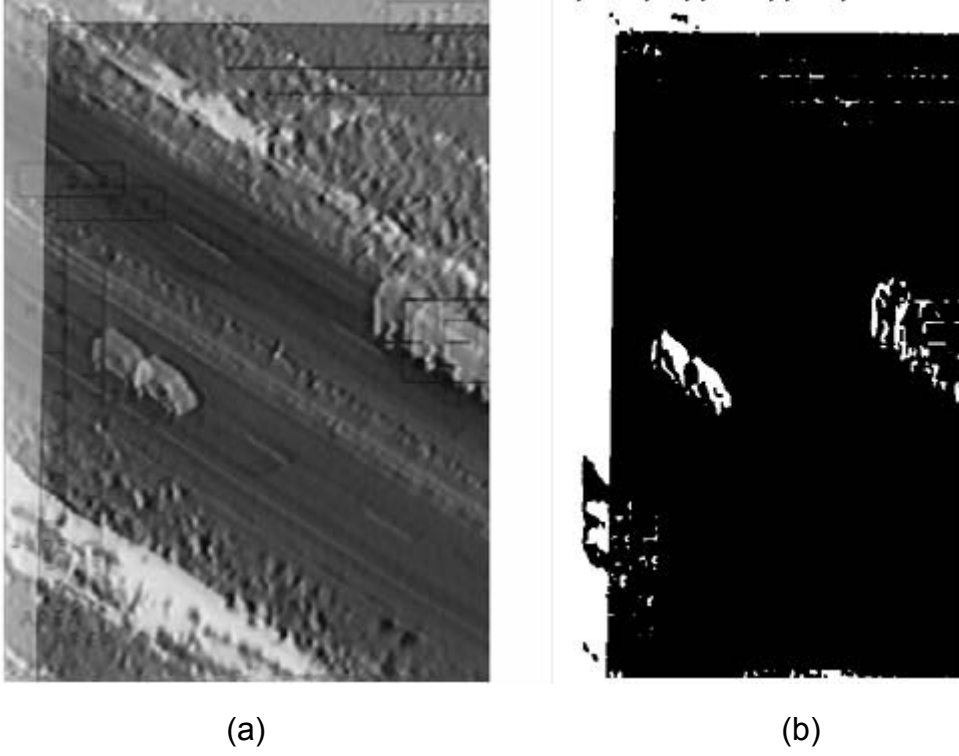
Şekil 4.16 Termal kamera ile çekilmiş Yol2 video dizininin 700. çerçevesi (a) ve çerçevenin Harris yöntemi ile bulunan öznelik noktaları (b)



Şekil 4.17 Termal kamera ile çekilmiş Yol2 video dizininin 703. çerçevesi (a) ve çerçevenin Harris yöntemi ile bulunan öznitelik noktaları (b)



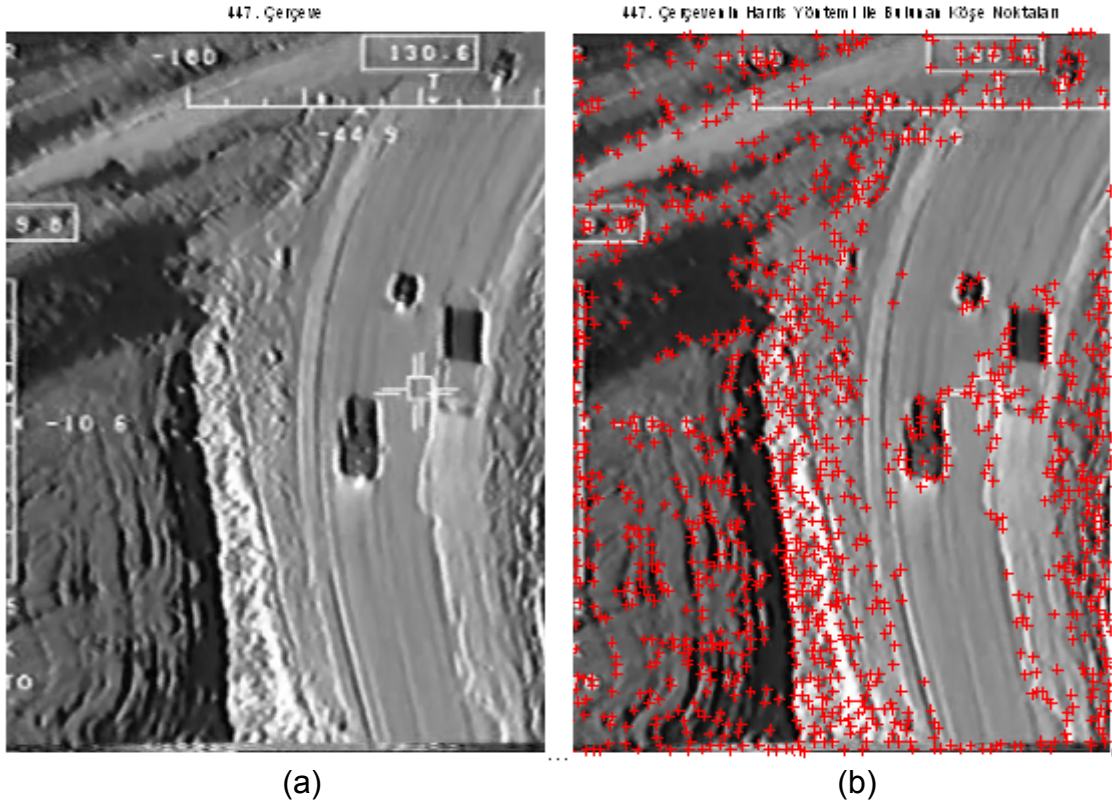
Şekil 4.18 : 700. ve 703. çerçevelerin NCC yöntemi ile yapılan eşleştirmeleri (a) ve RANSAC yöntemi ile uyumsuz eşleştirmelerin elenmesi (b)



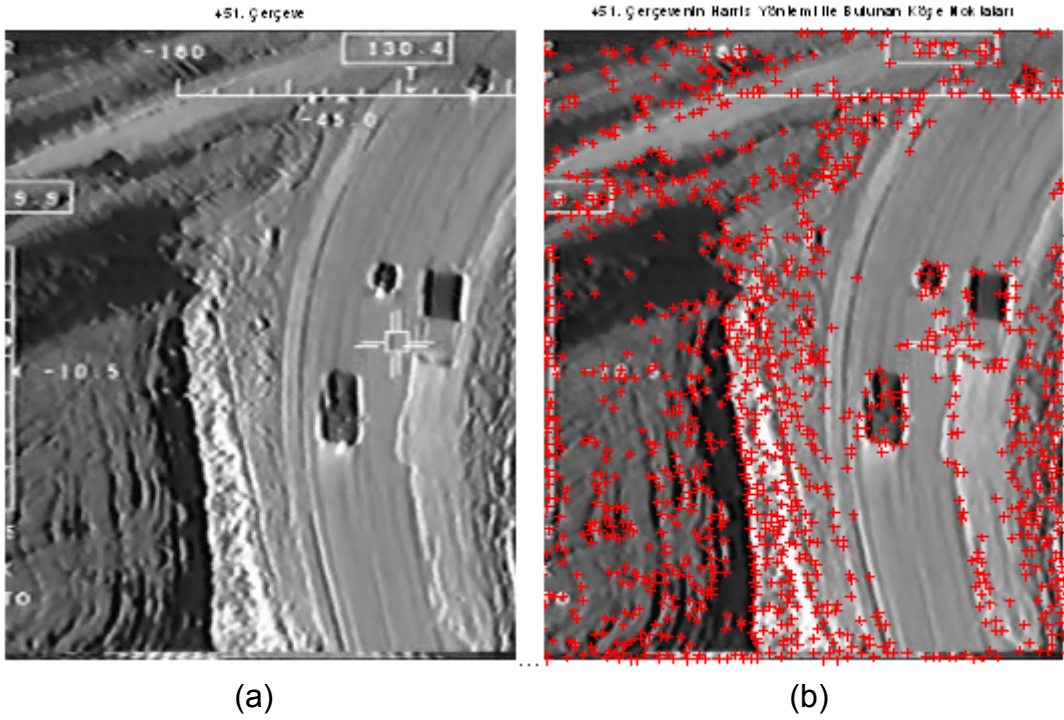
Şekil 4.19 : İzdüşümsel Dönüşüme Uğramış 700. Çerçeve (a) ile 703. Çerçevenin Çakıştırılması ve Zamansal Fark Yöntemi ile Hareketli Hedef Tespiti (b)

Yukarıda anlatılan işlemler “Yol3” video dizininin 447. ve 451. çerçevelerine de uygulanmıştır. Önceki video dizinlerine göre bu görüntü daha yüksekte çekilen bir kamera görüntüsüdür. Şekil 4.20 (b) ve Şekil 4.21 (b)’den de görüleceği üzere, Harris öznelik noktaları algılayıcısı ile çerçevelerin öznelik noktaları bulunmuştur.

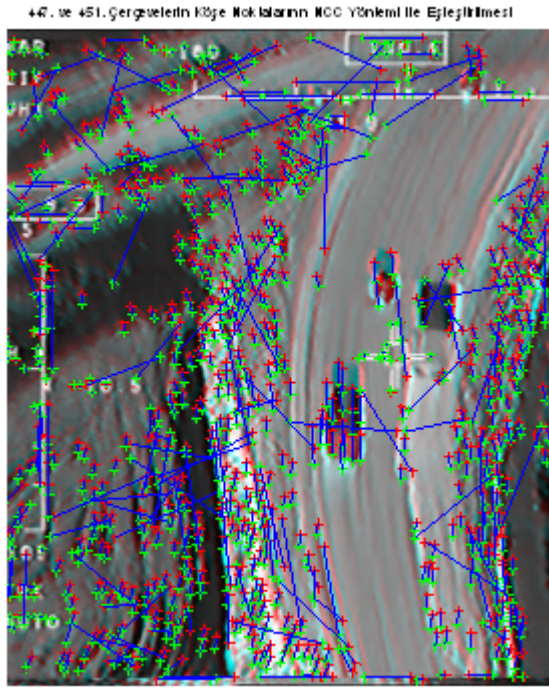
Şekil 4.22 (a)’da NCC yöntemi ile bulunan eşleştirmeler gösterilmiştir. Şekilde, uyumsuz eşleştirmeler görülmektedir. Bu eşleştirmeler RANSAC yöntemi ile elenmiş ve DLT yöntemi ile izdüşümsel dönüşümü sağlayacak homografi dönüşüm matrisi bulunmuştur. Şekil 4.22 (b)’de RANSAC yöntemi ile bulunan uyumlu eşleştirmeler görülmektedir. Bulunan homografi dönüşüm matrisi ile ilk imge izdüşümsel dönüşüme uğramış ve ikinci imge ile hizalanmıştır. Zamansal Fark yöntemi ile Şekil 4.23 (b)’den de görüleceği üzere olası hedefler bulunmuştur.



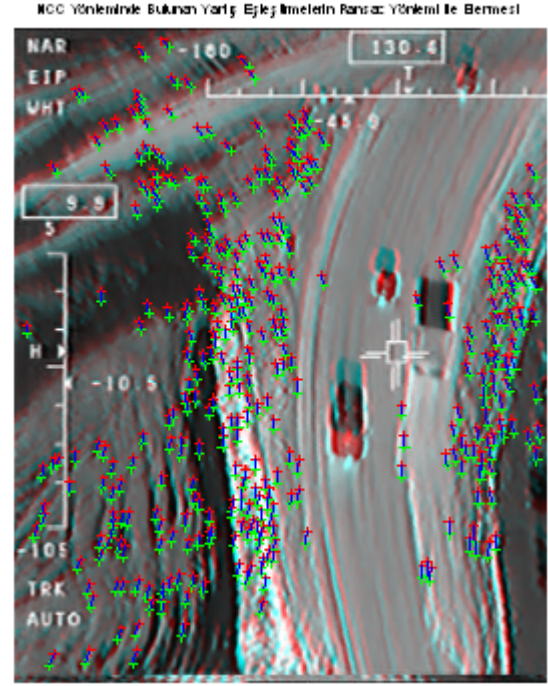
Şekil 4.20 : Termal kamera ile çekilmiş Yol3 video dizininin 447. çerçevesi (a) ve çerçevenin Harris yöntemi ile bulunan öznitelik noktaları (b)



Şekil 4.21 Termal kamera ile çekilmiş Yol3 video dizininin 451. çerçevesi (a) ve çerçevenin Harris yöntemi ile bulunan öznitelik noktaları (b)



(a)

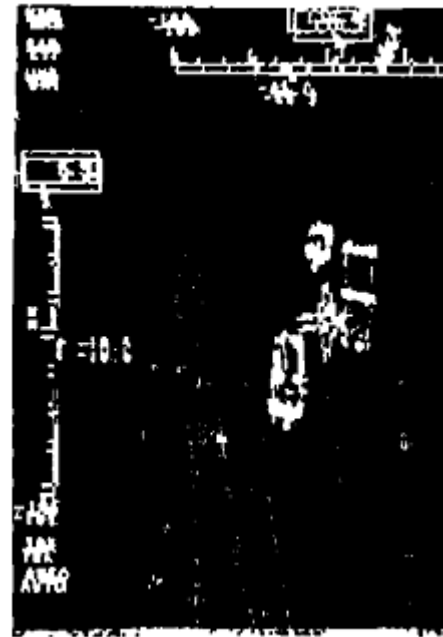


(b)

Şekil 4.22 : 447. ve 451. çerçevelerin NCC yöntemi ile yapılan eşleştirmeleri (a) ve RANSAC yöntemi ile uyumsuz eşleştirmelerin elenmesi (b)



(a)

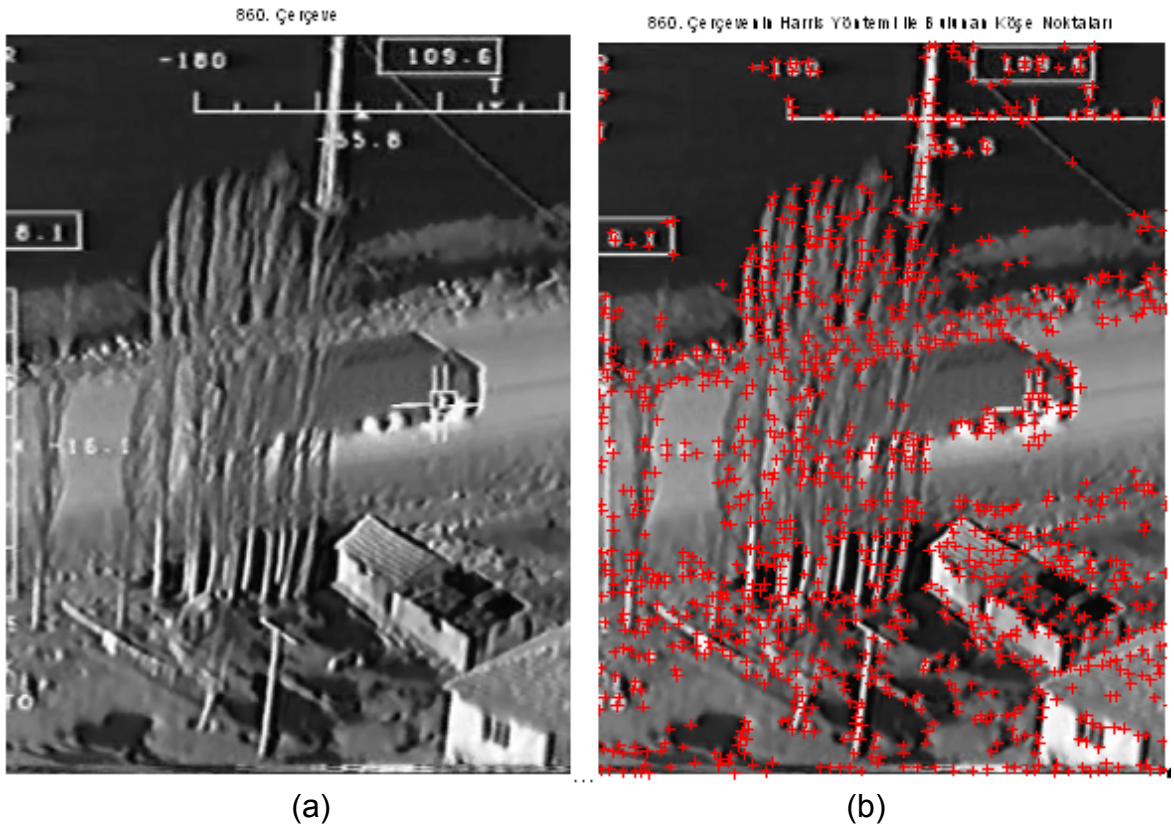


(b)

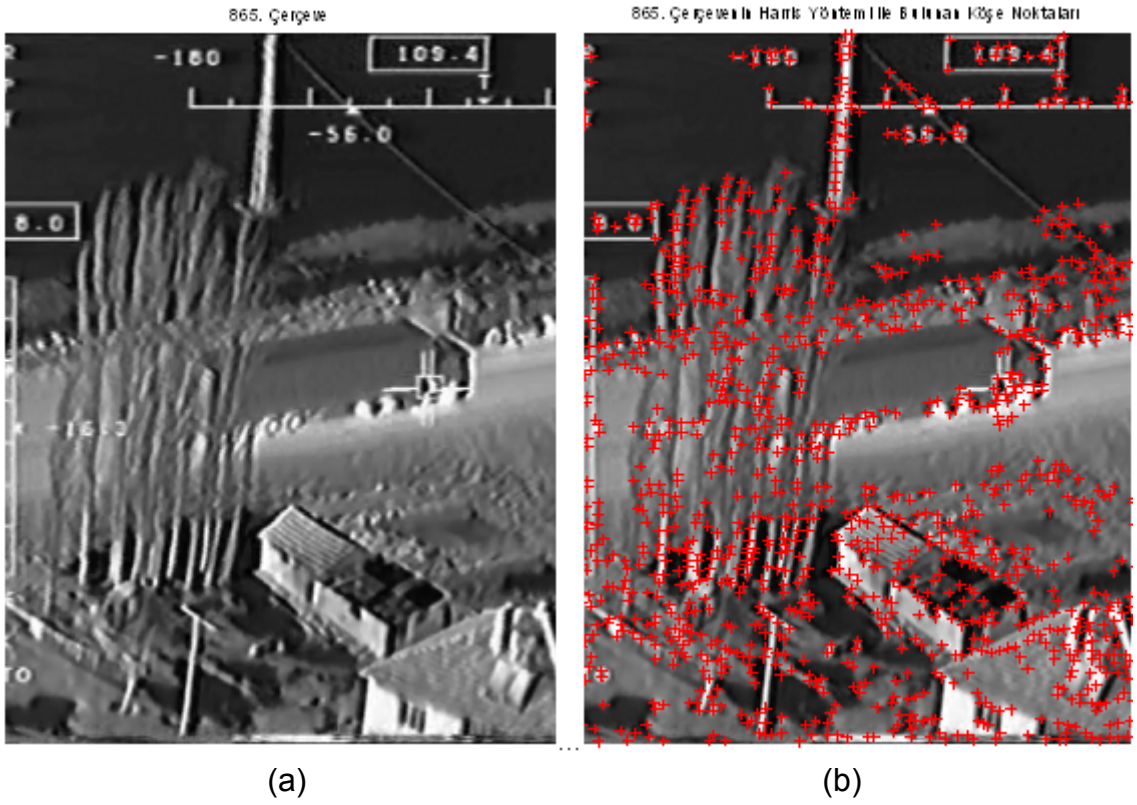
Şekil 4.23 : Sırasıyla izdüşümsel dönüşüme uğramış 447. çerçeve ile 451. çerçevenin karşılaştırılması (a) ve Zamansal Fark yöntemi ile hareketli hedef tespiti (b)

“Köy Yolu” video dizininin 860. ve 865. çerçevelerine de aynı adımlar uygulanmıştır. Önceki video dizinlerine göre bu görüntü daha alçaktan çekilen bir kamera görüntüsüdür. Şekil 4.24 (b) ve Şekil 4.25 (b)’den de görüleceği üzere, Harris öznitelik noktaları algılayıcısı ile çerçevelerin öznitelik noktaları bulunmuştur.

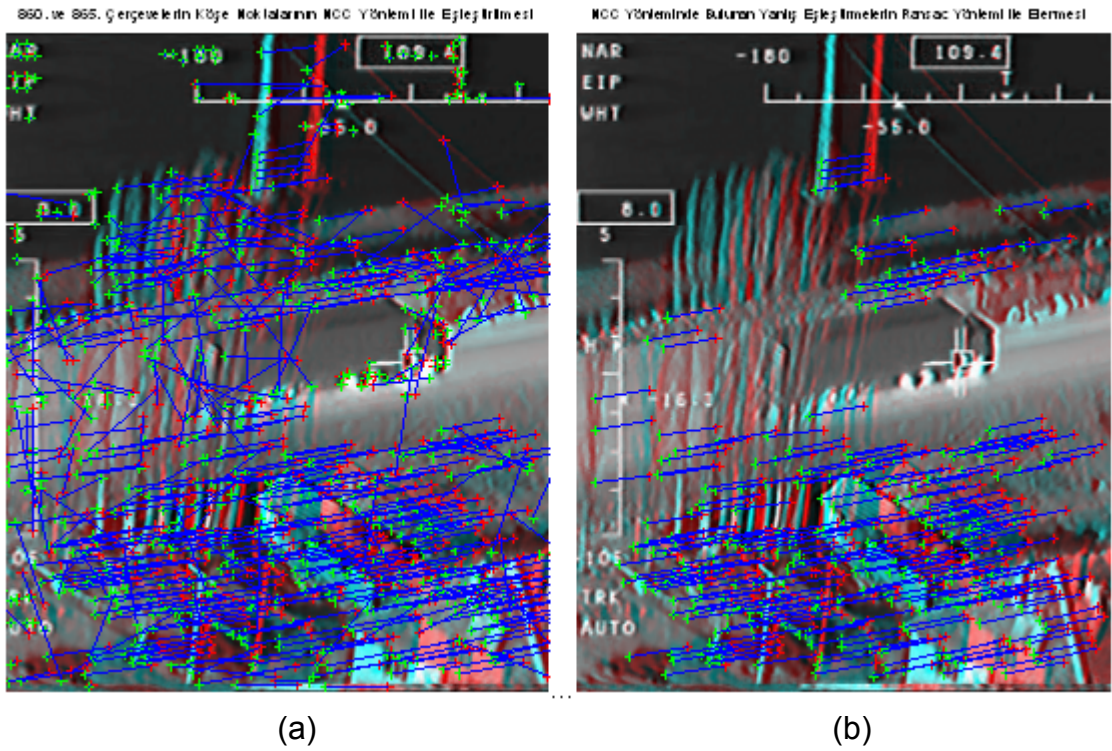
Şekil 4.26 (a)’da NCC yöntemi ile bulunan eşleştirmeler gösterilmiştir. Şekilde, uyumsuz eşleştirmeler görülmektedir. Bu eşleştirmeler RANSAC yöntemi ile elenmiş ve DLT yöntemi ile izdüşümsel dönüşümü sağlayacak homografi dönüşüm matrisi bulunmuştur. Şekil 4.26 (b)’de RANSAC yöntemi ile bulunan uyumlu eşleştirmeler görülmektedir. Bulunan homografi dönüşüm matrisi ile ilk imge izdüşümsel dönüşüme uğramış ve ikinci imge ile hizalanmıştır. Zamansal Fark yöntemi ile Şekil 4.27 (b)’den de görüleceği üzere olası hedefler bulunmuştur.



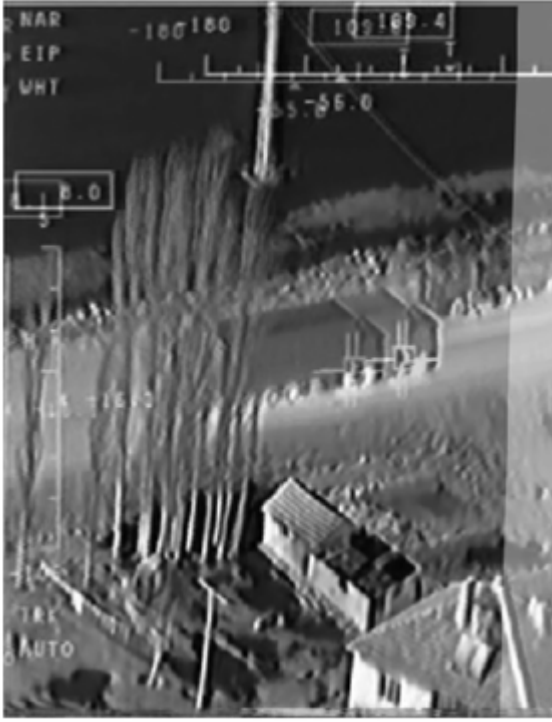
Şekil 4.24 : Termal Kamera ile Çekilmiş Köy Yolu Video Dizininin 860. Çerçevesi (a) ve Çerçevenin Harris Yöntemi ile Bulunan Köşe Noktaları(b)



Şekil 4.25 : Termal Kamera ile Çekilmiş Köy Yolu Video Dizininin 865. Çerçevesi (a) ve Çerçevenin Harris Yöntemi ile Bulunan Köşe Noktaları (b)



Şekil 4.26 : 860. ve 865. Çerçevelerin NCC Yöntemi (a) ile Yapılan Eşleştirmeleri ve RANSAC Yöntemi ile Yanlış Eşleştirmelerin Elenmesi (b)



(a)



(b)

Şekil 4.27 : İzdüşümsel Dönüşüme Uğramış 860. Çerçevesi (a) ile 865. Çerçevenin Çakıştırılması ve Zamansal Fark Yöntemi ile Hareketli Hedef Tespiti (b)

5. SONUÇ

Otomatik hedef tespiti video gözetleme sistemlerinde, otonom araçların güdümünde, hedef izlemede, tıbbi ve askeri birçok uygulamada önemli bir yere sahiptir. Yapılan tez çalışmasında hareketli veya hareketsiz kamera görüntülerinden olası hedeflerin çıkarılması için çeşitli yöntemler ayrıntılı olarak incelenmiş ve MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir. Yapılan uygulama çalışmalarında elde edilen iki seviyeli görüntüleme matematiksel biçimcilik işlemleri ve bazı süzgeçleme teknikleri uygulanmıştır. Böylelikle görüntülerdeki gürültü temizlenmiş, olası hedeflerin boşlukları doldurulmuş ve hedefler daha iyi tespit edilebilmiştir.

Kameranın hareketine göre hedef tespiti için farklı yöntemler incelenmiş ve denenmiştir. Bir durum için çözüm olan tespit yönteminin diğer bir durumun çözümünün sadece bir kısmını oluşturduğu görülmüştür. İlk bakışta yapılan tez çalışmasını 3 kısma ayırabiliriz:

- Otsu yöntemi ile kamera ve hedefin hareketine bakılmaksızın olası hedeflerin tespiti
- Sabit kamera görüntülerinden hareketli hedeflerin tespiti
- Hareketli kamera görüntülerinden hareketli hedeflerin tespiti

Otsu yöntemi, imgenin gri seviye histogramını sınıflara ayırır ve sınıflar arası değişimi en büyükleyen değerleri eşik değeri olarak seçer. Böylelikle sınıfları birbirinden ayıran eniyi eşik değeri bulunabilir. Yapılan benzetim çalışmalarında Otsu yöntemi ile bütün olası hedefler doğru bulunamadığı gözlenmiştir. Bunda havadan çekilen termal kamera görüntülerinin hedef ve arka plan için yeterli piksel yoğunluk farkına sahip olamamasının etkisi büyüktür. Fakat yöntem; kolay uygulanabilmesi, çok eşikleme gerektiren durumlardaki basit uyumu ve sınıflar arası değişim gibi imgenin önemli özelliklerini gösterebilmesinden dolayı tercih

edilmiştir. Ayrıca bu yöntem ile kameranın sabit ya da hareketli olmasına bakılmaksızın hareketli ve hareketsiz olası hedefler bulunabilmektedir.

Sabit kamera görüntülerinden hareketli hedefleri tespit etmek için arkaplan çıkarım yöntemleri kullanılmıştır. Arkaplan çıkarım yöntemleri kameranın hareketsiz yani arkaplanın sabit olduğu durumlarda çalışmaktadır. Bu kısımda “Zamansal Fark” ve “Yaklaşık Ortanca Süzgeçleme” yöntemleri denenmiştir. Uygulama kolaylığı ve kaynak tüketimi açısından bakıldığında en verimli hareketli nesne çıkarım tekniği, ardışık kare farkı yani Zamansal Fark yöntemi olduğu görülmüştür. Hareket tespiti yapılan alandaki ışık, zemin gibi değişikliklere de en çabuk tepkiyi Zamansal Fark yöntemi vermektedir. Sadece hareketin var ya da yok olduğu bilgisini edinmek için en kolay ve en verimli yoldur. Bunun dışında hareketli nesnenin fiziksel özellikleri, boyutu gibi verilere ulaşmada diğer teknikler kadar başarılı değildir. Yapılan benzetim çalışmalarında, yaklaşık ortanca süzgeçleme yönteminin işlem hesaplama zamanı ve bellek kullanımı açısından iyi bir yöntem olduğu gözlemlenmiştir. Fakat, hedefin yavaş hareket ettiği ya da uzun süre hareketsiz kaldığı durumlarda hedefin yankı imgesi görülmüştür. Bu problemi çözmek için arkaplan çerçevesinin güncelleme hızı yavaşlatılmıştır, fakat sorun tamamen çözülememiştir. Eşiklenmiş imge ortanca süzgeçten ve biçimbilim işlemlerinden geçirilerek imge gürültüden temizlenmiştir ve küçük boşluklar kapatılmıştır. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, eşik değeri otomatik ve uyarlamalı olarak seçilerek çerçeveden çerçeveye değişen aydınlatma koşullarında daha iyi sonuç alınabilir.

Hareketli kamera görüntülerinden hareketli hedefleri tespit edebilmek için kamera hareketi yok edilmeye çalışılmıştır. Bunun için ilk olarak Harris öznitelik nokta tespit yöntemi ile ardışık imgelerdeki öznitelik noktaları tespit edilmiştir. Harris yöntemi ile bulunan öznitelik noktalarının kararlı olduğu görülmüştür. Yöntemin çok fazla öznitelik noktası bulması eşleştirme işleminde zaman kaybına neden olduğu için eksi bir özelliğidir. Ardışık imgelerdeki öznitelik noktaları Düzgelenmiş Çapraz İlinti yöntemi ile eşleştirilmiştir. Bu eşleştirme ile bulunan uyumsuz eşleştirmeler RANSAC yöntemi ile elenmiştir. Bulunan uyumlu eşleştirmeler ile ardışık imgelerdeki bozulmayı gösteren homografi dönüşüm matrisi bulunmuştur. RANSAC yönteminin fazla hesaplama zamanı gerektirdiğinden, gerçek zamanda

alışan sistemlerde veriminin düşük olabileceği görülmüştür. Dönüşüme uğrayan imge ile ikinci imge Zamansal Fark yöntemi ile hizalanmış ve hareketli nesnelere tespit edilmeye çalışılmıştır. Hedeflerin tespiti için Zamansal Fark yöntemi kullanılmıştır. Böylelikle hedeflerin çoğunun silüetleri elde edilmiştir. Bulunan znelik noktaların sayısı uzaklık gibi bazı kısıtlamalar getirilerek azaltılabilir. Böylelikle znelik noktalarını eşleştirme işleminde daha az zaman harcanmış olunur. RANSAC yöntemi ile model parametreleri hesaplanırken örnek kümelerin rastgele seçilmesi yerine daha kararlı seçim yöntemleri uyumsuz eşleştirmelerin daha etkili bir şekilde elenmesini sağlayabilir. Uygulama sonuçlarında arkaplan hareketi giderilen imgelerdeki hedeflerin siletlerinin tespit edildiği görülmüştür. Daha belirgin hedef tespiti için imgeler üstünde hiçbir yöntem uygulanmadan önce arkaplan ile hedeflerin yoğunluk farkını arttıran iyileştirme işlemleri uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] R. Jain, R. Kasturi and B. G. Schunck, "Machine Vision," McGraw-Hill, 1995.
- [2] R. C. Gonzales and R. E. Woods, "Digital Image Processing," 2nd. Edition, Prentice Hall, 2002.
- [3] M. Sezgin and B. Sankur, "Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation," Journal of Electronic Imaging, Vol. 13 (1), pp. 146–165, Jan. 2004.
- [4] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histogram," IEEE Trans. Systems Man, and Cybernetics, Vol. SMC-9, No.1, Jan. 1979
- [5] J. Zhang and J. Hu "Image Segmentation Based on 2D Otsu Method with Histogram Analysis," International Conference Science and Software Engineering, 2008.
- [6] Liao P. S., Chen T. S. and Chung P.C., "A Fast Algorithm for Multilevel Thresholding," Journal of Information Science and Eng. 17, pp. 713-727, 2001.
- [7] "Otsu's Method," Wikipedia
- [8] B. S. Morse, "Lecture Notes on Thresholding," Brigham Young University, 1998-2000
- [9] W. Hu, T. Tan, L. Wang, S. Maybank, "A Survey on Visual Surveillance of Object Motion and Behaviors," IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part C:Applications and Reviews, vol.34, no.3, pp. 334-352, 2004.
- [10] Y. Ren, C. S. Chua and Y. K. Ho, "Motion Detection with Nonstationary Background," Machine Vision and Applications, vol. 13, pp. 332-343, March 2003.

- [11] N. Lu, Q. H. Wu and L. Yang, "An Improved Motion Detection Method for Real Time Surveillance," IAENG International Journal of Computer Science, 35:1, IJCS_35_1_16, Advance Online Publication: 19 February 2008.
- [12] S. Cheung and C. Kamath, "Robust Techniques for Background Subtraction in Urban Traffic Video," Proceedings of the SPIE, vol. 5308, pp. 881-892, 2004.
- [13] H. Al-Khateeb and M. Petrou, "Automatic Change Detection in an Indoor Environment," Computer Vision and Pattern Recognition Workshops(CVPRW), IEEE Computer Society Conference on, 2010.
- [14] M. Piccardi, "Background Subtraction Techniques: a review," Man and Cybernetics, IEEE International Conference, vol. 4, pp. 3099-3104, 2004.
- [15] N. J. B. McFarlane and C.P. Scheffeld, "Segmentation and Tracking of Piglets in Images," Machine Vision Applications, vol. 8, pp. 187-193,1995.
- [16] R. Hartley and A. Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision," Cambridge University Press, Second Edition, 2003.
- [17] U. Topay, "3D Scene Reconstruction from Uncalibrated Images," M.S. Thesis, Middle East Technical University, September 2002.
- [18] W. Burger and B. Bhanu, "Estimating 3D Egomotion from Perspective Image Sequence," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., pp. 1040-1058, 1990.
- [19] M. Irani, B. Rousso, and S. Peleg, "Recovery of Ego-Motion Using Image Stabilization," *IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 454-460, Seattle, June 1994.
- [20] C. Harris and M. Stephens, "A Combined Corner and Edge Detector," 4th Alvey Conf., pp. 147-152, 1988.
- [21] X. Gao, Z. Yu, F. Sattar and R. Venkateswarlu, " Multiscale Corner Detection for Gray Level Images Using Plessey Method," IEEE, 8th

International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, December 2004.

- [22] D. J. Duff, "Feature Point Matching," *Comp.Vis.*, 2007.
- [23] H. Moravec, "Obstacle Avoidance and Navigation in the Real World by a Seeing Robot Vover," PhD thesis, Stanford Univ. ,Sept. 1980. (Published as *Robot Vover Visual Navigation*. Ann Arbor, MI:UMI Research Press, 1981).
- [24] Z. Zhou, Y. Zhou and J. Shi, "A Robust Algorithm for Feature Point Matching" *Computers and Graphics*, Elseiver, 2002.
- [25] M. A. Fischler and R. C. Bolles, "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography," *Communications of the ACM*, vol. 24, No. 6, pp. 381-395, 1981.
- [26] N. Nkanza, "Image Registration and its Application to Computer Vision:Mosaicing and Independent Motion Detection," M.S. Thesis, University of Cape Town, June 2005.
- [27] S. Sirtkaya, "Moving Object Detection in 2D and 3D Scenes," M.S. Thesis, Middle East Technical University, September 2004.
- [28] B. S. Morse, "Lecture Notes on Binary Morphology," Brigham Young University, 1998-2000.
- [29] "Mathematical Morphology," Wikipedia.
- [30] R. M. Haralick, S. R. Sternberg and X. Zhuang, "Image Analysis Using Mathematical Morphology," *IEEE Trans, Pattern Anal. Machine Intell*, vol. PAMI-9, no.4, pp. 532-550, 1987.
- [31] N. S. Naraghi, "A Comparative Study of Background Estimation Algorithms," M.S. Thesis, Eastern Mediterranean University, Gazimağusa, North Cyprus September 2009.

- [32] S. Araki, T. Matsuoaka, N. Yokoya and H. Takemura, "Realtime Tracking of Multiple Moving Object Contours in a Moving Camera Image Sequence," IEICE Trans. Inf. & Syst., Vol.E83-D, No. 7, July 2000.
- [33] W. Yu, X. Yu, P. Zhang and J. Zhou, "A New Framework of Moving Target Detection and Tracking for UAV Video Application," The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII, Part B3b, Beijing 2008.
- [34] D. Zhou, L. Wang, X. Cai and Y. Liu, "Detection of Moving Targets with a Moving Camera," Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 677-681, 2009.
- [35] M. Bhaskaranand and S. Bhat, "Image Registration and Mosaicking".
- [36] T. T. Ngo, Y. Kojima, H. Nagahara, R. Sagawa, Y. Mukaigawa, M. Yachida, Y. Yagi, "Real-Time Estimation of Fast Egomotion with Feature Classification Using Compound Omnidirectional Vision Sensor," IEICE Transactions on Information and Systems, Volume E93.D, Issue 1, pp. 152-166, 2010.
- [37] "Corner Detection," Wikipedia.
- [38] M. Zuliani, "RANSAC for Dummies," ,October 2009.
- [39] R. C. Gonzales and R. E. Woods, "Digital Image Processing Using Matlab," 2nd. Edition, Prentice Hall, 2004.
- [40] P. Burillo, N. Frago and R. Fuentes, "Fuzzy Morphological Operators in Image Processing," Mathware & Soft. Computing 10, vol. 5, no. 5, pp. 85-100, 2003.

SÖZLÜKÇE

Arkaplan çıkarımı	: Background subtraction
Alan süzgeçleme	: Size Filter
Başarım	: Performance
Benzetim	: Simulaton
Biçimbilim	: Morphology
Bilgisayar görüşü	: Computer vision
Çerçeve	: Frame
Değişinti	: Variance
Enbüyükleme	: Maximize
Eniyileme	: Optimization
Enküçükleme	: Minimize
Eşikleme	: Thresholding
Güncel Çerçeve	: Current Frame
Homografi	: Homography
İlgın	: Affine
İç mekan	: Indoor
İlgi alanı	: Region of interest
İmge bölütleme	: Image segmentation
İzdüşümsel dönüşüm	: Projective transformation
Konaç sistemi	: Coordinate system
Maliyet İşlevi	: Cost Function
Önplan	: Foreground
Öznitelik Noktaları	: Feature point
Sahne	: Scene
Türdeş	: Homogenous

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler:

Adı Soyadı : Derya ÖZKAN

Doğum Yeri : Çekerek

Doğum Yılı : 1984

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : Anadolu Lisesi / Yatağan (1998-2002)

Lisans : Hacettepe Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği / Ankara
(2002-2007)

Yabancı Dil : İngilizce

İş Tecrübesi : ASELSAN A.Ş. (2007 – Devam ediyor)